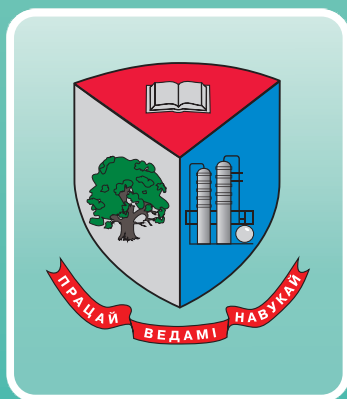


ISSN 2519-402X



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 1 (300) 2026 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство
и информационные системы в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесохозяйственное хозяйство

Деревообрабатывающая промышленность



Минск 2026

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 1

**ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ**

№ 1 (300) 2026 год

Выходит два раза в год

Минск 2026

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Касперович Сергей Антонович, кандидат экономических наук, доцент, Республика Беларусь

Редакционная коллегия журнала:

Флейшер В. Л., доктор технических наук, доцент (заместитель главного редактора), Республика Беларусь;
Жарский И. М., кандидат химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Флорик Е. А., кандидат биологических наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь;
Водопьянов П. А., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор философских наук, профессор, Республика Беларусь;
Прокопчук Н. Р., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор химических наук, профессор, Республика Беларусь;
Наркевич И. И., доктор физико-математических наук, профессор, Республика Беларусь;
Новикова И. В., доктор экономических наук, профессор, Республика Беларусь;
Черная Н. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Куликович В. И., кандидат филологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Торчик В. И., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Каухова И. Е., доктор фармацевтических наук, профессор, Российская Федерация;
Жантасов К. Т., доктор технических наук, профессор, Республика Казахстан;
Эркаев А. У., доктор технических наук, профессор, Республика Узбекистан;
Горинштейн Ш., доктор наук, профессор, Государство Израиль;
Маес Воутер, доктор наук, профессор, Королевство Бельгия.

Редакционная коллегия серии:

Черная Н. В., доктор технических наук, профессор (главный редактор серии), Республика Беларусь;
Козлов Н. Г., доктор химических наук, профессор (заместитель главного редактора серии), Республика Беларусь;
Латышевич И. А., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;
Козел А. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент (секретарь), Республика Беларусь;
Каплич В. М., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Крук Н. К., кандидат биологических наук, доцент, Республика Беларусь;
Носников В. В., кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, Республика Беларусь;
Цыганов А. Р., академик НАН Беларуси, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Усень В. В., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Савич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Торчик В. И., член-корреспондент НАН Беларуси, доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Герц Э. Ф., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация.

Адрес редакции: ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.

Телефоны: главного редактора журнала – (+375 17) 343-94-32;

главного редактора серии – (+375 17) 374-80-46.

E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

Свидетельство о государственной регистрации средств массовой информации
№ 1329 от 23.04.2010, выданное Министерством информации Республики Беларусь.

Журнал включен в «Перечень научных изданий Республики Беларусь для опубликования результатов диссертационных исследований»

Educational institution
“Belarusian State Technological University”

PROCEEDINGS OF BSTU

Scientific Journal

Published monthly since July 1993

Issue 1

**FORESTRY.
NATURE MANAGEMENT.
PROCESSING OF RENEWABLE
RESOURCES**

No. 1 (300) 2026

Published biannually

Minsk 2026

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

Editor-in-chief – Kasperovich Sergey Antonovich, PhD (Economics), Associate Professor, Republic of Belarus

Editorial (Journal):

Fleisher V. L., DSc (Engineering), Associate Professor (deputy editor-in-chief), Republic of Belarus;
Zharskiy I. M., PhD (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;
Flyurik E. A., PhD (Biology), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus;
Vodop'yanov P. A., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Philosophy), Professor, Republic of Belarus;
Prokopchuk N. R., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Chemistry), Professor, Republic of Belarus;
Narkevich I. I., DSc (Physics and Mathematics), Professor, Republic of Belarus;
Novikova I. V., DSc (Economics), Professor, Republic of Belarus;
Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Kulikov V. I., PhD (Philology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Kaukhova I. E., DSc (Pharmaceutics), Professor, Russian Federation;
Zhantasov K. T., DSc (Engineering), Professor, Republic of Kazakhstan;
Erkayev A. U., DSc (Engineering), Professor, Republic of Uzbekistan;
Gorinshteyn Sh., DSc, Professor, State of Israel;
Maes Wouter, DSc, Professor, Kingdom of Belgium.

Editorial (Issue):

Chernaya N. V., DSc (Engineering), Professor (managing editor), Republic of Belarus;
Kozlov N. G., DSc (Chemistry), Professor (sub-editor), Republic of Belarus;
Latyshevich I. A., PhD (Engineering), Associate Professor (executive editor), Republic of Belarus;
Kozel A. V., PhD (Agriculture), Associate Professor (secretary), Republic of Belarus;
Kaplich V. M., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Kruk N. K., PhD (Biology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Nosnikov V. V., PhD (Agriculture), Associate Professor, Republic of Belarus;
Tsyganov A. R., Academician of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;
Usenya V. V., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;
Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Saevich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Belarus, DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Gerts E. F., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation.

Contact: 13a, Sverdlova str., 220006, Minsk.
Telephones: editor-in-chief (+375 17) 343-94-32;
managing editor (+375 17) 374-80-46.
E-mail: root@belstu.by, <http://www.belstu.by>

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY

УДК 630*232

О. А. Севко, В. В. Коцан

Белорусский государственный технологический университет

ИССЛЕДОВАНИЕ ТАКСАЦИОННЫХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ И ПРОСТРАНСТВЕННОЙ СТРУКТУРЫ ДРЕВОСТОЕВ НА ПОСТОЯННЫХ ПРОБНЫХ ПЛОЩАДЯХ

Долгосрочные исследования на постоянных пробных площадях дают наиболее полную информацию о динамике таксационных показателей и изменении пространственной структуры древостоев. В статье изложены результаты подеревной таксации древостоев с учетом расположения стволов на пробных площадях с 2003 по 2023 г. С помощью Quantum GIS на электронных картах отмечено изменение пространственного размещения деревьев в связи с отпадом и рубками ухода.

На последнем этапе в 2024 г. был измерен радиальный прирост с помощью кернов у деревьев, рядом с которыми отпали или были вырублены соседние. При этом приведено разделение динамики радиального прироста для деревьев, находившихся до рубки под значительной конкуренцией соседних деревьев, и деревьев, не подверженных влиянию соседних деревьев как до, так и после рубки.

Проведенное исследование подтвердило влияние изменения пространственной структуры на динамику таксационных показателей древостоя. Дополнительное исследование радиального прироста по данным измерения кернов позволяет численно оценить увеличение прироста и его зависимость от изменения пространственной структуры, а также подтверждает влияние рубок ухода на прирост оставшихся деревьев (процент увеличения прироста по диаметру до 48% и процент увеличения прироста по объему до 31%).

Ключевые слова: пространственная структура, радиальный прирост, долгосрочное наблюдение, сложный древостой, таксационные показатели.

Для цитирования: Севко О. А., Коцан В. В. Исследование таксационных показателей и пространственной структуры древостоев на постоянных пробных площадях // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 5–15.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-1.

O. A. Sevko, V. V. Kotsan

Belarusian State Technological University

STUDY OF TAXACIN INDICATORS AND THE SPATIAL STRUCTURE OF FOREST STANDS IN PERMANENT SAMPLE PLOTS

Long-term studies on permanent sample plots provide the most complete information on the dynamics of taxation indicators and changes in the spatial structure of forest stands. This article presents the results of a tree-by-tree inventory of forest stands, taking into account the location of trunks in sample plots from 2003 to 2023. Using Quantum GIS, changes in the spatial distribution of trees due to mortality and thinning were noted on electronic maps.

At the final stage in 2024, radial growth was measured using core samples from trees near which neighboring trees had fallen or been felled. A distinction was made between the radial growth dynamics of trees that were under significant competition from neighboring trees before felling and trees that were not affected by neighboring trees either before or after felling.

The study confirmed the impact of spatial structure changes on the dynamics of forest stand taxation indicators. An additional study of radial growth based on core measurements allows for a quantitative assessment of the increase in growth and its dependence on spatial structure changes, as well as confirms the impact of thinning on the growth of remaining trees (a 48% increase in diameter growth and a 31% increase in volume growth).

Keywords: spatial structure, radial growth, long-term observation, complex tree stand, taxation indicators.

For citation: Sevko O. A., Kotsan V. V. Study of taxacin indicators and the spatial structure of forest stands in permanent sample plots // *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 5–15 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-1.

Введение. Изучение прироста древостоев – одно из наиболее актуальных и значимых направлений в лесной таксации, позволяющее верно оценить возможные ресурсы леса и возможную обеспеченность народного хозяйства древесиной на перспективу. Комплексное изучение этого вопроса начинается с долгосрочных наблюдений за лесом и изменением его таксационных характеристик. В дальнейшем полученные данные возможно использовать для анализа хода роста древостоя и прогноза получаемых объемов древесины на перспективу.

Долгосрочное (стационарное) наблюдение за лесом (от 10 лет до момента разложения древостоя) позволяет наиболее точно описать изменение всех его параметров за 5-летние периоды. При этом используется максимально точная таксация каждого древесного ствола с учетом его пространственного положения на пробной площади, что позволяет исследовать влияние пространственной структуры и конкурентных отношений с соседними деревьями на таксационные показатели каждого конкретного дерева, а следовательно, и древостоя в целом.

Исследования такого рода проводились различными зарубежными авторами с использованием параметров пространственного распределения деревьев для определения влияния экологических механизмов, оценки поддержания биоразнообразия и прогноза динамики таксационных показателей древостоев (J. H. Menge, P. Magdon, S. Wöllauer, 2023 [1]; Fang, 2005; Penttinen, 2000; Kokkila 2002).

Тем не менее мелкомасштабные пространственные распределения деревьев в отдельном древостое остаются плохо понятыми. Эмпирические исследования неоднократно показывали влияние пространственного распределения и размеров деревьев на конкуренцию (Ford, 1975; Chen, 2004), и в то же время, пространственное распределение и размер дерева являются результатом конкуренции.

Стремление описать изменение таксационных показателей древостоев с помощью математических моделей привело к выделению трех типов моделей. Модели динамики многовидовых лесных насаждений в литературе при описании роста смешанных лесов классифицируются по типам моделей: гар-модели (Shugart, 1984; Shugart and Smith, 1996), модели индивидуальных деревьев (Liu and Ashton, 1995) или модели предсказания роста и урожайности (Vanclay, 1995).

При этом основным параметром, связывающим морфологию древостоя с его функциональной организацией, является положение конкретного дерева в пространственной структуре древостоя [2].

Конкуренция, взаимодействие, отпад, распределение по площади, являясь принципиально детерминированными процессами, действительно целенаправленно изменяют структуры насаждений [3]. Одной из основных задач, решение которой зависит от пространственной структуры, является количественное моделирование основных процессов:

например конкурентного взаимодействия. Пространственная структура представляет интерес, так как влияет на динамику, состав и биоразнообразие сообществ [4]. Например, степень агрегации на уровне полога леса может существенно регулировать свет в подлеске и тем самым воздействовать на набор различных видов с разными функциональными особенностями. Следовательно, сложность структуры способствует флористическому и фаунистическому биоразнообразию [1].

Однако наибольший интерес вызывает влияние пространственной структуры и, соответственно, конкуренции на таксационные показатели древостоя и прирост в частности.

Связь текущего прироста деревьев с морфологическими и социальными показателями, а также роль горизонтальной структуры полога древостоя рассматриваются в работах А. А. Вайса, посвященных межвидовым и внутривидовым отношениям в сложных древостоях. Оценку рангового положения деревьев различных пород в древостое при исследовании их фитомассы предложено проводить двумя способами: либо с учетом характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния, либо без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния [5–7].

Пространственные взаимосвязи в размещении древесных пород и влияние их на производительность насаждения рассматривались в работах А. В. Манова, И. Н. Кутявина [8], С. В. Бойко [9], А. И. Бузыкина [10], В. Я. Грибанова [11]. Изучение пространственной структуры, динамики и продуктивности выявило численные взаимосвязи данных параметров [12]. Наличие данных о горизонтальной структуре древостоя позволяет выявить те деревья, которые активно увеличивают жизненное пространство и имеют текущий прирост выше среднего для данного насаждения.

Введение в описание пространственной структуры помимо горизонтального расположения деревьев вертикально-фракционной структуры позволило выявить ранговое распределение фракций фитомассы [13, 14]. Как результат, при детальном изучении пространственной структуры древостоев и прироста деревьев возможно установить оптимальный радиус влияния, обеспечивающий максимальный прирост ствола и фитомассы.

Изучение внутривидовых и межвидовых отношений, а также влияние пространственной структуры древостоев на таксационные показатели деревьев привело к необходимости использовать индекс конкуренции (CI), дающий количественное выражение конкурентных отношений между деревьями и позволяющий вычислять изменчивость биологической продуктивности деревьев в насаждении [15–19].

Основная часть. В Негорельском учебно-опытном лесхозе для изучения данного вопроса были заложены постоянные пробные площади со сплошной нумерацией и детальным картированием расположения деревьев (пробная площадь разбивалась на квадраты со стороной 5 м, внутри которых условные координаты определялись методом прямоугольных координат). Пробы были заложены в сосняках черничных: кв. 50 ППП № 39 (1-й ярус – 5С5Б, 2-й ярус – 10Е) и кв. 39 ППП № 31 (1-й ярус – 10С, 2-й ярус – 10Е). Исследование на ППП № 39 проводилось с 2003 по 2023 г., на ППП № 31 с 2011 по 2021 г.

Измерение таксационных характеристик проводилось по дереву: измерялись по два перпендикулярных диаметра на высоте 1,3 м мерной вилкой, высота деревьев и протяженность крон лазерным высотомером, по четыре радиуса крон с помощью ультразвукового дальномера, а также определялись возраст и состояние деревьев. В итоге вычислены средние и общие таксационные показатели древостоев. По результатам полевых работ в QGIS строились электронные карты расположения деревьев пробных площадей в условных системах координат. К точкам, указывающим положение деревьев, подвязывался слой с параметрами крон для выявления перекрытий и определения кругов конкуренции соседних деревьев (рис. 1).

Указанные исследования на данных пробных площадях проводились по три раза за указанные периоды с повторяемостью 5–10 лет (табл. 1, 2).

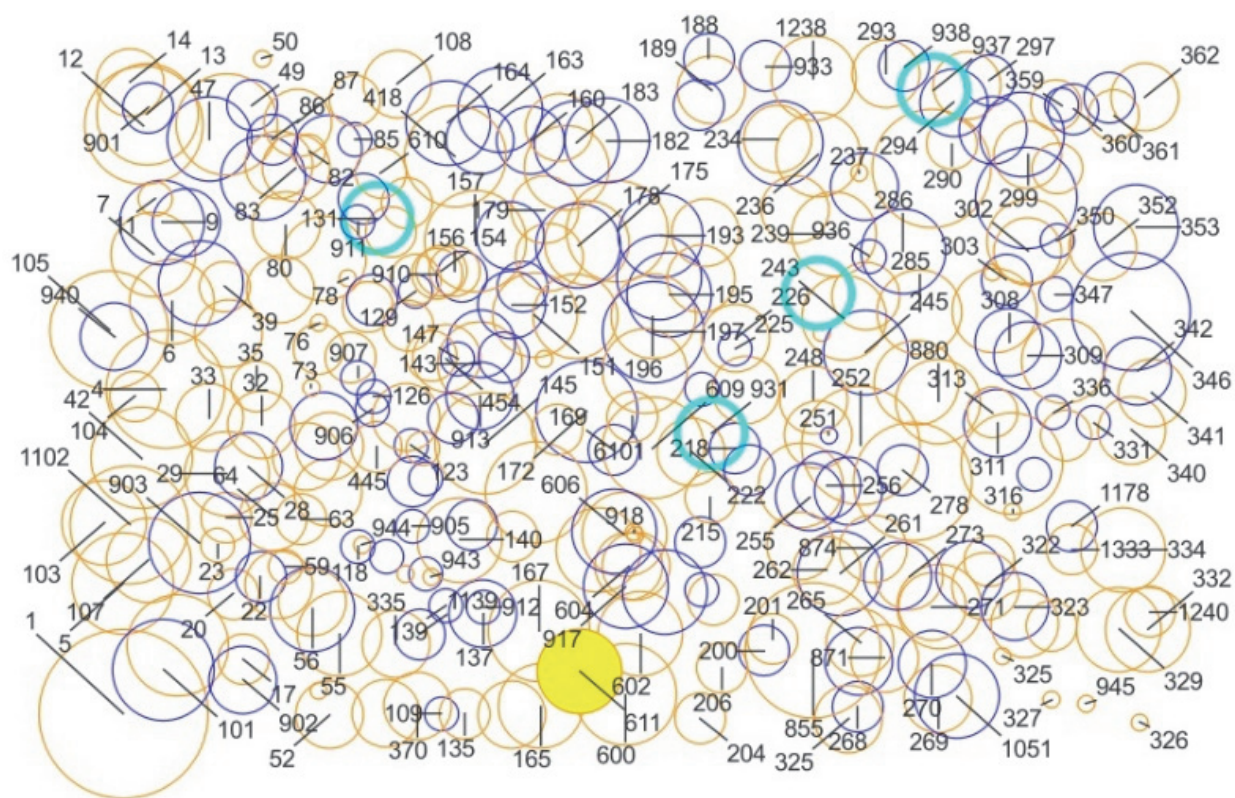


Рис. 1. Размещение деревьев на пробной площади

На последнем этапе наибольшее внимание было уделено изучению радиального прироста деревьев ели, в пределах круга конкуренции которых (рис. 2) за время исследования отпали или были вырублены соседние деревья.

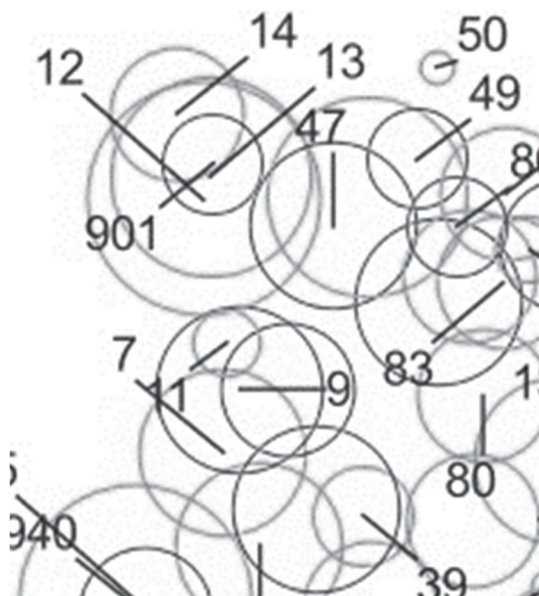


Рис. 2. Круги конкуренции

Для этого у 10% стволов брались керны, зачищались и измерялись размеры годовичных колец за 10-летний период (рис. 3). Определялся радиальный прирост изучаемых деревьев, при этом оценивалась зависимость радиального прироста изучаемых деревьев ели от расстояния до вырубленных при рубках ухода деревьев.

Таблица 1. Динамика таксационных показателей древостоя на постоянной пробной площади 39 с 2003 по 2020 г.

Порода	Возраст, лет	Средние показатели растущего древостоя						Средние показатели сухостоя						Сумма проекций крон, м ²		
		диаметр, см	высота, м	на пробной площади			на 1 га			на пробной площади			на 1 га			
				сумма площадей сечений, м ²	число стволов, шт.	запас, м ³	сумма площадей сечений, м ²	число стволов, шт.	запас, м ³	сумма площадей сечений, м ²	число стволов, шт.	запас, м ³	число стволов, шт.			
2003 г.																
Сосна	62	30,2	22,9	8,32	117	90,6	13,85	193	150,9	0,17	6	0,9	0,29	10	1,4	3628,92
Ель	28	21,3	14,3	2,18	61	21,7	3,62	102	36,1	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	2149,17
Береза	62	29,9	22,9	4,70	91	68,1	7,84	111	113,5	0,22	4	2,4	0,36	77	4,0	3537,52
Осина	60	42,3	23,0	0,14	2	2,2	0,23	2	3,6	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	102,96
Всего				15,32	245	182	25,54	408	304	0,39	10	3	0,65	17	5	9418,6
2013 г.																
Сосна	67	30,6	26,7	8,62	117	105,9	14,34	195	176,4	0,13	5	0,7	0,22	8	1,2	3608,41
Ель	34	21,5	14,2	2,76	76	32,5	4,61	127	54,2	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	2771,57
Береза	61	30,7	25,8	6,75	91	80,9	11,26	152	134,8	0,37	7	3,8	0,61	12	6,3	3554,00
Осина	60	36,4	30,4	0,21	2	3,0	0,35	3	5,1	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	88,13
Всего				18,34	286	222	30,56	477	370	0,50	12	5	0,83	20	8	10022,1
2023 г.																
Сосна	69	32,1	26,1	9,49	117	112,7	23,71	292	281,9	0,10	2	1,2	0,25	5	3,0	4376,22
Ель	49	22,2	17,1	2,97	77	34,2	7,43	193	85,4	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	3462,82
Береза	64	32,5	25,9	6,55	79	82,1	16,39	197	205,1	0,27	4	3,1	0,69	10	7,7	4145,43
Осина	64	37,2	25,7	0,22	2	2,7	0,54	5	6,7	0,00	0	0,0	0,00	0	0,0	118,55
Всего				19,23	275	232	48,07	687	579	0,37	6	4	0,94	15	11	12103,0

Таблица 2. Динамика таксационных показателей древостоя на постоянной пробной площади 31 с 2011 по 2021 г.

Порода	Воз- раст, лет	Средние показатели растущего древостоя						Средние показатели сухостоя						Сумма проекций крон, м ²		
		диа- метр, см	высота, м	на пробной площади			на пробной площади			на 1 га						
				сумма площа- дей сече- ний, м ²	число ство- лов, шт.	запас, м ³	сумма площа- дей сече- ний, м ²	число ство- лов, шт.	запас, м ³	сумма площа- дей сече- ний, м ²	число ство- лов, шт.	запас, м ³				
2011 г.																
Сосна	60	23,0	22,6	7,732	186	82,3	25,775	620	274,3	0,275	16	2,3	0,917	53	7,6	6049,38
Ель	35	13,9	14,6	1,629	108	14,4	5,430	360	48,1	0,013	2	0,1	0,043	7	0,3	2212,97
Береза	40	26,1	20,5	0,214	4	2,1	0,712	13,333	7,1	0,000	0	0,0	0,000	0	0,0	145,55
Всего				9,575	298	99	31,916	993,33	329	0,288	18	2	0,960	60	8	8407,9
2016 г.																
Сосна	65	25,6	27,0	8,815	171	104,6	35,261	684	418,2	0,000	0	0,0	0,000	0	0,0	2431,19
Ель	40	15,7	16,8	2,068	107	18,9	8,271	428	75,5	0,000	0	0,0	0,000	0	0,0	1683,04
Береза	43	25,3	23,5	0,150	3	1,7	0,602	12	6,9	0,000	0	0,0	0,000	0	0,0	91,52
Всего				11,122	282	126	44,487	1128	505	0,000	0	0	0,000	0	0	4225,0
2021 г.																
Сосна	70	26,8	26,8	9,088	161	111,2	36,352	644	444,7	0,401	19	3,7	1,602	76	14,9	2441,70
Ель	48	15,7	16,3	2,160	111	19,5	8,641	444	78,1	0,036	2	0,3	0,145	8	1,0	1249,52
Береза	53	23,5	22,0	0,174	4	2,0	0,694	16	8,0	0,000	0	0,0	0,000	0	0,0	76,27
Всего				11,422	276	133	45,687	1104	531	0,437	21	4	1,747	84	16	3767,5



Рис. 3. Измерение ширины годичного слоя

На основании радиального прироста определялся относительный и абсолютный прирост по объему. Различия между средними приростами деревьев, находившихся под влиянием до рубки, и деревьев, не подверженных влиянию срубленных деревьев, оказались значительными. У деревьев, находившихся под влиянием, через 5 лет после проведения рубки средний радиальный прирост увеличился по сравнению с приростом деревьев без влияния на 10–31% (табл. 3). Детальное изучение радиального прироста показывает, что рубка соседних деревьев дает увеличение радиального прироста у деревьев ели после рубки, согласно измерениям годичных слоев кернов, до 50–70%.

Таблица 3. Увеличение прироста стволов ели по объему

Номер дерева	Прирост по объему				Увеличение прироста по объему, %
	после рубки, м ³	после рубки, %	до рубки, м ³	до рубки, %	
162	0,04	46,14	0,05	33,33	12,81
183	0,06	39,75	0,06	30,00	9,75
150	0,02	51,91	0,06	30,00	21,91
190	0,04	45,25	0,07	31,82	13,43
72	0,03	56,70	0,04	36,36	20,34
28	0,02	71,20	0,04	40,00	31,20

Результаты исследования показали, что чем больше было соседнее вырубленное дерево и меньше расстояние до него, тем выше прирост в оставшемся рядом дереве ели. Для того чтобы избежать случайной составляющей, было выделено два тренда: деревья, около которых была проведена рубка, и деревья без рубки соседних деревьев. Показатели среднего радиального прироста для деревьев, подверженных конкуренции со стороны деревьев-соседей до рубки, значительно увеличиваются после рубки по сравнению с радиальным приростом тех деревьев, которые не зависели от конкуренции вырубаемых стволов. При этом наибольшее влияние оказывалось на радиальный прирост деревьев ели, находящихся во 2-м ярусе и, соответственно, более чувствительных к изменению режимов освещенности и питания, связанных с вырубкой соседних деревьев.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило влияние изменения пространственной структуры на динамику таксационных показателей древостоя.

Динамика таксационных показателей в течение 20-летнего периода позволяет максимально достаточно точно оценивать изменение таксационных показателей, а наличие данных о пространственном расположении деревьев позволяет оценивать влияние деревьев друг на друга.

Дополнительное исследование радиального прироста по данным измерения кернов подтверждает полученный ранее материал и позволяет численно оценить увеличение прироста и его зависимость от изменения пространственной структуры.

Анализируя материал, приведенный выше, можно точно сказать, что рубки ухода, в результате которых меняется пространственная структура, оказывают значительное влияние на увеличение радиального прироста. Это подтверждает процент увеличения прироста по диаметру (до 48%) и процент увеличения прироста по объему (до 31%).

Дальнейшее изучение данной проблемы позволит установить оптимальный радиус влияния, обеспечивающий максимальный прирост ствола, что в свою очередь позволит оптимизировать пространственную структуру древостоя рубками ухода.

Список литературы

1. Menge J. H., Magdon P., Wöllauer S. Impacts of forest management on stand and landscape-level microclimate heterogeneity of European beech forests // *Landscape Ecology*. 2023. No. 38 (4). URL: https://www.researchgate.net/publication/367544208_Impacts_of_forest_management_on_stand_and_landscape-level_microclimate_heterogeneity_of_European_beech_forests (data of access: 06.10.2025).
2. Плотников В. В. Морфология сообществ древесных растений – новый раздел лесоведения // *Вестник АН СССР*. 1974. № 8. С. 39–44.
3. Observed Climate Variability and Change / C. K. Folland [et al.] // *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK: Cambridge University Press, 2001. P. 99–181.
4. Tihnan D. The resource – ration hypothesis of plant succession // *Amer. Naturalist*. 1985. Vol. 125, no. 6. P. 827–852.
5. Вайс А. А. Оценка рангового положения деревьев в древостое при исследовании их фитомассы // *Успехи современного естествознания*. 2021. № 7. С. 20–25.
6. Вайс А. А. Горизонтальная структура древостоев средней Сибири // *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2009. № 45. С. 166–181. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorizontalnaya-struktura-drevostoev-sredney-sibiri> (дата обращения: 06.10.2026).
7. Вайс А. А. Связь текущего прироста деревьев с морфологическими и социальными показателями на примере древостоев Восточной Сибири // *Научный журнал Кубанского государственного аграрного университета*. 2010. № 47. С. 113–129. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-tekuschego-prirosta-dereviev-s-morfologicheskimi-i-sotsialnymi-pokazatelyami-na-primere-drevostoev-vostochnoy-sibiri> (дата обращения: 06.10.2025).
8. Манов А. В., Кутявин И. Н. Пространственные взаимосвязи в размещении древесных растений в среднетаежных коренных ельниках верховьев реки Печоры // *Сибирский лесной журнал*. 2021. № 2. С. 82–95.
9. Бойко С. В. Типы размещения деревьев в естественных сосняках // *Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2011. Вып. 71*. С. 355–359.
10. Бузыкин А. И. Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1985. 80 с.
11. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // *Продуктивность лесных фитоценозов: сб. ст. Красноярск, 1984*. С. 42–47.

12. Загидуллина А. Т. Пространственная структура, динамика и продуктивность лишайниково-зеленомошных сосняков (Карельский лесной район): автореф. дис. ... канд. биол. наук. СПб., 2021. 18 с.
13. Усольцев В. А., Цепордей И. С. Ранговое распределение фракций фитомассы деревьев в новом освещении // Сибирский лесной журнал. 2023. № 4. С. 41–51.
14. Усольцев В. А. Вертикально-фракционная структура фитомассы деревьев. Исследование закономерностей. Екатеринбург: УГЛУ, 2013. 601 с.
15. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 1993. С. 160–172.
16. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. С. 19–22.
17. Севко О. А., Пупенко А. В. Влияние пространственной структуры сосново-березовых древостоев на таксационные показатели деревьев сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 37–42.
18. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосновоберезовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–45.
19. Вайс А. А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук. Красноярск, 2014. 25 с.

References

1. Menge J. H., Magdon P., Wöllauer S. Impacts of forest management on stand and landscape-level microclimate heterogeneity of European beech forests, *Landscape Ecology*, 2023, no. 38 (4). Available at: https://www.researchgate.net/publication/367544208_Impacts_of_forest_manageent_on_stand_and_landscape-level_microclimate_heterogeneity_of_European_beech_forests (accessed 06.10.2025).
2. Plotnikov V. V. Morphology of woody plant communities – a new section of forestry. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences], 1974, no. 8, pp. 39–44 (In Russian).
3. Folland C. K., Karl T. R., Christy J. R., Clarke R. A., Gruza G. V., Jouzel J., Mann M. E., Oerlemans J., Salinger M. J., Wang S.-W. Observed Climate Variability and Change. *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Cambridge, UK, Cambridge University Press, 2001, pp. 99–181.
4. Tihnan D. The resource – ration hypothesis of plant succession. *Amer. Naturalist*, 1985, vol. 125, no. 6, pp. 827–852.
5. Vays A. A. Assessment of the rank position of trees in a forest stand when studying their phytomass. *Uspekhi sovremennogo yestestvoznaniya* [Advances in modern natural science], 2021, no. 7, pp. 20–25 (In Russian).
6. Vays A. A. Horizontal structure of forest stands in Central Siberia. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific journal of the Kuban State Agrarian University], 2009, no. 45, pp. 166–181. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/gorizontalnaya-struktura-drevostoev-sredney-sibiri> (accessed 06.10.2026) (In Russian).
7. Vays A. A. The relationship between the current growth of trees and morphological and social indicators using the example of forest stands in Eastern Siberia. *Nauchnyy zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta* [Scientific journal of the Kuban State

Agrarian University], 2010, no. 47, pp. 113–129. Available at: <https://cyberleninka.ru/article/n/svyaz-tekushego-prirosta-dereviev-s-morfologicheskimi-i-sotsialnymi-pokazatelyami-na-primere-drevostoev-vostochnoy-sibiri> (accessed 06.10.2026) (In Russian).

8. Manov A. V., Kutuyavin I. N. Spatial relationships in the distribution of woody plants in middle-taiga primary spruce forests of the upper reaches of the Pechora River. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry Journal], 2021, no. 2, pp. 82–95 (In Russian).

9. Boyko S. V. Types of tree placement in natural pine forests. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik trudov Instituta lesa Nathional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and silviculture: collection of papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus], Gomel, 2011, vol. 71, pp. 355–359 (In Russian).

10. Buzykin A. I. *Analiz struktury drevesnykh tsenozov* [Analysis of the structure of tree cenoses]. Novosibirsk, Nauka. Sibirskoye otdeleniye Publ., 1985. 80 p. (In Russian).

11. Gribanov V. Ya. Spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses: collection of articles]. Krasnoyarsk, 1984, pp. 42–47 (In Russian).

12. Zagidullina A. T. *Prostranstvennaya struktura, dinamika i produktivnost' lishaynikovo-zelenomoshnykh sosnyakov (Karel'skiy lesnoy rayon). Avtoreferat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk* [Spatial structure, dynamics and productivity of lichen-green moss pine forests (Karelian forest region). Abstract of thesis PhD (Biological)]. St. Petersburg, 2021. 18 p. (In Russian).

13. Usol'tsev V. A., Tsepordey I. S. Rank distribution of tree phytomass fractions in a new light. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry Journal], 2023, no. 4, pp. 41–51 (In Russian).

14. Usol'tsev V. A. *Vertikal'no-fraktsionnaya struktura fitomassy derev'yev. Issledovaniye zakonomernostey* [Vertical fractional structure of tree phytomass. A study of patterns]. Ekaterinburg, UGLU Publ., 2013. 601 p. (In Russian).

15. Sennov S. N. Results of an experimental study of competition in stands. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the St.-Petersburg Forestry Academy], 1993, pp. 160–172 (In Russian).

16. Kotsan V. V. The relationship between taxation indicators of trees in the circles of competition on the example of mossy pine forests of artificial origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 1: Forestry, pp. 19–22 (In Russian).

17. Sevko O. A., Pupenko A. V. Influence of the spatial structure of pine-birch forest stands on taxation indicators of pine trees. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 37–42 (In Russian).

18. Sevko O. A. Assessment of the dependence of the current growth of the pine part of mixed pine-birch stands on their spatial structure. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 41–45 (In Russian).

19. Vays A. A. *Nauchnyye osnovy otsenki gorizontally'noy struktury drevostoyev dlya povysheniya ikh ustoychivosti i produktivnosti. Avtoreferat dissertatsii doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Scientific basis for assessing the horizontal structure of forest stands for increasing their stability and productivity. Abstract of thesis DSc (Agriculture)]. Krasnoyarsk, 2014, 25 p. (In Russian).

Информация об авторах

Севко Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: o.sevko@belstu.by. SPIN-код: 3706-0231.

Коцан Владимир Васильевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Wolodia250@belstu.by. SPIN-код: 2584-3199. Scopus ID: 57728872800. ORCID: 0000-0003-4228-8041. ResearcherID: PHE-9717-2026.

Information about the authors

Sevko Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: o.sevko@belstu.by. SPIN code: 3706-0231.

Kotsan Vladimir Vasil'yevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Wolodia250@belstu.by. SPIN code: 2584-3199. Scopus ID: 57728872800. ORCID: 0000-0003-4228-8041. ResearcherID: PHE-9717-2026.

Поступила 15.10.2025

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE

UDC 630*911(476)

A. V. Domnenkova, V. N. Kukhta, I. T. Yermak, A. K. Garmaza
Belarusian State Technological University

DYNAMICS OF FOREST FUND LANDS OF THE MINISTRY OF FORESTRY OF THE REPUBLIC OF BELARUS IN AREAS OF RADIOACTIVE CONTAMINATION

On April 26, 2026, it will be 40 years since the largest man-made disaster of the 20th century – the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant (ChNPP). As a result of this event, 20.1 thousand km² of Belarusian forests were contaminated with radioactive elements, accumulating up to 70% of the radionuclides that fell on the territory of the republic. Radioactive contamination of the land changed the natural properties of forest ecosystems, disrupted established forest management practices, and created a number of restrictions on forestry operations and multiple-use forest management. To ensure radiation safety for forestry workers, the population visiting forests, and consumers of forest products – and to obtain environmentally safe (normatively clean) products – annual updates of the radiation situation in forests have been conducted since 1993.

This article studies the dynamics of changes in the forest fund area of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus in radioactive contamination zones from 1995 to 2025 and provides a forecast for 2046. It also presents the distribution of forestry enterprise territories by radioactive contamination zones as of January 1, 2025.

The radiation situation in the radionuclide-contaminated areas is gradually stabilizing. The amount of cesium-137 in the soil decreases due to radioactive decay (about 2% per year) and absorption by vegetation. Over time, the area of each radioactive contamination zone decreases, with transitions occurring from zones of higher soil contamination density by cesium-137 to zones of lower density. As of January 1, 2025, the forest fund territory classified as radioactive contamination zones amounts to 1,203.0 thousand ha (13.91% of the total forest fund area). The main portion of the radioactive contamination area (842 thousand ha) belongs to Zone I (1–5 Ci/km²). From 1995 (1,747.1 thousand ha) to 2025, the area of radioactive contamination in the Ministry of Forestry's forest fund decreased by 544.1 thousand ha, or 31%. By 2046, it is projected to decrease to 829.3 thousand ha, or 53% relative to the 1995 level. The ability to forecast changes in the area (zones) of radioactive contamination will make it possible to optimize planning of forestry operations in these territories.

Keywords: radioactive contamination, forest fund, radionuclides, cesium-137, radiation safety.

For citation: Domnenkova A. V., Kukhta V. N., Yermak I. T., Garmaza A. K. Dynamics of forest fund lands of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus in areas of radioactive contamination. *Proceeding of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 16–26.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-2.

А. В. Домненкова, В. Н. Кухта, И. Т. Ермак, А. К. Гармаза
Белорусский государственный технологический университет

ДИНАМИКА ЗЕМЕЛЬ ЛЕСНОГО ФОНДА МИНИСТЕРСТВА ЛЕСНОГО ХОЗЯЙСТВА РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ В ЗОНАХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

26 апреля 2026 г. исполнится 40 лет со дня крупнейшей техногенной катастрофы XX века – аварии на Чернобыльской АЭС (ЧАЭС), в результате которой 20,1 тыс. км² лесных насаждений Беларуси оказались загрязнены радиоактивными элементами, аккумулировав до 70% радионуклидов,

выпавших на территорию республики. Радиоактивное загрязнение территорий изменило природные свойства лесных экосистем, нарушило сложившийся режим ведения лесного хозяйства, создало ряд ограничений в процессе лесохозяйственной деятельности и многоцелевого лесопользования. Для обеспечения радиационной безопасности работников лесного хозяйства, населения при посещении лесов, потребителей лесной продукции, а также для получения нормативно чистой продукции с 1993 г. проводится ежегодное уточнение радиационной обстановки в лесах.

В статье исследована динамика изменения площади лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в зонах радиоактивного загрязнения с 1995 по 2025 гг., представлен прогноз на 2046 г. Приведено распределение территорий лесхозов по зонам радиоактивного загрязнения на 01.01.2025.

Радиационная обстановка на загрязненной радионуклидами территории постепенно стабилизируется. Запас цезия-137 в почве снижается за счет радиоактивного распада (около 2% в год) и поглощения растительностью. Со временем уменьшаются площади каждой зоны радиоактивного загрязнения, происходит переход из зоны с большей плотностью загрязнения почв цезием-137 в зону с меньшей плотностью. По состоянию на 1 января 2025 г. территория лесного фонда, отнесенная к зонам радиоактивного загрязнения, составляет 1203,0 тыс. га (13,91% от общей площади лесного фонда). Основная часть территории радиоактивного загрязнения (70%) отнесена к I зоне (1–5 Ки/км²). Площадь радиоактивного загрязнения лесного фонда Минлесхоза за период с 1995 (1747,1 тыс. га) по 2025 гг. уменьшилась на 544,1 тыс. га, или на 31%. К 2046 г. прогнозируется уменьшение площади лесов в зонах радиоактивного загрязнения до 829,3 тыс. га, или на 53%, по отношению к площади в 1995 г. Возможность прогнозирования изменения площади (зон) радиоактивного загрязнения позволит оптимизировать планирование лесохозяйственных работ на данных территориях.

Ключевые слова: радиоактивное загрязнение, лесной фонд, радионуклиды, цезий-137, радиационная безопасность.

Для цитирования: Домненкова А. В., Кухта В. Н., Ермак И. Т., Гармаза А. К. Динамика земель лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в зонах радиоактивного загрязнения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 16–26 (На англ.).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-2.

Introduction. On April 26, 2026, it will be 40 years since the largest man-made disaster of the 20th century – the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant (ChNPP), as a result of which about one-quarter of the territory of Belarus was exposed to radioactive contamination. To varying degrees, 52 administrative districts of Belarus were affected (4 in Brest Region, 1 in Vitebsk Region, 20 in Gomel Region, 3 in Grodno Region, 10 in Minsk Region, and 14 in Mogilev Region). Taking into account the proportion of contaminated land, collective radiation dose, loss of agricultural land, number of liquidated farms and enterprises, and the resettled population, 21 districts were identified as the most contaminated with radionuclides: Brest Region: Luninets, Pinsk, and Stolin Districts; Gomel Region: Bragin, Buda-Koshelevo, Vetka, Dobrush, Yelsk, Kalinkovich, Korma, Lelchitsy, Narovlya, Rechitsa, Rogachev, Khoyniki, and Chechersk Districts; Mogilev Region: Bykhov, Kostyukovich, Krasnopolye, Slavgorod, and Cherkov Districts. Radioactive contamination disrupted established modes of use for agricultural land and forests, reduced their resource potential, complicated the technological processes of economic activity, and led to additional financial expenditures for radiation control and monitoring of radioactive contamination parameters in farmland, forest areas, natural resources, and production outputs [1–4].

A total of 20.1 thousand km² of Belarusian forests were contaminated with radioactive elements, accumulating up to 70% of the radionuclides that fell on the republic's territory. Forests contaminated with radionuclides represent a long-term source of radiation hazard. Important properties of forest ecosystems – such as the large absorbing surface area of forest vegetation and other forest components, the inclusion of radionuclides into the nutrient cycle of forest ecosystems, high stability of forest stands, and their ability to securely retain radionuclides – allow forests to serve as a powerful biogeochemical barrier preventing the spread of radionuclides. The distinct features of forests as both an object of contamination and a source of radiation hazard lie in their large biomass, biodiversity, and longevity [1–4].

Main Section. Radioactive contamination of territories altered the natural properties of forest ecosystems, disrupted the established system of forest management, and created a number of restrictions on forestry operations and multiple-use forest utilization.

To ensure radiation safety for forestry workers, the population visiting forests, and consumers of forest products – and to obtain environmentally safe (normatively clean) products – it became necessary to refine the understanding of the radiation situation and to develop regulatory documentation governing activities in radioactive contamination zones [1–4].

In 1989, systematic work began to establish a radiation control service to monitor the radiation situation on forest fund lands. Regional radiation control laboratories and radiation control posts were created within State Forestry Production Associations (SFPA) and in contaminated state forestry enterprises across the republic.

A comprehensive field radiation survey of forest fund lands was carried out in 1991–1992. The survey revealed that the forest fund area affected by the Chernobyl NPP accident amounted to 20.1 thousand km². The main share of radionuclide-contaminated forests was under the jurisdiction of the Ministry of Forestry – 17.47 thousand km², and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection [5].

The system of radioactive contamination control for the forest fund includes two subsystems: radiation control and radiation monitoring. Radiation control – a set of activities aimed at measuring and monitoring radiation levels to assess the safety of people and the environment. Radiation monitoring – a continuous system of observation and control over the levels of radiation and radioactive contamination of the environment, including air, water, soil, food, humans, and facilities [5].

Since 1993, radiation control and monitoring have been carried out in forests located in radioactive contamination zones. This monitoring is conducted in accordance with the technical codes of established practice: TKP 498–2013 “Radiation Monitoring of the Forest Fund. Establishment of a Permanent Observation Point. Procedure”, TKP 499–2013 “Radiation Monitoring of the Forest Fund. Examination of a Permanent Observation Point. Procedure”. To study the “behavior” of radionuclides in forest ecosystems, 102 permanent sample plots – Permanent Observation Points (hereinafter POP) for radiation monitoring in forests – were established within Ministry of Forestry organizations during 1993–1995 [5–8]. Figure 1 shows the distribution of radiation monitoring departments, posts and POP in forests across Belarus.

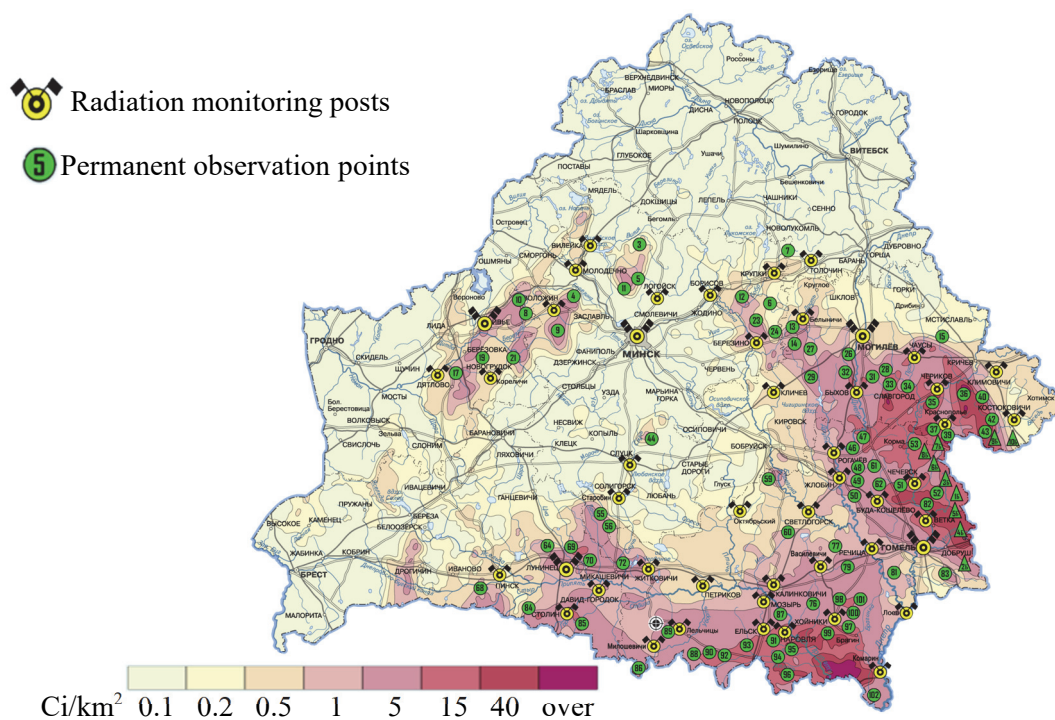


Figure 1. Distribution of radiation monitoring posts and POP in forests

When organizing the radiation monitoring network in forests, the needs of the forestry sector for sufficient and objective information on radionuclide levels in the main forest resource – wood – as well as on the processes of change in wood contamination over time, were taken into account.

As part of the annual radiation surveys at the Permanent Observation Points (POP), studies are conducted on how various factors influence the uptake of radionuclides from soil into trees, considering forest type, forest growth conditions, and edaphotopes.

The procedure for classifying forest fund territories into radioactive contamination zones (zoning) and the legal regime in such territories are determined in accordance with the requirements of the Law of the Republic of Belarus “On the Legal Regime of Territories Affected by Radioactive Contamination as a Result of the Chernobyl NPP Disaster” [9].

The following zoning of radioactive contamination in the forest fund is applied, based on the soil contamination density by cesium-137:

Zone I – contamination density 1–5 Ci/km²;

Zone II – 5–15 Ci/km²;

Zone III – 15–40 Ci/km²;

Zone IV – 40 Ci/km² and over.

The basis for assigning a forest quarter to a specific contamination zone is the contamination density established from radiation survey results of forest fund lands, conducted in accordance with technical code of established practice TKP 240–2010 “Radiation Control. Survey of Forest Fund Lands. Procedure” [10].

The radiation control service of the Ministry of Forestry is managed by the State Forestry Protection and Monitoring Institution “Bellesozashchita”, which includes 35 accredited (certified) units. Results of radioactive contamination control are stored systematically in the information system “Radioactive Contamination of Forests” – RadFor. This system enables automated collection, storage, processing, and analysis of results, forecasting of radiation trends, and generation of reports and documentation. In forestry enterprises, a geo-information service “RadForInfo” within RadFor is used to provide real-time data on the radiation situation for any selected forest quarter on the map, including forecasts for future dates [11, 12].

At present, a large volume of data has been accumulated on the specifics of radioactive contamination in forest ecosystem components – including forest fund lands, forest plots and resources, forest products and their derivatives, forestry facilities and workplaces, as well as agricultural raw materials, fodder, food products, and medicinal-technical raw materials.

This has enabled the development of short-term and long-term forecasts of radioactive contamination dynamics in forests and forest products, as well as recommendations for forest management in different contamination zones. The main directions for sustainable forestry development have been identified.

Analysis of accumulated data shows that the radiation situation in forests is characterized by a gradual decrease in cesium-137 levels in soil (about 2% per year) and a reduction in gamma radiation dose rate (2.0–4.4% per year). The decline in cesium-137 levels is due to radioactive decay and absorption by vegetation, while the decrease in gamma dose rate is also influenced by the migration of cesium-137 deeper into the soil and shielding by upper soil layers and litter [5, 6, 13].

Over time, the area of each radioactive contamination zone decreases, with territories transitioning from zones of higher soil contamination density to those of lower density. In 1995, the share of forests under the Ministry of Forestry that were contaminated amounted to 25.6% of the total forest fund area, while by 2025, it had decreased to 13.9% [5].

Figure 2 shows the change in the forest fund area of the Ministry of Forestry in radioactive contamination zones from 1995 to 2025.

Over the 39 years since the Chernobyl Nuclear Power Plant accident, significant changes have occurred in the radiation situation in the affected territories. As of January 1, 2025, the area of the forest fund classified as radioactive contamination zones amounts to 1,203.0 thousand ha. Since 1995 (when it was 1,747.1 thousand ha), the area of radioactive contamination within the Ministry of Forestry’s forest fund has decreased by 544.1 thousand ha, or 31%.

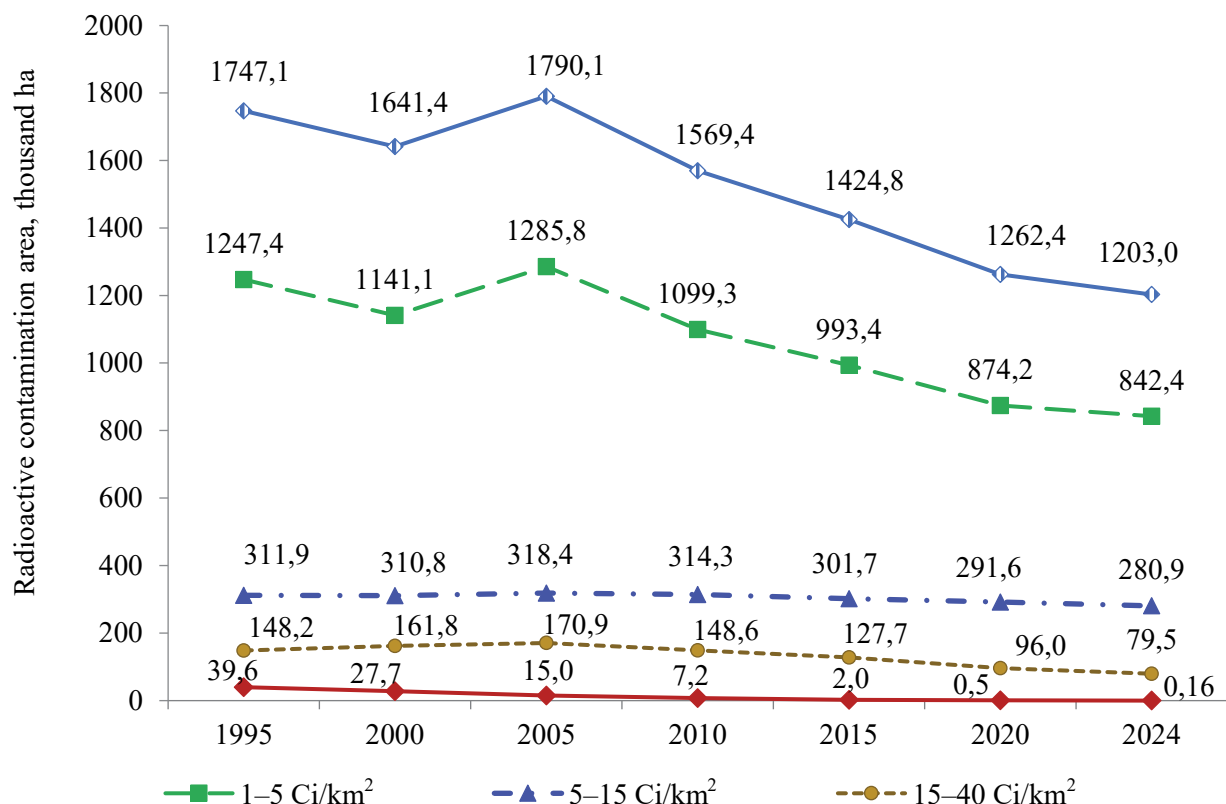


Figure 2. Distribution of the Ministry of Forestry's forest fund lands by zones of radioactive contamination (1995–2024)

The distribution of the Ministry of Forestry's forest fund lands by zones of radioactive contamination as of January 1, 2025, is shown in Figure 3 [5].

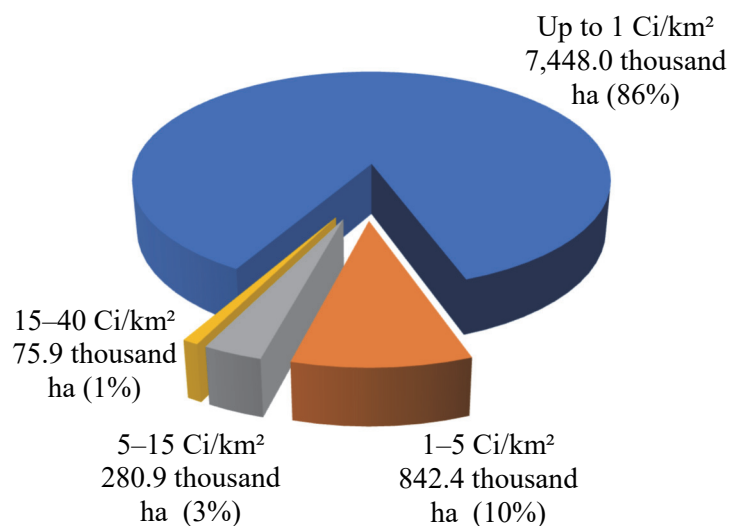


Figure 3. Distribution of the forest fund lands of the Ministry of Forestry by zones of radioactive contamination as of January 1, 2025

In 43 forestry enterprises across the republic, areas of the forest fund are classified as radioactive contamination zones. Table 1 presents the distribution of the forestry enterprises of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus by zones of radioactive contamination (as of January 1, 2025) [5].

Table 1. **Distribution of Forestry Enterprises of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus by Zones of Radioactive Contamination (as of January 1, 2025)**

Name of Forestry Enterprise	Total area, thousand ha	Area of soil contamination with cesium-137, thousand ha					
		Total	Including zones and sub-zones, Ci/km ²				
			1–2	2–5	5–15	15–40	>40
Vetkovsky	103.0	103.00	0.21	17.44	64.04	21.34	–
Chechersky	106.9	106.90	5.15	55.88	35.83	10.03	–
Krasnopol'sky	86.4	86.40	8.55	32.19	27.38	18.12	0.16
Cherikov'sky	103.8	87.50	19.84	30.19	29.34	8.13	–
Narovlyansky	70.7	70.10	8.70	23.49	36.56	1.35	–
Yelsky	88.8	74.20	21.85	41.09	11.22	–	–
Khoiniki	66.4	64.00	29.43	25.56	8.74	0.28	–
Komarinsky	50.4	44.10	23.97	16.57	3.60	–	–
Buda-Koshelevo	52.4	25.10	3.88	11.48	8.05	1.66	–
Bykhov'sky	113.6	68.50	44.40	21.98	2.02	0.10	–
Gomelsky	118.0	42.80	7.60	6.45	18.59	10.15	–
Lelchitsy	121.5	55.40	42.28	12.81	0.33	–	–
Rogachev'sky	79.0	31.30	6.00	24.77	0.48	–	–
Kostyukovich	104.5	39.80	3.34	5.91	22.18	8.38	–
Stolin	94.4	32.90	17.22	13.93	1.74	–	–
Chausy	67.4	31.50	18.78	11.73	0.98	–	–
Miloshevich	102.9	22.20	18.38	3.87	–	–	–
Vasilevich	90.4	18.60	16.85	1.78	–	–	–
Rechitsa	64.7	10.90	8.23	2.66	–	–	–
Belynych	97.6	20.80	14.49	6.34	–	–	–
Mozyr	97.3	15.70	15.25	0.45	–	–	–
Klimovich	94.9	18.10	4.07	5.31	8.71	–	–
Loev	45.2	7.10	3.48	2.85	0.79	–	–
Kalinkovich	102.7	21.80	20.22	1.60	–	–	–
Poles'sky	105.7	10.50	8.51	2.01	–	–	–
Luninets	146.7	19.60	15.02	4.47	0.07	–	–
Ivye	89.1	6.60	6.42	0.15	–	–	–
Mogilev	87.3	12.50	9.33	3.00	0.18	–	–
Berezinsky	111.8	12.30	10.59	1.69	–	–	–
Zhlobin	85.2	11.80	11.27	0.52	–	–	–
Klichev	109.1	3.00	3.00	–	–	–	–
Novogrudok	100.4	3.40	2.82	0.61	–	–	–
Zhitkovich	118.2	4.50	3.55	0.96	–	–	–
Volozhin	83.9	6.10	3.80	2.24	0.11	–	–
Starobin	100.8	5.00	4.80	0.21	–	–	–
Pinsk	92.0	3.40	3.31	0.08	–	–	–
Krupki	124.3	1.40	0.57	0.80	–	–	–
Dyatlovo	85.0	0.20	0.20	–	–	–	–
Logoisk	115.1	2.10	0.94	1.16	–	–	–
Gorki	73.3	1.20	0.37	0.79	–	–	–
Svetlogorsk	105.4	0.20	0.04	0.17	–	–	–
Slutsk	62.4	0.21	0.21	–	–	–	–
Molodechno	49.7	0.30	0.17	0.09	–	–	–
Total	3,968.3	1,203.01	447.09	395.28	280.94	79.54	0.16

The degree of danger posed by a forest as a source of external and internal radiation exposure primarily depends on the soil contamination density with cesium-137 (¹³⁷Cs) – the main dose-forming long-lived radioisotope of Chernobyl origin. An important characteristic of a radionuclide

is its half-life – the period of time during which, as a result of radioactive decay, the number of nuclei of that radionuclide decreases by half. For cesium-137, the half-life is 30 years [14]. In 2016, the first half-life period of cesium-137 was reached, leading to a change in the area of each zone of radioactive contamination. The second half-life period of cesium-137 will occur in 2046. The forecast of the distribution of soil contamination area with cesium-137 across the State Forestry Production Association (SFPA) of the Ministry of Forestry for 2046 is presented in Table 2.

According to the forecast presented in Table 2, the area of forests in zones of radioactive contamination in 2046 will amount to 829.3 thousand ha.

Table 2. Forecast of the distribution of soil contamination area with cesium-137 across the SFPA of the Ministry of Forestry for 2046

Name of SFPA	Area of soil contamination with cesium-137, thousand ha
Brest	26.3
Vitebsk	0.0
Gomel	536.4
Grodno	2.2
Minsk	8.3
Mogilev	256.1
Total	829.3

Between 1995 and 2046, a reduction of 917.8 thousand ha, or 53%, in the area of radioactive contamination of the Ministry of Forestry's forest fund is projected. This reduction is due to the decrease in soil contamination density with cesium-137 as a result of radioactive decay and redistribution of the radionuclide among forest ecosystem components.

Planning of forestry activities and forest use is carried out within the established zones of radioactive contamination, using the results of radiation monitoring. The ability to forecast changes in the area (zones) of radioactive contamination will make it possible to optimize forestry planning in these territories [15].

At present, to ensure stable development of forestry in radioactive contamination zones, a special system of forest management has been organized. This system provides for the long-term, effective implementation of forestry measures, safe working conditions, and the production of radiation-safe (standard-compliant) products [16–18]. Priority attention is given to the following tasks:

- improvement of the forest fire protection system to prevent forest loss and possible secondary radioactive contamination of adjacent territories as a result of forest fires;
- reforestation and afforestation;
- restoration of forest infrastructure (forest roads, access routes, compartment lines, fire observation posts, firebreaks, etc.);
- improvement of protective measures;
- radiation monitoring and control;
- improvement of the forest utilization system to ensure compliance with radiation safety norms and regulations;
- creation and implementation of specialized (mobile) multi-operation logging complexes;
- improvement of the regulatory and legal framework, provision of accessible and updated information for specialists and the public regarding changes in the radiation situation; improvement of training and professional development of forestry specialists [1–3, 19, 20].

Conclusion. In Belarus, forests are one of the main renewable natural resources and an important part of the nation's wealth. Radioactive contamination of forest lands has led to a decrease in the potential of forest areas in terms of their ecosystem functions, the consumer properties of forest products, and the possibilities for multipurpose forest use.

Since 1993 and up to the present time, annual radiation control and monitoring have been carried out in the forest fund territories of the Ministry of Forestry affected by radioactive contamination. As of January 1, 2025, the area of the forest fund classified as zones of radioactive

contamination amounts to 1,203.0 thousand ha (13.91% of the total forest fund area). The main part (70%) of the contaminated area belongs to Zone I (1–5 Ci/km²).

Between 1995 (1,747.1 thousand ha) and 2025, the area of radioactive contamination within the Ministry of Forestry's forest fund decreased by 544.1 thousand ha, or by 31%. The radiation situation in forests is characterized by a gradual decrease in the cesium-137 content in soils (about 2% per year) and in gamma radiation dose rate (2.0–4.4% per year). The main factor driving these positive changes is natural radioactive decay. By 2046, the area of forests in zones of radioactive contamination is projected to decrease to 829.3 thousand ha, or by 53% compared to 1995.

To restore the socio-economic importance of forests and to maintain their biological and fire resistance in areas contaminated with radionuclides, a set of measures is being implemented to ensure public health protection and sustainable, environmentally safe forest management. These measures are mandatory, long-term in nature, and require significant additional resources. The ability to forecast changes in the area (zones) of radioactive contamination will help optimize the planning of forestry activities in these territories.

References

1. Ipatiev V. A., Baginskiy V. F., Bulavik I. M. *Les. Chelovek. Chernobyl'. Lesnyye ekosistemy posle avarii na Chernobyl'skoy AES: sostoyaniye, prognoz, reaktsiya naseleniya, puti rehabilitatsii* [Forest. Human. Chernobyl. Forest ecosystems after the accident at the Chernobyl nuclear power plant: condition, forecast, reaction of the population, ways of rehabilitation]. Gomel, Rechitskaya ukрупnennaya tipografiya Publ., 1999. 454 p. (In Russian).
2. *30 years after the Chernobyl disaster. The role of the Union State in overcoming its consequences: materialy seminara pri Parlamentskom Sobranii Souza Belarusi i Rossii po voprosam stroitel'stva Souznogo gosudarstva* [30 yers after the Chernobyl disaster, The role of the Union State in overcoming its consequences: proceedings of the seminar at the Parliamentary Assembly of the Union of Belarus and Russia on issues of building the Union State]. Minsk, 2015. 324 p. (In Russian).
3. *35 let posle Chernobyl'skoy katastrofy: itogi i perspektivy preodoleniya eye posledstviy: natsional'nyy doklad Respubliki Belarus'* [35 years after the Chernobyl disaster: results and prospects for overcoming its consequences: national report of the Republic of Belarus]. Minsk, IVTS Minfina Publ., 2020. 152 p. (In Russian).
4. Consequences of the Chernobyl disaster for Belarus. Available at: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi/> (accessed 14.09.2025) (In Russian).
5. Radioactive contamination of forest resources. Available at: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/radioaktivnoe-zagraznenie-lesnogo-fonda/> (accessed 14.09.2025) (In Russian).
6. Domnenkova A. V., Chernushevich G. A., Ermak I. T., Bosak V. N. Distribution of the territory of the forest fund of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus by zones of radioactive contamination. *Tekhnologiya organicheskikh veshchestv: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology of organic substances: materials of the 87th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students (with international participation)]. Minsk, 2023, pp. 60–62 (In Russian).
7. TKP 498–2013. Radiation monitoring of forest fund. Laying of permanent point of observation. Procedure. Minsk, Belstandart Publ., 2013. 25 p. (In Russian).
8. TKP 499–2013. Radiation monitoring of forest fund. Survey of a permanent observation point. Procedure. Minsk, Belstandart Publ., 2013. 27 p. (In Russian).
9. On the legal regime of territories affected by radioactive contamination as a result of the Chernobyl nuclear power plant disaster: Law of the Republic of Belarus, 26.05.2012, no. 385-Z. *Natsional'nyy pravovoy Internet-portal Respubliki Belarus'* [National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus], 2012, 2/1937 (In Russian).

10. ТКР 240–2010. Radiation control. Examination of forest lands. Procedure. Minsk, Belstandart Publ., 2010. 24 p. (In Russian).
11. Radiation Monitoring Service. Available at: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/o-sluzhbe-radiacionnogo-kontrolja/> (accessed 14.09.2025) (In Russian).
12. RadFor Information System. Available at: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/informacionnaja-sistema-radfor/> (accessed 14.09.2025) (In Russian).
13. Karbanovich L. N. The area of forest radiation pollution has decreased. *Belorusskaya lesnaya gazeta* [Belarusian forest newspaper], 2022, January 6, p. 2 (In Russian).
14. Chernushevich G. A., Peretrukhin V. V. *Radiatsionnaya bezopasnost'. Laboratornyy praktikum* [Radiation safety. Laboratory workshop]. Minsk, BSTU Publ., 2018. 198 p. (In Russian).
15. Domnenkova A. V., Domnenkov V. A., Chernushevich G. A. Predictive assessment of the forest fund of the Vetkovskiy forestry and the exit of its territory from the zones of radioactive contamination. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (270), pp. 224–231 (In Russian).
16. Rules for forestry management in areas affected by radioactive contamination as a result of the Chernobyl disaster. *Natsional'nyy pravovoy Internet-portal Respubliki Belarus'* [National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus], 2017, 8/31754 (In Russian).
17. Bosak V. N., Sachivko T. V., Domnenkova A. V. Ensuring radiation safety in forestry of the Republic of Belarus. *Dal'nevostochnaya vesna – 2018: materialy 16-y Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii po problemam ekologii i bezopasnosti* [Far Eastern Spring – 2018: proceedings of the 16th International scientific and practical conference on ecology and safety]. Komsomolsk-on-Amur, 2018, pp. 221–224 (In Russian).
18. GN 11.01.2001. Republican permissible limits of cesium-137 content in the wood, wood products and wood-based materials and other non-food forest products. No. 4. Minsk, Ministry of Health of the Republic of Belarus Publ., 2001. 5 p. (In Russian).
19. *Strategiya reabilitatsii zemel', lesov, vodoyemov i obespecheniya bezopasnykh usloviy zhizni lyudey na zagryaznennykh radionuklidami territoriyakh* [Strategy for the rehabilitation of lands, forests, water bodies and ensuring safe living conditions for people in areas contaminated with radionuclides]. Minsk, Departament po likvidatsii posledstviy katastrofy na Chernobyl'skoy AES Publ., 2007. 10 p. (In Russian).
20. Rabko S. U., Domnenkova A. V., Yermak I. T. Sustainable forest management in radioactively contaminated areas. *Trudy BGTU* [Proceeding of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2025, no. 2 (294), pp. 115–122.

Список литературы

1. Ипатьев В. А., Багинский В. Ф., Булавик И. М. Лес. Человек. Чернобыль. Лесные экосистемы после аварии на Чернобыльской АЭС: состояние, прогноз, реакция населения, пути реабилитации. Гомель: Речицкая укрупнен. тип., 1999. 454 с.
2. 30 лет после Чернобыльской катастрофы. Роль Союзного государства в преодолении ее последствий: материалы семинара при Парламентском Собрании Союза Беларуси и России по вопросам строительства Союзного государства, Горки, 29–30 окт. 2015 г. Минск, 2015. 324 с.
3. 35 лет после Чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий: национальный доклад Республики Беларусь. Минск: ИВЦ Минфина, 2020. 152 с.
4. Последствия чернобыльской катастрофы для Беларуси // Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/informatsionnyy-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi/> (дата обращения: 14.09.2025).
5. Радиоактивное загрязнение лесного фонда // Беллесозащита. URL: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/radioaktivnoe-zagryaznenie-lesnogo-fonda/> (дата обращения: 14.09.2025).

6. Распределение территории лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь по зонам радиоактивного загрязнения / А. В. Домненкова [и др.] // Технология орган. веществ: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 60–62.
7. Радиационный мониторинг лесного фонда. Закладка постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 498–2013. Минск: Белстандарт, 2013. 25 с.
8. Радиационный мониторинг лесного фонда. Обследование постоянного пункта наблюдения. Порядок проведения: ТКП 499–2013. Минск: Белстандарт, 2013. 27 с.
9. О правовом режиме территорий, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС: Закон Респ. Беларусь, 26.05.2012, № 385-З // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2012. 2/1937.
10. Радиационный контроль. Обследование земель лесного фонда. Порядок проведения: ТКП 240–2010. Минск: Белстандарт, 2010. 24 с.
11. Служба радиационного контроля // Беллесозащита. URL: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/o-sluzhbe-radiacionnogo-kontrolja/> (дата обращения: 14.09.2025).
12. Информационная система RadFor // Беллесозащита. URL: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/informacionnaja-sistema-radfor/> (дата обращения: 14.09.2025).
13. Карбанович Л. Н. Площадь радиационного загрязнения лесов уменьшилась // Белорус. лесная газ. 2022. 6 янв. С. 2.
14. Чернушевич Г. А., Перетрухин В. В. Радиационная безопасность. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2018. 198 с.
15. Домненкова А. В., Домненков В. А., Чернушевич Г. А. Прогнозная оценка лесного фонда Ветковского спецлесхоза и выхода его территории из зон радиоактивного загрязнения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 224–231.
16. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2017. 8/31754.
17. Босак В. Н., Сачивко Т. В., Домненкова А. В. Обеспечение радиационной безопасности в лесном хозяйстве Республики Беларусь // Дальневосточная весна – 2018: материалы 16-й Междунар. науч.-практ. конф. по проблемам экологии и безопасности, Комсомольск-на-Амуре, 27 апр. 2018 г. Комсомольск-на-Амуре, 2018. С. 221–224.
18. Республиканские допустимые уровни содержания цезия-137 в древесине, продукции из древесины и древесных материалов и прочей непищевой продукции лесного хозяйства: ГН 11.01.2001. № 4. Минск: М-во здравоохранения Респ. Беларусь, 2001. 5 с.
19. Стратегия реабилитации земель, лесов, водоемов и обеспечения безопасных условий жизни людей на загрязненных радионуклидами территориях: утв. М-вом по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь 3 мая 2007 г. Минск: Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС, 2007. 10 с.
20. Rabko S. U., Domnenkova A. V., Yermak I. T. Sustainable forest management in radioactively contaminated areas // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 115–122.

Information about the authors

Domnenkova Alesia Vladimirovna – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: domnenkova@belstu.by. SPIN code: 3963-3454. ORCID: 0009-0001-8220-903X. ResearcherID: PHD-9866-2026.

Kukhta Valery Nikolaevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.kukhta80@belstu.by. SPIN code: 2890-3039.

Yermak Ivan Timofeevich – PhD (Biology), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ermak@belstu.by. SPIN code: 6567-4273.

Garmaza Andrei Konstantinovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: garmaza@belstu.by. SPIN code: 1740-9965.

Информация об авторах

Домненкова Алеся Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: domnenkova@belstu.by. SPIN-код: 3963-3454. ORCID: 0009-0001-8220-903X. ResearcherID: PND-9866-2026.

Кухта Валерий Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.kukhta80@belstu.by. SPIN-код: 2890-3039.

Ермак Иван Тимофеевич – кандидат биологических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ermak@belstu.by. SPIN-код: 6567-4273.

Гармаза Андрей Константинович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: garmaza@belstu.by. SPIN-код: 1740-9965.

Received 25.10.2025

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING

УДК 630*411:595.765.8(476)

В. Н. Кухта¹, А. А. Сазонов², А. В. Козел¹, П. А. Федорович¹, А. В. Домненкова¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²РУП «Белгослес»

ОПЫТ ПРИМЕНЕНИЯ ЛОВЧИХ ДЕРЕВЬЕВ ДЛЯ РЕГУЛИРОВАНИЯ ЧИСЛЕННОСТИ ПОПУЛЯЦИИ СИНЕЙ СОСНОВОЙ ЗЛАТКИ (*PHAENOPS CYANEA* (FABRICIUS, 1775)) В БЕЛАРУСИ

По результатам исследований в 2018–2025 гг. уточнен таксономический состав ксилофагов сосны обыкновенной, заселяющих ловчий материал и насчитывающих 22 вида насекомых. На срубленных ловчих деревьях и ветровале совместно с *Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775) встречается 19 видов стволовых вредителей. Среди хозяйственно-значимых ксилофагов конкуренцию синей сосновой златке в области толстой коры в первую очередь составляют короеды *Ips sexdentatus* (Börner, 1766) и *Tomicus piniperda* (Linnaeus, 1758). Плотность поселения *Ph. cyanea* на срубленных и ветровальных деревьях составила от 0,26 до 2,53 экз./дм², абсолютная численность – от 38 до 5750 особей. Ловчие деревья целесообразно использовать на участках после сплошных рубок для регулирования численности синей сосновой златки и снижения вероятности усыхания растущих сосен по периметру вырубок, а также для мониторинга популяции вредителя. Деревья рекомендуется выкладывать группами по 2–3 шт. (до 5 шт.) в хорошо освещенных местах с расстоянием между ними 50–100 м у северных и западных краев вырубок. На ловчий материал можно наносить клеевые составы или крепить липкие элементы в местах наибольшего прогревания ствола дерева, что позволит отлавливать имаго *Ph. cyanea*.

Ключевые слова: синяя сосновая златка, *Phaenops cyanea*, стволовые вредители, плотность поселения, абсолютная численность, ловчие деревья, ветровальные деревья, сплошные рубки, мониторинг.

Для цитирования: Кухта В. Н., Сазонов А. А., Козел А. В., Федорович П. А., Домненкова А. В. Опыт применения ловчих деревьев для регулирования численности популяции синей сосновой златки (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) в Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 27–40.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-3.

V. N. Kukhta¹, A. A. Sazonov², A. V. Kozel¹, P. A. Fedorovich¹, A. V. Domnenkova¹

¹Belarusian State Technological University

²Republican Unitary Enterprise “Belgosles”

EXPERIENCE OF USING TRAP TREES TO REGULATE THE POPULATION SIZE OF THE STEELBLUE JEWEL BEETLE (*PHAENOPS CYANEA* (FABRICIUS, 1775)) IN BELARUS

Based on research conducted between 2018 and 2025, the taxonomic composition of Scots pine xylophages colonizing trap material was clarified. It comprises of 22 insect species. 19 species of stem pests were found alongside with *Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775) on felled trap trees and windfalls. Among economically significant xylophages, in thick bark areas the steelblue jewel beetle primarily competes with the bark beetles *Ips sexdentatus* (Börner, 1766) and *Tomicus piniperda* (Linnaeus, 1758).

The population density of *Ph. cyanea* on felled and windfallen trees ranged from 0.26 to 2.53 individuals/dm², with absolute numbers ranging from 38 to 5,750 individuals. Trap trees are useful in areas following clear-cutting to control steelblue jewel beetle populations and reduce the risk of dieback of growing pines along the perimeter of clear-cut areas, as well as to monitor the pest population. It is recommended to place trees in groups of 2–3 (up to 5) in well-lit areas, spaced 50–100 meters apart, near the northern and western edges of clear-cut areas. Adhesive compounds can be applied to the trapping material, or sticky elements can be attached to the areas where the tree trunk is warmest, allowing for the capture of *Ph. cyanea* adults.

Keywords: steelblue jewel beetle, *Phaenops cyanea*, stem pests, population density, absolute numbers, trap trees, windfall trees, clear cuttings, monitoring.

For citation: Kukhta V. N., Sazonov A. A., Kozel A. V., Fedorovich P. A., Domnenkova A. V. Experience of using trap trees to regulate the population size of the steelblue jewel beetle (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) in Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 27–40 (In Russian)

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-3.

Введение. Выкладка ловчей древесины (деревьев) традиционно является важным санитарно-оздоровительным мероприятием, которое используется в Беларуси для регулирования численности ксилофагов. По свидетельству V. Skuhřavý [1], как мероприятие по защите оно применяется с XIX в. В соответствии с Санитарными правилами в лесах Беларуси [2] выкладка ловчей древесины (деревьев) – мероприятие, направленное на привлечение стволовых вредителей на заранее заготовленную древесину из числа сильно ослабленных, усыхающих, поврежденных деревьев и последующее их уничтожение до вылета из-под коры молодого поколения.

Обзор источников литературы [3–10] показывает, что в качестве ловчей древесины могут применяться:

- растущие, искусственно ослабленные деревья, обычно расположенные группами или оставшиеся после рубки части насаждений и выполняющие роль ловчих участков;
- срубленные деревья, выложенные отдельно, группами или другими способами;
- целые хлысты или сортименты, полученные путем раскряжевки хлыстов;
- тонкомерные лесоматериалы и в определенной степени порубочные остатки на лесосеках.

Мнения различных авторов по поводу эффективности выкладки ловчих деревьев неоднозначные. А. И. Воронцов и др. [4] обращают внимание на то, что использование этого мероприятия возможно только при достаточном знании биоэкологических особенностей стволовых насекомых. При этом необходимо учитывать географическое расположение древостоев, лесорастительные условия, санитарное состояние насаждений, особенности ведения лесохозяйственного производства, численность стволовых вредителей в лесу, а также оценить возможность оперативной утилизации ловчей древесины лесохозяйственными учреждениями. Очевидно, что все эти факторы оказывают значительное влияние на эффективность данного защитного мероприятия, направленного на регулирование численности ксилофагов в сосняках. Несоблюдение хотя бы одного из них может привести к отрицательному результату и способствовать росту численности стволовых вредителей или полному отсутствию эффективности выполненных работ.

Кроме того, считается, что выкладка ловчей древесины целесообразна только в слабо поврежденных древостоях, где преобладают здоровые деревья. Ловчие деревья при этом необходимо выбирать и выкладывать из числа больных и поврежденных в сочетании с выборочными санитарными рубками и выборкой свежеселенных деревьев [4, 7–9].

М. Нуортева [6] указывает на эффективность применения ловчих деревьев в лесу для снижения численности ксилофагов. Однако автор подчеркивает, что успех данного мероприятия полностью зависит от своевременности выкладки и вывозки ловчей древесины, а также уничтожения вредителей. Даже небольшое опоздание в сроках способствует увеличению угрозы повреждения насекомыми окружающих лесов.

В то же время О. А. Катаев и Е. Г. Мозолевская [11], учитывая многолетний опыт применения ловчей древесины, рассматривают это мероприятие как не совсем оправданное. По их мнению, эта мера не позволяет полностью предотвратить атаки ксилофагов на растущие деревья, и становится необходимым осуществление удаления заселенных деревьев. Поэтому само мероприятие теряет смысл и ведет к снижению полноты древостоя.

По мнению Н. З. Харитоновой [12], использование ловчих деревьев нецелесообразно. Заселенная стволовыми вредителями древесина требует их уничтожения механическими или химическими способами. В результате под корой погибает большое число энтомофагов, а ожидаемого эффекта снижения численности ксилофагов в насаждении не наблюдается, и наоборот, их численность может даже расти.

Как мероприятие, направленное на привлечение и последующее уничтожение стволовых вредителей, выкладка ловчей древесины рекомендуется в литературе и применяется на практике в основном для регулирования численности короедов хвойных пород.

Проведенное в 2021 г. специалистами РУП «Белгослес» экспедиционное лесопатологическое обследование семи лесхозов Беларуси позволило выявить увеличение доли площадей действующих очагов *Ph. cyanea* в сосновых насаждениях почти до 40% от общей площади очагов стволовых вредителей [13]. Рост хозяйственного значения синей сосновой златки в лесах республики требует разработки мероприятий по регулированию численности популяции этого вида и оценке их эффективности.

В качестве способа ограничения численности популяции *Ph. cyanea* чаще всего рекомендуется использование ловчих деревьев. В Польше [14] предлагается оставление на корню двух рядов таких деревьев в хорошо освещенных местах. В качестве ловчих также используются срубленные на подкладки деревья с толстой корой. Рекомендуется выкладка одного дерева на 1 га леса или двух на 100 погонных метров длины края вырубki [15]. В Беларуси рекомендации по регулированию численности синей сосновой златки сводятся к выкладке ловчих деревьев, которые следует выкладывать в очагах корневой губки, на прогалинах и опушках в мае – июле, а проводить уничтожение зимующих личинок в сентябре – ноябре, до выпадения снега [16].

По мнению М. Н. Римского-Корсакова и других авторов [10], эффективной мерой защиты против синей сосновой златки кроме выборки и окорки заселенных деревьев является также выкладка ловчих в июне. В то же время существует мнение [4], что златки вовсе плохо заселяют поваленные деревья. Однако и против них можно применять эту меру. В этом случае необходимы совершенно свежие деревья, и выкладывать их следует перед самым началом лета насекомых.

Анализ литературных источников показывает, что методы регулирования численности популяции *Ph. cyanea* в условиях Беларуси практически не разработаны [17]. В представленной работе рассмотрены возможности применения ловчей древесины как одного из мероприятий, направленных на ограничение численности синей сосновой златки в лесах республики.

Основная часть. Исследования по применению ловчей древесины для мониторинга и ограничения численности популяций ксилофагов сосны проводятся нами с 2018 г., когда наблюдался пик вспышки массового размножения вершинного короеда и сопутствующих ему видов. В качестве ловчей древесины брали искусственно ослабленные растущие деревья, срубленные и ветровальные деревья с кроной, хлысты, сортименты и порубочные остатки. В табл. 1 приведен таксономический состав стволовых вредителей, встречающихся на разных видах ловчего материала в 2018–2025 гг.

Синяя сосновая златка является комлевым ксилофагом. Типичным районом ее поселения на дереве считается зона ствола с толстой корой. Она также может создавать поселения частично в области переходной коры. В связи с этим для установления возможности регулирования численности популяции *Ph. cyanea* с помощью ловчего материала нами использована ловчая древесина в виде срубленных и ветровальных деревьев с кроной. Исследования проводились в Барановичском, Кобринском опытном, Светлогорском и Негорельском

учебно-опытном (НУОЛ) лесхозах. Ловчие деревья выкладывали на вырубках, на опушках и под пологом леса. Также в качестве ловчих использовали поваленные ветром семенные деревья, которые были оставлены на участках после сплошных рубок главного пользования (РГП).

Таблица 1. Таксономический состав стволовых насекомых сосны обыкновенной, развивающихся на ловчем материале в условиях Беларуси

Семейство, вид	Время заселения		Экологическая группа	
	весеннее и раннелетнее	летне- осеннее	комлевые	вершин- ные
Buprestidae				
1. Синяя сосновая златка (<i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1775))	+	+	+	—
Curculionidae				
2. Вершинный короед (<i>Ips acuminatus</i> (Gyllenhal, 1827))	+	+	—	+
3. Шестизубчатый короед (<i>I. sexdentatus</i> (Börner, 1766))	+	+	+	—
4. Короед-типограф (<i>I. typographus</i> (Linnaeus, 1758))	+	+	+	—
5. Большой сосновый лубоед (<i>Tomicus piniperda</i> (Linnaeus, 1758))	+	—	+	—
6. Малый сосновый лубоед (<i>T. minor</i> (Hartig, 1834))	+	—	—	+
7. Сосновый короед-крошка (<i>Crypturgus cinereus</i> (Herbst, 1794))	+	+	+	+
8. Четырехзубый гравер (<i>Pityogenes quadridens</i> (Hartig, 1834))	+	+	—	+
9. Двухзубый гравер (<i>P. bidentatus</i> Herbst, 1784))	+	+	—	+
10. Обыкновенный гравер (<i>P. chalcographus</i> (Linnaeus, 1760))	+	+	—	+
11. Фиолетовый, или малый еловый, лубоед (<i>Hylurgops palliatus</i> (Gyllenhal, 1813))	+	—	+	+
12. Валежный короед (<i>Orthotomicus proximus</i> (Eichhoff, 1868))	+	+	+	+
13. Полосатый, или хвойный, древесинник (<i>Trypodendron lineatum</i> (Olivier, 1800))	+	+	+	—
14. Пушистый полиграф (<i>Polygraphus poligraphus</i> (Linnaeus, 1758))	—	+	—	+
15. Сосновая вершинная, или жердняковая, смолёвка (<i>Pissodes piniphilus</i> (Herbst, 1797))	—	+	—	+
16. Сосновая стволовая смолёвка (<i>Pissodes pini</i> (Linnaeus, 1758))	—	+	—	+
Cerambycidae				
17. Черный сосновый усач (<i>Monochamus galloprovincialis</i> (Olivier, 1795))	+	+	+	—
18. Вершинный сосновый усачик (<i>Pogonocherus fasciculatus</i> (DeGeer, (1775))	—	+	—	+
19. Серый длинноусый усач (<i>Acanthocinus aedilis</i> (Linnaeus, 1758))	+	—	+	—
20. Малый серый длинноусый усач (<i>Acanthocinus griseus</i> (Fabricius, 1792))	—	+	—	+
21. Рагий ребристый (<i>Rhagium inquisitor</i> (Linnaeus, 1758))	+	+	+	—
22. Короткоусый корневой усач (<i>Spondylis buprestoides</i> (Linnaeus, 1758))	—	+	+	—

Совместно с *Ph. cyanea* срубленные деревья с кроной и ветровальные были заселены 19 видами ксилофагов (кроме короеда-типографа и пушистого полиграфа), приведенными в табл. 1. Заселенные *Ph. cyanea* деревья подвергали энтомологическому анализу согласно общепринятым в лесозащите и лесной энтомологии методикам [18–20]. В зависимости от протяженности района поселения синей сосновой златки закладывали 1–3 круговые учетные палетки. Кроме биометрических характеристик деревьев устанавливали показатели, характеризующие численность и развитие на них популяции *Ph. cyanea*: протяженность района поселения (абсолютная и относительная), площадь заселенной боковой поверхности ствола, доля заселенной боковой поверхности ствола, протяженность и площадь района поселения в процентах от типичного, плотность поселения, продукция, кормообеспеченность, плотность больных и паразитированных особей.

Проанализированные заселенные синей сосновой златкой ловчие деревья находились в возрастном диапазоне 46–116 лет. Их диаметр изменялся в пределах 15,5–54,5 см, а длина ствола составляла от 6,8 до 15,5 м. Внешних признаков ослабления они не имели, за исключением дерева № 11, пораженного смоляным раком. Площадь боковой поверхности ствола варьировала в пределах 198–3224 дм². Биометрические характеристики ловчих деревьев и популяционные показатели златки приведены в табл. 2 и 3.

Границы районов поселения *Ph. cyanea* на ловчих деревьях, как и его относительная протяженность, а также площадь заселенной боковой поверхности ствола определяются в первую очередь биометрическими показателями дерева и присутствием других видов ксилофагов, таксономический состав которых на ловчей древесине более разнообразный, чем на растущих деревьях. Нижняя граница района поселения с учетом высоты пня часто начиналась от корневой шейки. В редких случаях фиксировали начало района поселения на высоте 0,1–0,6 м. Верхняя его граница поднималась от 1,1 до 17,5 м. Протяженность района поселения изменялась в пределах 1,1–17,5 м. Относительная протяженность района поселения составляла 0,05–0,63 длины ствола. Площадь заселенной боковой поверхности ствола колебалась в пределах от 6,5 до 88,9%. Освоенность района поселения в процентах от типичного и по протяженности, и по площади в 93,8% случаях оценивалась как высокая. При этом на 14 деревьях (87,5%) златка частично заселяла область переходной коры.

Результаты анализа ловчих деревьев показывают, что плотность поселения синей сосновой златки (личинок под корой и в коре) варьировала в пределах 0,26–2,53 экз./дм². Среди проанализированных 12 деревьев, где был учтен этот показатель, 7 шт. (58,3%) заселялись с высокой плотностью, 1 шт. (8,3%) со средней и 4 шт. (33,3%) с низкой. Таким образом, в большинстве случаев *Ph. cyanea* формировала на ловчей древесине микропопуляции с высокой плотностью поселения, что свидетельствует о благоприятных условиях для развития вредителя на ловчей древесине.

Абсолютная численность златки на дереве изменялась от 38 до 1709 особей в случае, когда она была рассчитана по плотности поселения личинок до ухода на зимовку. Определение этого показателя по значению продукции на ветровальных деревьях проводилось нами по количеству куколок, имаго и летных отверстий после зимовки, поэтому она оказалась несколько ниже, так как к моменту анализа деревьев произошло сокращение численности популяции златки. Абсолютная численность *Ph. cyanea* в данном случае находилась в пределах от 645 до 5750 экз. на дерево. Фактически это то количество особей, которые вылетают, проходят дополнительное питание и обеспечивают заселение новых деревьев.

Анализ ловчих деревьев, выложенных в 2018–2019 гг. в НУОЛ на участках, где были проведены сплошные РГП в сосняках, показал, что они заселились такими хозяйственно-значимыми видами ксилофагов, как шестизубчатый и вершинный короеды, большой и малый сосновые лубоеды. В 2019 г. также встречались деревья, заселенные исключительно типографом, который в Беларуси редко использует сосну как кормовую породу.

Таблица 2. Результаты анализа срубленных деревьев сосны, заселенных синей сосновой златкой

Параметры	Номер ловчего дерева										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Дата анализа	18.07.19	18.07.19	18.07.19	18.07.19	18.07.19	18.07.19	09.08.20	14.08.20	29.07.20	08.09.25	06.10.25
Лесхоз	Барановичский	Барановичский	Барановичский	Барановичский	Барановичский	Барановичский	Кобринский опытный	Кобринский опытный	НУОЛ	НУОЛ	НУОЛ
Диаметр, см	35,5	38,5	41,0	15,5	21,5	23,0	18,0	21,8	39,4	46,5	46,4
Высота, м	18,1	23,0	18,5	6,8	24,5	21,7	15,7	23,6	29,5	31,5	32,0
Возраст, лет	76	85	84	46	57	57	44	54	116	97	95
Площадь боковой поверхности ствола, дм ²	1123	1627	1414	198	1054	849	587	1012	2435	2621	2763
Границы района поселения на дереве, м	0,0–5,5	0,0–4,6	0,0–5,6	0,0–4,3	0,0–2,3	0,6–7,7	0,0–4,8	0,0–1,1	0,0–15,0	0,2–12,7	0,1–16,0
Протяженность района поселения, м	5,5	4,6	5,6	4,3	2,3	7,1	4,8	1,1	15,0	12,5	15,9
Относительная протяженность района поселения	0,30	0,20	0,30	0,63	0,09	0,33	0,31	0,05	0,51	0,40	0,50
Площадь заселенной боковой поверхности ствола, дм ²	544	527	681	176	145	390	237	66	1649	1414	1818
Доля заселенной боковой поверхности ствола, %	48,4	32,4	48,2	88,9	13,8	45,9	40,3	6,5	67,7	53,9	65,8
Район поселения от типичного, %	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
– по протяженности	148,6 (в)	115,0 (в)	136,6 (в)	159,3 (в)	95,8 (в)	109,2 (в)	171,4 (в)	44,0 (с)	170,5 (в)	138,9 (в)	102,3 (в)
– по площади	132,4 (в)	124,3 (в)	139,8 (в)	112,1 (в)	97,0 (в)	104,6 (в)	155,1 (в)	41,2 (с)	154,8 (в)	134,9 (в)	102,0 (в)
Плотность поселения, экз./дм ²	2,43 (в)	0,83 (в)	1,04 (в)	1,44 (в)	0,26 (н)	0,37 (н)	0,76 (с)	2,53 (в)	0,37 (н)	1,06 (в)	0,43 (н)
Продукция, экз./дм ²	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Кормообеспеченность, дм ²	0,41 (н)	1,20 (н)	0,96 (н)	0,69 (н)	3,85 (в)	2,70 (в)	1,32 (с)	0,40 (н)	2,68 (в)	0,94 (н)	2,33 (в)
Абсолютная численность на дереве, экз.	1322	437	708	253	38	144	180	167	616	1499	782
Плотность больных и паразитированных особей, экз./дм ²	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	0,02

Примечание. Здесь и далее: (н) – низкая заселенность; (с) – средняя заселенность; (в) – высокая заселенность.

Таблица 3. Результаты анализа ветровальных деревьев сосны, заселенных синей сосновой златкой

Параметры	Номер ловчего дерева					
	12	13	14	15	16	
Дата анализа	15.09.19	18.06.25	18.06.25	15.07.25	15.07.25	
Лесхоз	Светлогорский	НУОЛ	НУОЛ	НУОЛ	НУОЛ	НУОЛ
Диаметр, см	31,7	52,6	54,5	48,6	39,7	
Высота, м	28,8	31,1	29,9	30,2	30,0	
Возраст, лет	81	100	105	100	105	
Площадь боковой поверхности ствола, дм ²	1770	3224	3032	2808	2205	
Границы района поселения на дереве, м	0,0–14,2	0,0–17,5	0,0–7,8	0,0–16,0	0,0–8,5	
Протяженность района поселения, м	14,2	17,5	7,8	16,0	8,5	
Относительная протяженность района поселения	0,49	0,53	0,26	0,53	0,28	
Площадь заселенной боковой поверхности ствола, дм ²	1110	2213	1132	1955	868	
Доля заселенной боковой поверхности ствола, %	62,7	68,6	37,3	69,6	39,4	
Район поселения от типичного, %:	–	–	–	–	–	
– по протяженности	142,0 (в)	135,7 (в)	101,3 (в)	148,1 (в)	106,3 (в)	
– по площади	135,0 (в)	125,2 (в)	107,4 (в)	136,4 (в)	104,2 (в)	
Плотность поселения, экз./дм ²	1,54 (в)	–	–	–	–	
Продукция, экз./дм ²	–	2,60 (в)	1,20 (в)	0,33 (с)	2,25 (в)	
Кормообеспеченность, дм ²	0,65 (н)	–	–	–	–	
Абсолютная численность на дереве, экз.	1709	5750	1353	645	1952	
Плотность больших и паразитированных особей, экз./дм ²	–	0,08	–	0,01	–	

Примечание. Здесь и далее: (н) – низкая заселенность, (с) – средняя заселенность, (в) – высокая заселенность.

В насаждении (состав 9С1Е+Б, возраст главной породы 90 лет, полнота 0,8, тип леса С. ор., бонитет I), отведенном в сплошную РГП в 2019 г., под пологом леса были выложены ловчие деревья сосны в количестве 6 шт., которые охотно осваивались этими же видами. Во всех случаях поселения синей сосновой златки на срубленном ловчем материале отсутствовали. Это можно объяснить двумя причинами. Во-первых, деревья выкладывались весной в два приема: в марте и апреле. Поэтому они активно заселялись в области толстой и переходной коры вышеупомянутыми и доминирующими в то время ксилофагами весенней фенологической группы. К моменту начала лета *Ph. cyanea* типичный район ее поселения уже был полностью заселен. В данном случае появление поселений златки возможно только тогда, когда сроки выкладки древесины и откладки яиц примерно совпадают. К тому же, синяя сосновая златка – светолюбивый вид, поэтому она неохотно заселяет деревья под пологом леса. По наблюдениям белорусских исследователей [17], «наиболее часто очаги *Ph. cyanea* в Беларуси формируются в спелых изреженных насаждениях, по периметру «окон», образовавшихся в очагах корневой губки, по опушкам и краям вырубок, т. е. в местах с наибольшей инсоляцией».

Несколько иная картина наблюдалась на деревьях (№ 1–8), выложенных в качестве ловчих, в Барановичском и Кобринском опытном лесхозах в 2019 и 2020 гг. соответственно (табл. 2). В первом случае нами были использованы спиленные деревья сосны (№ 1–8) на краю опушки и уложенные на линию электропередач. Во втором – дерево № 7 под пологом погибшего насаждения на участке с умеренной освещенностью, отведенном в сплошную санитарную рубку (ССР), где закладывался эксперимент по ликвидации остаточной численности вершинного короеда после проведения санитарно-оздоровительных мероприятий, и дерево № 8, выложенное на опушке леса рядом с границей рубки в условиях ограниченной освещенности. Плотность поселения на этих деревьях чаще оценивалась как высокая (62,5% случаев). Часто район поселения синей сосновой златки выходил за пределы зоны толстой коры. Абсолютная численность *Ph. cyanea* на деревьях варьировала в пределах от 38 до 1322 особей. При этом диаметр ловчих деревьев № 1–3 был практически в два раза выше, чем у деревьев № 4–8. Как следствие, абсолютная численность синей сосновой златки на тонкомерных деревьях № 4–6 была невысокой и составила 38–253 экз. Кроме того, деревья № 7 и 8 находились в условиях недостаточной освещенности. В случае с последним также существенное влияние оказала конкуренция с малым серым длинноусым усачом, район поселения которого составил на дереве 1,1–20,2 м, заняв большую часть толстой коры, всю переходную и большую часть тонкой (относительная заселенность 0,81). В результате на дереве № 8 *Ph. cyanea* освоила менее 45% типичного района поселения как по протяженности, так и по площади.

Проанализированное в НУОЛ в 2020 г. дерево № 9 было выложено на участке, где проведен первый прием полосно-постепенной рубки из числа контрольных в рамках выполняемого в то время эксперимента по использованию отравленных приманок для снижения численности короедов. Несмотря на то, что район поселения златки в процентах от типичного как по длине (171,4%), так и по площади (155,1%) был самым высоким среди всех деревьев (табл. 2), плотность поселения *Ph. cyanea* была низкой. Это объясняется высокой конкуренцией со стороны шестизубчатого короеда, для развития которого здесь сложились благоприятные условия. Районы поселения стенографа и златки совпали. Короед практически сразу после валки дерева (третья декада июня) начал активно его заселять. Популяционные показатели этого вида составили: плотность поселения самцов – 0,59 экз./дм² (высокая), самок – 1,37 экз./дм² (высокая), продукция – 6,17 экз./дм² (высокая), короедный запас – 3229 экз., короедный прирост – 10 181 экз., энергия размножения – 3,15 (высокая).

В июне 2025 г. в НУОЛ был начат очередной эксперимент по применению ловчей древесины для регулирования численности *Ph. cyanea*. 12 июня 2025 г. на участке после проведения сплошной санитарной рубки было выложено два ловчих дерева (№ 10 и 11).

Формирований очагов синей сосновой златки вблизи вырубki не наблюдалось. Плотность поселения на деревьях была высокой и низкой соответственно, а абсолютная численность личинок *Ph. syaneae* отличалась почти в 2 раза. Это объясняется тем, что второе дерево располагалось ближе к стене леса и частично затенялось. На ловчих деревьях было хорошо заметно различие в предпочтении заселения синей сосновой златкой ствола со стороны, которая подвергалась большему воздействию солнечной радиации (рис. 1).



а



б

Рис. 1. Ходы *Ph. syaneae* под корой в месте взятия палетки на ловчем дереве:
а – хорошо освещенная сторона дерева; б – менее освещенная сторона дерева

В 2025 г. в НУОЛ в июне и июле нами были проанализированы четыре свежих ветровальных дерева (№ 13–16) из числа семенных, оставленных на участке после сплошной РГП. Все они характеризовались высокими биометрическими показателями как по диаметру, так и по высоте, что обуславливает наличие значительного количества кормовой базы для ксилофагов. Осенью в сентябре – октябре в коре и под корой этих деревьев находились личинки синей сосновой златки, ушедшие на зимовку. В этом случае нами была учтена на палетках не плотность поселения златки, а ее продукция из числа куколок, имаго и летных отверстий. Следует отметить некоторые особенности, повлиявшие на развитие *Ph. syaneae* в год анализа. Во-первых, уже в начале третьей декады апреля были отмечены летные отверстия с хорошо освещенных сторон как на ветровальных, так и на растущих заселенных деревьях. При этом в условиях Беларуси выход имаго из мест отрождения обычно начинается со второй половины мая. Такой аномально ранний вылет имаго златки из мест зимовки объяснялся необычайно благоприятной погодой в феврале и марте, а также волной тепла в третьей декаде апреля, когда в течение недели максимальные дневные температуры достигали 25°C. Далее, в мае и июне, лёт и развитие златки значительно ограничивались низкой температурой и осадками. Учитывая растянутость лёта златки в 2025 г. и особенности погодных условий в мае – июне, при анализе в середине июля на деревьях еще можно было встретить единичные личинки *Ph. syaneae*. В большинстве случаев продукция златки оценена как высокая (табл. 3). Район поселения вида на ветровале всегда превышал типичный. Абсолютная численность оказалась максимальной (более 5,7 тыс. экз.) на дереве № 13,

которое полностью лежало на открытой местности и было хорошо освещено в течение дня, минимальной (около 0,7 тыс. экз.) – на дереве № 8, которое располагалось в стене леса на границе с вырубкой и у которого была частично освещена только комлевая часть. Тем не менее ветровальные деревья характеризовались максимальной уловистостью, особенно в условиях хорошей освещенности. Такие деревья синяя сосновая златка предпочитает заселять в первую очередь, так как на них создаются оптимальные условия для ее развития, что также ранее наблюдалось нами в Светлогорском лесхозе (ветровальное дерево № 12).

Анализ модельных деревьев, заселенных синей сосновой златкой, на пробных площадях в лесхозах Гомельской области показал, что гибель растущего дерева может произойти из-за заселения его несколькими сотнями личинок *Ph. syaneae*. Хотя в молодняках второго класса возраста для этого достаточно нескольких десятков особей [21].

Сопоставление полученных нами данных по абсолютной численности личинок на срубленных ловчих деревьях с аналогичными показателями на моделях [21] говорит о том, что ловчий материал не менее привлекателен для *Ph. syaneae*, чем растущие деревья. Поэтому его применение для регулирования численности златки вполне оправдано. Что касается ветровальных деревьев на участках после сплошных рубок главного пользования, на которых концентрируется, как правило, несколько тысяч особей *Ph. syaneae*, то их следует рассматривать как наиболее эффективный вид ловчего материала. При откладке яиц на такие деревья самки максимально сокращают свой репродуктивный потенциал. В то же время несвоевременная уборка заселенного ветровала способствует увеличению численности и вредоносности *Ph. syaneae*.

С целью изучения возможности использования ловчей древесины для мониторинга популяции на срубленном ловчем дереве (№ 10) в комлевой части после выравнивания коры 19.06.2025 был нанесен ловчий экран размером 50×50 см с использованием клеевого состава «Унифлекс» для отлова насекомых. Такими же экранами были покрыты четыре растущих дерева для мониторинга популяции *Ph. syaneae*. При благоприятной погоде (температура воздуха 25°C и отсутствие осадков) на лежащих ловчих деревьях, благодаря их привлекательности, можно заметить откладывающие яйца имаго синей сосновой златки. Наличие ловчих экранов позволяет легко и достаточно точно установить начало, окончание и динамику миграционной активности вредителей путем проведения систематических подсчетов отловленных жуков. После первого учета (03.07.2025) на ловчем экране дерева № 10 было зафиксировано 7 особей *Ph. syaneae*, а на растущих деревьях – до 4 жуков. Во время второго учета (31.07.2025) на ловчем экране лежащего дерева дополнительно отмечено 13 особей златки, в то время как на растущих соснах их было от 5 до 8. Одно из растущих деревьев, которое отловило меньше всех жуков (5 экз.), 31.07.2025 срубили и оставили как ловчее (рис. 2).



Рис. 2. Ловчее дерево с клеевым экраном

Учеты, проведенные 07.09.2025, позволили дополнительно выявить на ловчих экранах следующее количество особей синей сосновой златки: ловчее дерево № 10 – 7 экз., растущие деревья – от 2 до 5 экз., срубленное в конце июля растущее дерево и переведенное в разряд ловчих – 75 экз. Дополнительный подсчет жуков, выполненный 14.09.2025., показал, что на ловчий экран данного дерева прилетело еще 11 особей *Ph. cyanea*. В остальных случаях этого не наблюдалось. В дальнейшем фиксация жуков златки на всех ловчих экранах не отмечена. Это обусловлено окончанием сроков лёта *Ph. cyanea*. Интересно, что срубленное 31.07.2025 дерево с ловчим экраном активно заселилось златкой, ходы и личинки которой были фиксированы под корой. Полученные данные позволяют считать целесообразным использование ловчих деревьев с клеевыми экранами как для целей мониторинга популяции синей сосновой златки, так и для регулирования ее численности. Нанесение на ловчие деревья клеевых составов или крепление липких элементов (лент) способствует отлову летающих жуков *Ph. cyanea*.

Заключение. Факторами, влияющими на заселенность ловчего материала синей сосновой златкой, являются сроки его выкладки (сроки ветровала), условия освещенности, численность видов конкурентов и биометрические показатели дерева. Ловчие деревья по уловистости сопоставимы с растущими деревьями, заселенными этим вредителем.

Выкладку ловчей древесины, непосредственно как защитное мероприятие, целесообразно начинать в то время, когда достоверно установлены сроки начала заселения деревьев. Для мониторинга начала лёта *Ph. cyanea* с целью откладки яиц и освоения сосен можно использовать 1–2 контрольных срубленных или ветровальных дерева с нанесенными на них клеевыми ловчими экранами или прикрепленными липкими лентами на хорошо освещенных участках ствола. Выкладку этих деревьев целесообразно произвести к началу мая в хорошо прогреваемых солнцем местах, где поверхность коры будет максимально нагреваться. Появление на них отловленных жуков следует считать сигналом для возможного применения ловчего материала с целью ограничения численности златки. При заселении области толстой коры видами-конкурентами (шестизубчатый короед и др.) необходимо производить повторную выкладку контрольных ловчих деревьев. Во всех случаях сроки необходимо корректировать с учетом погодных условий.

Применение ловчей древесины для снижения численности *Ph. cyanea* целесообразно осуществлять на участках после проведения рубок главного пользования и сплошных санитарных рубок с целью снижения «краевого эффекта» по периметру образовавшихся вырубок. Деревья следует выкладывать группами по 2–3 шт. (не более 5 шт.) в хорошо освещенных местах с расстоянием между ними 50–100 м. Лучшими местами их выкладки являются северные и западные окраины вырубок. Для отлова непосредственно имаго синей сосновой златки на ловчий материал дополнительно можно наносить клеевые составы или липкие элементы преимущественно в местах наибольшей инсоляции ствола дерева.

Появившийся в весенне-летний период ветровал (на вырубках и в насаждении) является привлекательным ловчим материалом для синей сосновой златки. Заселенные златкой как срубленные, так и ветровальные деревья необходимо переработать или окорить, утилизируя при этом кору путем сжигания. Оптимальные сроки проведения данного мероприятия сентябрь – ноябрь (до выпадения снега) текущего года, но не позже начала апреля следующего года, что бы не допустить вылет вредителя. Если деревья не были вывезены из леса, на следующий год в апреле их необходимо обработать инсектицидами.

В дальнейшем нужно изучить возможность использования ловчего материала для снижения численности *Ph. cyanea* в ее очагах.

Работа выполнена при поддержке БРФФИ, грант № Б24–048.

Список литературы

1. Skuhravý V. Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) a jeho calamity. Praha: Agrospoj, 2002. 196 p.

2. Санитарные правила в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 19 дек. 2016 г. № 79 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2016. 8/31603.
3. Харитонов Н. З. Лесная энтомология. Минск: Выш. школа, 1994. 412 с.
4. Воронцов А. И., Семенова И. Г. Лесозащита. 4-е изд. М.: Лесная пром-сть, 1988. 92 с.
5. Защита леса от вредителей и болезней: справочник / А. Д. Маслов [и др.]. М.: Агропромиздат, 1988. 229 с.
6. Нуортева М. Вредители лесов. М.: Лесная пром-сть, 1985. 104 с.
7. Лесозащита / С. К. Флеров [и др.]. М.; Л.: Гос. лесотех. изд-во, 1948. 480 с.
8. Храмцов Н. Н., Падий Н. Н. Стволовые вредители леса и борьба с ними. М.: Лесная пром-сть, 1965. 158 с.
9. Маслов А. Д., Кутеев Ф. С., Прибылова М. В. Стволовые вредители леса. М.: Лесная пром-сть, 1973. 144 с.
10. Лесная энтомология / М. Н. Римский-Корсаков [и др.]. 3-е изд. М.: Гослесбумиздат, 1949. 507 с.
11. Катаев О. А., Мозолевская Е. Г. Экология стволовых вредителей (очаги, их развитие, обоснование мер борьбы). Л.: Ленингр. лесотехн. акад., 1981. 88 с.
12. Харитонов Н. З. Энтомофаги короедов и стволовых слоников в хвойных насаждениях Брянского лесного массива: автореф. дис. ... д-ра биол. наук. Воронеж, 1970. 41 с.
13. Отчет о результатах экспедиционного лесопатологического обследования Барановичского, Волковысского, Домановского, Кличевского, Мозырского опытного, Слонимского, Щучинского лесхозов. Обследование 2021 года. Минск: Белгослес, 2022. 153 с.
14. Instrukcja ochrony lasu. Warszawa: Centrum Informacyjne Lasow Panstwowych, 2004. 276 s.
15. Sowińska A., Kolk A., Wolski R. Wyniki badań nad nowymi metodami prognozowania i zwalczania przyplaszczka granatka *Phaenops cyanea* (F.) (Coleoptera, Buprestidae) // Sylwan. 2000. Nr. 9. S. 17–32.
16. Рекомендации по применению ловчего материала в сосновых насаждениях (проект). Минск: БГТУ, 2020. 13 с.
17. Синяя сосновая златка (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – новая угроза лесам Беларуси / А. А. Сазонов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 61–72. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-07.
18. Защита леса / В. Б. Звягинцев [и др.]. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.
19. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2006. 68 с.
20. Катаев О. А., Поповичев Б. Г. Лесопатологические обследования для изучения стволовых насекомых в хвойных древостоях. СПб.: СПбЛТА, 2001. 72 с.
21. Состояние древостоев в очагах синей сосновой златки (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) и результаты анализа ее микропопуляций / А. А. Сазонов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 95–105. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-12.

References

1. Skuhravý V. Lýkožrout smrkový (*Ips typographus* L.) a jeho calamity [Spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) and its calamities]. Praha, Agrospoj Publ., 2002. 196 p. (In Czech).
2. On approval of Sanitary forest regulations in the Republic of Belarus: decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 79. *Natsional'nyy reyestr pravovyykh aktov Respubliki Belarus* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2016, 8/31603 (In Russian).
3. Kharitonova N. Z. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Minsk, Vysheyshaya skola Publ., 1994. 412 p. (In Russian).
4. Vorontsov A. I., Semenova I. G. *Lesozashchita* [Forest protection]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 92 p. (In Russian).

5. Maslov A. D., Vedernikov N. M., Andreeva G. I., Zubov P. A., Krangauz R. A. *Zashchita lesa ot vreditel'ey i bolezney: spravochnik* [Protection of the forest from pests and diseases: reference]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1988. 229 p. (In Russian).
6. Nuorteva M. *Vrediteli lesov* [Pests of forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1985. 104 p. (In Russian).
7. Flerov S. K., Ponomareva E. N., Klyushnik P. I., Voronsov A. I. *Lesozashchita* [Forest Protection]. Moscow, Leningrad, Gosudarstvennoye lesotekhnicheskoye izdatel'stvo Publ., 1948. 480 p. (In Russian).
8. Khramtsov N. N., Padiy N. N. *Stvolovyye vrediteli lesa i bor'ba s nimi* [Stem forest pests and their control]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1965. 158 p. (In Russian).
9. Maslov A. D., Kuteev F. S., Pribylova M. V. *Stvolovyye vrediteli lesa* [Stem forest pests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 144 p. (In Russian).
10. Rimsky-Korsakov M. N., Gusev V. I., Shiporovich V. Ya., Poluboyarinov I. I., Yatsentkovsky A. V. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Moscow, Goslesbumizdat Publ., 1949. 507 p. (In Russian).
11. Kataev O. A., Mozolevskaya E. G. *Ekologiya stvolovykh vreditel'ey (ochagi, ikh razvitiye, obosnovaniye mer bor'by)* [Ecology of stem pests (foci, their development, justification of control measures)]. Leningrad, Leningradskaya lesotekhnicheskaya akademiya Publ., 1981. 88 p. (In Russian).
12. Kharitonova N. Z. *Entomofagi koroyedov i stvolovykh slonikov v khvoynykh nasazhdeniyakh Bryanskogo lesnogo massiva. Avtoreferat dissertatsii doktora biologicheskikh nauk* [Entomophages of bark beetles and stem sawflies in coniferous plantations of the Bryansk forest area. Abstract of thesis DSc (Biology)]. Voronezh, 1970. 41 p. (In Russian).
13. *Otchet o rezul'tatakh ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya Baranovichskogo, Volkovysskogo, Domanovskogo, Klichevskogo, Mozyrskogo opytnogo, Slonimskogo, Shchuchinskogo leskhozov. Obsledovaniye 2021 goda* [Report on the results of an expeditionary forest pathological survey of the Baranovich, Volkovysk, Domanovo, Klichev, Mozyr experimental, Slonim, Shchuchin forestry enterprises. Survey 2021]. Minsk, Belgosles Publ., 2022. 153 p. (In Russian).
14. Instrukcja ochrony lasu. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasow Panstwowych Publ., 2004. 276 p. (In Polish).
15. Sowińska A., Kolk A., Wolski R. Wyniki badań nad nowymi metodami prognozowania i zwalczania przyplaszczka granatka *Phaenops cyanea* (F.) (Coleoptera, Buprestidae). *Sylvan*, 2000, no. 9, pp. 17–32 (In Polish).
16. *Rekomendatsii po primeneniiyu lovchego materiala v sosnovykh nasazhdeniyakh (proyekt)* [Recommendations for the use of trapping material in pine plantations (draft)]. Minsk, BSTU Publ., 2020. 13 p. (In Russian).
17. Sazonov A. A., Kukhta V. N., Ramanenka M. A., Saluk S. V. Steelblue Jewel Beetle (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – a new threat to the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 61–72. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-07 (In Russian).
18. Zvyagintsev V. B., Blintsov A. I., Kozel A. V., Kukhta V. N., Sazonov A. A., Seredich M. O., Khvasko A. V. *Zashchita lesa* [Forest protection]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 164 p. (In Russian).
19. *Metodicheskiye rekomendatsii po nadzoru, uchyotu i prognozu massovykh razmnozheniy stvolovykh vreditel'ey i sanitarnogo sostoyaniya lesov* [Guidelines for the supervision, accounting and forecasting of mass reproduction of stem pests and the sanitary state of forests]. Pushkino, VNIILM Publ., 2006. 68 p. (In Russian).
20. Kataev O. A., Popovichev B. G. *Lesopatologicheskiye obsledovaniya dlya izucheniya stvolovykh nasekomykh v khvoynykh drevostoyakh* [Forest pathological survey for the study of stem insects in coniferous stands]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 2001. 72 p. (In Russian).
21. Sazonov A. A., Kukhta V. N., Babul D. A., Nekrash V. N., Patsukevich P. V. The state of tree stands in the foci of the blue pine borer (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) and the results

of the analysis of its micropopulations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (282), pp. 95–105. DOI: 10/52065/2519-402X-2024-282-12 (In Russian).

Информация об авторах

Кухта Валерий Николаевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: v.kukhta80@gmail.com. SPIN-код: 2890-3039.

Сазонов Александр Александрович – начальник лесоустроительной партии 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (ул. Железнодорожная, 27/1, 220089, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lesopatolog@rambler.ru. SPIN-код: 2183-6468. Scopus ID: 57209565561.

Козел Александр Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kozel@belstu.by. SPIN-код: 6052-2464. Scopus ID: 57194387700. ORCID: 0000-0002-2755-4439. ResearcherID: AAS-2816-2021.

Федорович Полина Андреевна – магистрант кафедры лесозащиты и древесиноведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: a9693010@gmail.com.

Домненкова Аlesia Владимировна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры безопасности жизнедеятельности. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: domnenkova@belstu.by. SPIN-код: 3963-3454. ORCID: 0009-0001-8220-903X. ResearcherID: PHD-9866-2026.

Information about the authors

Kukhta Valery Nikolaevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: v.kukhta80@gmail.com. SPIN code: 2890-3039.

Sazonov Aleksandr Aleksandrovich – Head of the Forest Pathology Department of First Minsk Forest Inventory Expedition. Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1 Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lesopatolog@rambler.ru. SPIN code: 2183-6468. Scopus ID: 57209565561.

Kozel Aleksandr Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kozel@belstu.by. SPIN code: 6052-2464. Scopus ID: 57194387700. ORCID: 0000-0002-2755-4439. ResearcherID: AAS-2816-2021.

Fedorovich Polina Andreevna – master’s degree student, the Department of Forest Protection and Wood Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: a9693010@gmail.com.

Domnenkova Alesia Vladimirovna – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Occupational Safety. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: domnenkova@belstu.by. SPIN code: 3963-3454. ORCID: 0009-0001-8220-903X. ResearcherID: PHD-9866-2026.

Поступила 15.11.2025

УДК 632.78(476)

Ф. Г. Яковчик, С. В. Буга
Белорусский государственный университет

**ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ДУБА ЧЕРЕШЧАТОГО (*QUERCUS ROBUR* L.)
ГАЛЛОФОРМИРУЮЩИМИ И МИНИРУЮЩИМИ НАСЕКОМЫМИ
В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»**

Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) обычен в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский», где снижение эстетической ценности растений вследствие повреждения фитофагами нежелательно. Во второй половине вегетационных сезонов 2024–2025 гг. в рекреационных лесах в окрестностях озера Рудаково и к. п. Нарочь были выполнены обследования, в результате которых отмечены повреждения дуба 16 видами растительноядных насекомых. Среди них листо-блешка *Trioza remota* Foerster, ложнощитовка *Parthenolecanium corni* (Bouché), тли *Lachnus pallipes* (Hart.), *Lachnus roboris* L. и *Thelaxes dryophila* (Schrnk.). Отмечены галлы комаров-галииц *Macrodiplosis roboris* (Hardy) и *Macrodiplosis pustularis* (Bremi), орехотворок *Cynips quercusfolii* L., *Cynips agama* Hart. и *Andricus foecundatrix* (Hart.). Регистрировались мины личинок пилильщика *Profenusa pygmaea* (Klug), молей-малюток *Stigmella samiatella* (Zell.) и *Stigmella roborella* (Johansson), молей-пестрянок *Phyllonorycter harrisella* (L.) и *Phyllonorycter roboris* (Zell.) и одноцветной моли-минера *Tischeria ekebladella* (Bjerkander) s.l.

Максимальный уровень заселенности листовых пластинок ($51,33 \pm 9,26\%$) был отмечен для галиицы *M. pustularis* на участке рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково и для одноцветной моли-минера *T. ekebladella* s.l. ($37,51 \pm 3,93\%$) в к. п. Нарочь; относительная площадь поврежденной листовой поверхности составила $7,99 \pm 1,78$ и $19,04 \pm 4,29\%$ соответственно. Заселенность растений остальными минирующими и тератформирующими насекомыми не превышала 1 балла по 4-балльной шкале.

Ключевые слова: биоразнообразие, вредители декоративных растений, галлоформирующие насекомые, минирующие насекомые, Нарочанское Поозерье, особо охраняемые природные территории.

Для цитирования: Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Поврежденность дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) галлоформирующими и минирующими насекомыми в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 41–51.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-4.

F. Yakouchyk, S. Buga
Belarusian State University

**DAMAGE TO ENGLISH OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) BY GALL-FORMING
AND MINING INSECTS IN THE RECREATIONAL FORESTS
OF NARACH NATIONAL PARK**

English oak (*Quercus robur* L.) is common in the recreational forests of the Narach National Park, where a reduction in the aesthetic value of plants due to damage by phytophages is undesirable. In late summer 2024–2025, surveys was conducted in the recreational forests around Lake Rudakovo and the Narach resort settlement, which revealed damage to oak trees by 17 species of gall-forming and mining insects. These included the leaf flea *Trioza remota* Foerster, the false scale insect *Parthenolecanium corni* (Bouché), aphids *Lachnus pallipes* (Hart.), *Lachnus roboris* L., and *Thelaxes dryophila* (Schrnk.). Galls of the gall midges *Macrodiplosis roboris* (Hardy) and *Macrodiplosis pustularis* (Bremi), as well as the gall wasps *Cynips quercusfolii* L., *Cynips agama* Hart., and *Andricus foecundatrix* (Hart.) were noted. The mines of the sawfly *Profenusa pygmaea* (Klug), the moths *Stigmella samiatella* (Zell.), *Stigmella roborella* (Johansson), *Phyllonorycter harrisella* (L.), and *Phyllonorycter roboris* (Zell.), and the trumpet moth *Tischeria ekebladella* (Bjerkander) s.l. were registered.

The maximum level of leaf blade colonization, $51.33 \pm 9.26\%$, was recorded for the gall midge *M. pustularis* in a recreational forest near Lake Rudakovo and the single-coloured leaf miner moth

T. ekebladella s.l., $37.51 \pm 3.93\%$ in Narach resort settlement. The relative area of the damaged leaf surface was 7.99 ± 1.78 and $19.04 \pm 4.29\%$, respectively. The infestation of plants by other mining and gall-forming insects did not exceed 1 point on a 4-point scale.

Keywords: biodiversity, pests of decorative plants, gall-forming insects, mining insects, Narach Lakeland, natural reserve.

For citation: Yakouchyk F., Buga S. Damage to English oak (*Quercus robur* L.) by gall-forming and mining insects in the recreational forests of Narach National Park. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 1 (300), pp. 41–51 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-4.

Введение. Дуб черешчатый (*Quercus robur* L.) распространен по всей Беларуси, а на части территории леса дубовой формации являются коренными. Дуб черешчатый и его декоративные формы (*fastigiata* и др.) включены в ассортименты древесных растений, рекомендуемых для использования в зеленом строительстве Республики Беларусь [1, 2], и в ряде регионов страны широко представлены в зеленых насаждениях в населенных пунктах и вне их. Растения дуба черешчатого характеризуются широкой, раскидистой, низкопосаженной шатровидной кроной, достигают высоты 50 м [3]. В зеленом строительстве широко используются декоративные формы, характеризующиеся иной формой кроны: пирамидальной (*f. fastigiata*), плакучей (*f. pendula*) или шаровидной (*f. umbraculifera*). Низкая посадка крон в отсутствие целенаправленной обрезки является их общей чертой, поэтому в декоративных посадках и рекреационных лесах повреждения листовой фитофагами часто хорошо заметны и приводят к снижению декоративности растений и насаждений в целом. Весьма актуальна проблема повреждения фитофагами и в лесных массивах (филлофаги и последствия обусловливаемой ими дефолиации являлись предметом отдельных исследований) [4].

Состав комплекса фитофагов дуба черешчатого в условиях Беларуси был предметом целенаправленных исследований Е. М. Сетраковой [5], в подготовленной ею обзорной работе приведено 286 видов насекомых – филлофагов *Q. robur*. Состав комплекса фитофагов дуба в зеленых насаждениях Гродненского Полесья рассматривался в тематической статье Е. И. Гляковской и А. В. Рыжей [6]. В условиях особо охраняемых природных территорий (ООПТ) Беларуси объектами изучения были дубовые орехотворки [7].

Национальный парк «Нарочанский» приобрел статус ООПТ в 1999 г., целью его организации являлось сохранение уникальных природных комплексов Нарочанского Поозерья [8]. С послевоенного времени здесь выполнялись разноплановые исследования гидробионтов, тогда как исследования наземных беспозвоночных были фрагментарны и отрывочны [9]. Лишь в последнее время было развернуто изучение минеров-филлобионтов и антофильных насекомых в условиях разнотипных биотопов, которые позволили не только осуществить инвентаризацию фауны применительно к отдельным эколого-систематическим группам фитофагов, но и выявить структуру комплексов фитофагов ряда древесных пород, дать оценки вредоносности отдельных их представителей. В настоящей работе рассмотрены результаты исследований фитофагов дуба черешчатого, выполненные в рамках НИР «Особенности структуры сообществ опылителей и минеров-филлобионтов лесных экосистем юго-запада Белорусского Поозерья» (номер госрегистрации 20211658) государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Материалы и методы. Обследования произрастающих в рекреационных лесах на территории Национального парка «Нарочанский» дубов на предмет отбора проб поврежденных минирующими и тератформирующими насекомыми листовых пластинок выполнялись в конце лета 2024–2025 гг. в соответствии с уже использовавшейся ранее методикой изучения минирующих филлобионтов [10]. Уровни заселенности и поврежденности листовых пластинок оценивались с использованием 4-балльных шкал, предложенных А. И. Блинцовым [11]. Галлы орехотворок (Hymenoptera: Cynipidae) и сформированные личинками

листоблошек (Hemiptera: Psyllinea: Tryozidae) тераты подвергались непосредственному подсчету. В лабораторных условиях собранные листья гербаризировали стандартным способом [12]. Крупные галлы орехотворок в целях предупреждения их деформации сушили в мелком песке [13]. Идентификацию фитофагов по повреждениям выполняли с использованием классических определителей [14, 15] и ключей специализированного интернет-портала [16]. Изображения разрешением не менее 300 dpi получали с использованием планшетного сканера CanoScan 9000F Mark II и подвергали обработке средствами специализированного графического редактора ImageJ [17] в целях определения площади мин и листовых пластинок в целом. Анализ материалов предусматривал установление среднего числа мин филлобионтов на отдельных листовых пластинках, средней площади отдельных мин, общей (суммарной) площади всех мин на отдельных листовых пластинках, относительной площади поврежденной листовой поверхности (отношение общей площади мин к площади всей листовой пластинки) листовых пластинок. Статистический анализ выполняли средствами программного пакета PAST 4.16. Исходя из характера распределения данных в выборочных совокупностях использованы непараметрические критерии различий Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова [18].

Основная часть. По результатам выполненных исследований для комплексов фитофагов дуба черешчатого (*Q. robur*) констатируется 6 видов минирующих и 10 видов тератформирующих насекомых. Из числа минеров дуб повреждали 5 видов чешуекрылых (Lepidoptera) и 1 вид перепончатокрылых (Hymenoptera) насекомых, из тератформирующих фитофагов – 5 видов полужесткокрылых (Hemiptera), 2 вида двукрылых (Diptera) и 3 вида перепончатокрылых насекомых.

Тля *Thelaxes dryophila* (Schrank, 1801) (Hemiptera: Aphidoidea: Thelaxidae) принадлежит к числу меристемофильных форм, колонии обычно располагаются на вершинах растущих побегов. При интенсивной колонизации наблюдается слабая деформация заселенных частей растений и развитие на падевых выделениях сажистых грибов. Это фоновый в условиях Беларуси вид тлей. В силу особенностей биологического цикла вспышки массового размножения наблюдаются в первой половине вегетационного сезона и могут ощутимо вредить молодым растениям.

Тля *Lachnus roboris* Linnaeus, 1758 (Hemiptera: Aphidoidea: Lachnidae) является представителем экологической группы каулобионтов, – колонии тлей располагаются на 2–8-летних участках ветвей. Последствиями питания тлей являются «наплывы» древесины и растрескивание коры в месте размещения скоплений насекомых, а также замедление роста с формированием укороченных побегов выше места питания фитофагов. Данный вид тлей отмечается спорадично, но численность особей зачастую бывает очень высокой. Они могут ощутимо вредить отдельным экземплярам дуба, на которых регистрируются из года в год. Поскольку помимо дубов (*Quercus* L.) тля *L. roboris* может развиваться на настоящих каштанах (*Castanea* Mill.), ее относят к группе олигофагов.

Тля *Lachnus pallipes* (Hartig, 1841) также принадлежит к группе каулобионтов, колонии располагаются на 1–5-летних участках ветвей. Этот вид тлей более характерен для молодых ветвей, в конце сезона вегетации колонии насекомых заселяют одревесневшие участки сеголетнего прироста. Последствия питания тлей аналогичны описанным для предыдущего вида. *L. pallipes* в условиях рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский» отмечается спорадично, но численность особей зачастую бывает очень высокой. Могут ощутимо вредить отдельным растениям, на которых регистрируются из года в год. Поскольку помимо дубов вид *L. pallipes* может развиваться на буках (*Fagus* L.) и настоящих каштанах, его относят к группе олигофагов.

Акациевая ложнощитовка (*Parthenolecanium corni* (Bouché, 1844)), представитель семейства ложнощитовок и подушечниц (Hemiptera: Coccidoidea: Coccidae), имеет в настоящее время субкосмополитное распространение в умеренных зонах как Северного, так и Южного полушарий и повреждает широкий круг древесных растений, что позволяет

отнести вид к числу полифагов. В условиях Беларуси является фоновым видом, дающим вспышки массового размножения на ряде декоративных растений, особенно свидинах и деренах (*Cornus* L.). Стационарно питающиеся самки могут покрывать сплошным слоем поверхность коры одревесневших побегов дерена белого (*Cornus alba* L.), что ведет к ее растрескиванию и повреждению осевого цилиндра таких ветвей. В условиях Национального парка «Нарочанский» акациевая щитовка на дубах отмечается повсеместно (как взрослые самки на ветвях, так и бродяжки на листовых пластинках), но вспышки массового размножения в период исследований не наблюдались.

Листоблошка *Trioza remota* (Foerster, 1848) (Hemiptera: Psylloidea: Tryozidae) является специализированным фитофагом (монофагом), личинки размещаются в характерных углублениях («вмятинах») на нижней стороне листовых пластинок. Агрегированность в размещении личинок и терат на листовых пластинках не просматривается. Поврежденные участки выглядят слегка хлоротичными, тераты легко выявляются при внимательном осмотре. В условиях Национального парка «Нарочанский» на дубах отмечается повсеместно, но вспышки массового размножения *T. remota* не характерны.

Tischeria ekebladella (Bjerkander, 1795) s.l. – представитель семейства одноцветных молей-минеров (Lepidoptera: Tischeriidae). Считается олигофагом, поскольку помимо дубов повреждает еще и настоящие каштаны [19]. Мины округлой формы располагаются на верхней стороне листовых пластинок и сразу бросаются в глаза благодаря молочно-белой окраске. Экскременты, в отличие от мин большинства минирующих чешуекрылых, в минах не накапливаются и, следовательно, не просматриваются. Повреждения появляются на листе дуба черешчатого в середине лета, в минах личинки зимуют, окукливаясь весной.

Phyllonorycter roboris (Zeller, 1839) из семейства молей-пестрянок (Lepidoptera: Gracillariidae) является специализированным фитофагом дубов. Личинки развиваются в округло-овальных, «стянутых» (натяжение внешней стенки мины при подсыхании эпидермальных тканей ведет к ее легкому стягиванию), белесых минах на нижней стороне листовых пластинок. С верхней стороны, напротив повреждения, окраска соответствующего участка листа становится хлоротичной.

Phyllonorycter harrisella (Linnaeus, 1761) – еще один специализированный к развитию на дубах представитель рода *Phyllonorycter* (Hübner). Личинки развиваются в округло-овальных, пятновидных, сильно «стянутых», с выраженной складкой, белесых минах на нижней стороне листовых пластинок. Мины мельче, чем у личинок *Ph. roboris*; завершающие свое развитие личинки плетут внутри мин белые коконы, стенки которых усыпаны темными «маковыми» зернышками экскрементов, легко бросающихся в глаза. *Ph. harrisella* в условиях Беларуси принадлежит к числу бивольтинных видов, мины отмечаются с июня и до опадения листвы.

Обыкновенная дубовая моль-малютка (*Stigmella roborella* (Johansson, 1971)) – представитель семейства молей-малюток (Lepidoptera: Nepticulidae). Является монофагом, повреждает листовые пластинки исключительно представителей рода *Quercus* [20]. Личинки проделывают узкие лентовидные мины, их коридор не очень извилистый, цепочки экскрементов в нем узкие, занимают не более трети ширины. Головная капсула у личинок светлая, буроватая. Мины регистрируются на листовых пластинках с июля, за сезон развивается 2 поколения филофага, «последние» мины могут появляться на листьях в конце сентября – октябре.

Каштановая моль-малютка (*Stigmella samiatella* (Zeller, 1839)) помимо дубов повреждает также настоящий каштан (*Castanea sativa* Mill.), ввиду чего вид относят к числу олигофагов [21]. Личинки проделывают (преимущественно у крупных жилок) лентовидные мины – длинные извилистые ходы, заполненные экскрементами в виде узкой центральной линии в последней четверти длины. Головная капсула личинок темноокрашенная, чаще буро-коричневая. Мины регистрируются с июня, за сезон развивается 2 поколения вредителя.

Profenusa pygmaea (Klug, 1816) является представителем семейства настоящих пилильщиков (Hymenoptera: Tenthredinidae). Помимо дубов повреждает настоящие каштаны [22]. Мины личинок верхнесторонние, пятновидные, с быстро некротизирующимися стенками. Экскременты накапливаются в камерах и легко выявляются «на просвет», окукливание личинок происходит вне мин. При высокой плотности заселения листовых пластинок мины выглядят сливающимися, однако камеры сохраняют изолированность.

Обыкновенная дубовая, или яблоковидная, орехотворка (*Cynips quercusfolii* (Linnaeus, 1758)), – наиболее легко выявляемый на дубах галлообразователь. Личинки партеногенетического поколения развиваются с середины лета в крупных (диаметром до 20 мм), округло-шаровидных галлах на жилках нижней стороны листовых пластинок. Листья осенью опадают вместе с галлами. Их окраска зеленовато-желтая, откуда и название «яблоковидная». Весной личинки полового поколения формируют мелкие (до 3 мм), окрашенные в пурпурные тона почковидные галлы на тонких ветвях дуба. Вид не принадлежит к числу фоновых, вспышки массового размножения отмечаются местами и в отдельные годы.

Шишковидная орехотворка (*Andricus foecundatrix* (Hartig, 1840)) развивается исключительно на представителях рода *Quercus*. Личинки полового поколения инициируют образование на побегах летом (с июня) шишковидных галлов. Насекомые размещаются в центральных камерах размером до 1 см, с толстыми одревесневающими стенками. Они защищены многочисленными увеличенными почечными чешуями. К осени камеры с заканчивающимся развитием насекомыми опадают, тогда как сами галлы, напоминающие по внешнему виду «шишки» хмеля и тем самым привлекающие внимание сторонних наблюдателей, остаются в кронах надолго, иногда до следующего периода вегетации растений. Формирующиеся весной галлы, напротив, малозаметны, их присутствие не сказывается на декоративности растений. В условиях рекреационных лесов Национального парка вид не является ни фоновым, ни массовым.

Орехотворка *Cynips agata* (Hartig, 1840) также является облигатным фитофагом дуба. Личинки полового и партеногенетического поколений развиваются в округлой формы некрупных (диаметром до 5 мм) галлах, разбросанных по нижней стороне листовых пластинок. Окраска их желтовато-песочная, поверхность галлов усыпана характерными белевыми бородавчатыми «крупинками». Траты хорошо заметны на листовых пластинках. В отдельные годы местами галлы могут быть многочисленны, привлекая внимание сторонних наблюдателей.

Macrodiplosis pustularis (Bremi, 1847) – фоновый в условиях Беларуси представитель семейства комаров-галлиц (Diptera: Cecidomyiidae). Личинки инициируют формирование индивидуальных галлов подворачиванием края листовой пластинки вниз. Ввиду относительно крупных размеров и характерной «мраморной» хлоротизации они хорошо заметны сторонним наблюдателям. Галлы появляются на листе дуба относительно рано, уже в конце мая, за сезон развивается одна генерация, – личинки по завершении развития уходят в почву, сначала они впадают в эстивационную диапаузу, которая осенью переходит в гибернационную.

Macrodiplosis roboris (Hardy, 1854) еще один представитель семейства комаров-галлиц. Личинки развиваются в галлах на листовых пластинках дубов, что позволяет отнести вид к числу монофагов [23]. Личинки инициируют формирование индивидуальных галлов подворачиванием края листовой пластинки вверх. Для них характерно размещение по краю листовых пластинок между лопастями. Галлы личинок *M. roboris* присутствуют на растениях с июня и до конца сентября, когда они становятся коричневыми. Личинки покидают их с середины лета, уходя в почву, – сначала они впадают в эстивационную диапаузу, которая осенью переходит в гибернационную.

Учетные данные по заселенности и поврежденности листовых пластинок дуба черешчатого отдельными филлобионтами представлены в табл. 1, а также 2–3 соответственно.

Таблица 1. Заселенность (%) фитофагами листовых пластинок дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в условиях рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский» (2024–2025 гг.)

Фитофаги	К. п. Нарочь, 08.08.2024	К. п. Нарочь, 03.08.2025	Оз. Рудаково, 09.08.2024	Оз. Рудаково, 11.09.2025
<i>Phyllonorycter roboris</i> (Zeller, 1839)	–	–	14,56 ± 4,88	16,67 ± 3,21
<i>Tischeria ekebladella</i> (Bjerkander, 1795) s.l.	37,51 ± 3,93	1,67 ± 0,33	7,90 ± 2,31	20,37 ± 4,90
<i>Profenusa pygmaea</i> (Klug, 1816)	–	4,33 ± 0,67	–	18,52 ± 1,85
<i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	16,26 ± 4,20	1,67 ± 0,33	51,33 ± 9,26	–

Таблица 2. Параметры поврежденности листовых пластинок дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) фитофагами в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» (окрестности оз. Рудаково)

Показатели	09.08.2024					
	Минер <i>Tischeria ekebladella</i> (Bjerkander, 1795) s.l.		Галлообразователь <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)		Минер <i>Phyllonorycter roboris</i> (Zeller, 1839)	
	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %
Минимум	65,10	2,75	37,40	1,34	46,80	0,91
Максимум	855,60	21,21	340,70	29,96	170,80	6,70
Средняя арифметическая	280,35	8,47	126,84	7,99	84,55	2,81
Ошибка средней	129,65	3,31	16,96	1,78	12,19	0,56
Коэффициент вариации	113,28	95,60	61,27	102,08	47,81	66,07

Окончание табл. 2

Показатели	11.09.2025					
	Минер <i>Tischeria ekebladella</i> (Bjerkander, 1795) s.l.		Минер <i>Profenusa pygmaea</i> (Klug, 1816)		Минер <i>Phyllonorycter roboris</i> (Zeller, 1839)	
	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %
Минимум	82,00	0,82	91,60	1,34	61,24	0,89
Максимум	422,00	9,85	3504,00	56,20	152,00	3,97
Средняя арифметическая	245,80	4,67	724,05	12,86	100,80	2,35
Ошибка средней	37,52	0,82	290,56	4,54	10,81	0,35
Коэффициент вариации	48,27	55,47	133,09	117,02	32,17	44,25

По результатам обследований констатированы низкие уровни встречаемости большинства выявленных видов тератформирующих и минирующих фитофагов дуба черешчатого в условиях рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский». Максимальный уровень заселенности листовых пластинок (51,33 ± 9,26%, что соответствует 3 баллам по 4-балльной шкале) был отмечен для галлицы *M. pustularis* на участке рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково, а также для одноцветной моли-минера *T. ekebladella* s.l. (37,51 ± 3,93%, что соответствует 2 баллам по 4-балльной шкале) в к. п. Нарочь. При этом очевидно снижение декоративности заселенных этими фитофагами растений.

Заселенность остальными минирующими и тератформирующими фитофагами пригодных для заселения частей растений не превышала 1 балла по 4-балльной шкале. В сезоне 2024 г. в условиях Национального парка «Нарочанский» галлы личинок орехотворок зарегистрировать не удалось.

Фоновыми в условиях обследованных участков рекреационных лесов в годы исследований были 3–4 вида минирующих и тератформирующих фитофагов дуба. Результаты расчета значений показателя поврежденности этими филлофагами листовых пластинок (относительной площади поврежденной листовой поверхности) представлены в табл. 2–3.

Таблица 3. Параметры поврежденности листовых пластинок дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) фитофагами в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» (к.п. Нарочь)

Показатели	08.08.2024			
	Минер <i>Tischeria ekebladella</i> (Bjerkander, 1795) s.l.		Галлообразователь <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	
	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %
Минимум	4,14	0,18	11,60	0,14
Максимум	6764,00	79,60	217,00	2,53
Средняя арифметическая	1070,09	19,04	103,81	1,63
Ошибка средней	362,34	4,29	20,15	0,25
Коэффициент вариации	175,94	117,09	64,37	50,33

Окончание табл. 3

Показатели	03.08.2025					
	Минер <i>Tischeria ekebladella</i> (Bjerkander, 1795) s.l.		Минер <i>Profenusa pygmaea</i> (Klug, 1816)		Галлообразователь <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	
	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	Площадь мин, мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %
Минимум	113,60	1,58	61,40	0,80	107,80	1,89
Максимум	520,40	18,68	768,90	15,37	353,60	11,07
Средняя арифметическая	206,44	8,19	311,74	5,93	242,06	6,36
Ошибка средней	78,67	3,09	63,80	1,31	45,34	1,80
Коэффициент вариации	85,21	84,39	73,79	79,50	41,88	63,46

Среди минирующих филлофагов дуба следует выделить моль-минера *T. Ekebladella* s.l. Мины личинок этого филлобионта занимали до 1/5 листовой поверхности (максимум $19,04 \pm 4,29\%$ для произрастающих в к. п. Нарочь экземпляров, учет от 08.08.2024). Относительная площадь поврежденной личинками пилильщика *P. pygmaea* поверхности оценена для дуба черешчатого в к. п. Нарочь (учет от 03.08.2025) и окрестностях оз. Рудаково (учет от 11.09.2025). Наблюдаемые различия значений показателя относительной площади поврежденной листовой поверхности не были статистически значимы ($p = 0,13$ и $p = 0,39$ для критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова соответственно).

Для участка рекреационных лесов в окрестностях оз. Рудаково в оба вегетационных сезона выявлены повреждения молью-пестрянкой *Ph. roboris* при относительной площади

поврежденной листовой поверхности не более 3%, причем наблюдаемые межгодовые различия не были статистически значимы ($p = 0,77$ и $p = 0,89$ соответственно). Высокие уровни заселенности листовых пластинок тератформирующей галлицей *M. pustularis* определили соответствующие значения показателя относительной площади поврежденной листовой поверхности, т. е. суммарной площади сформированных личинками терат (максимум $7,99 \pm 1,78\%$ в условиях рекреационных лесов в окрестностях оз. Рудаково).

Таким образом, представляется возможным констатировать, что в условиях рекреационных лесов исследованной ООПТ поврежденность отдельными фитофагами листовых пластинок дуба черешчатого в летне-осенний период было достаточно высокой, чтобы обусловить снижение декоративности растений и, следовательно, эстетической ценности насаждений, выполняющих рекреационные функции.

Заключение. По результатам выполненных в вегетационные сезоны 2024–2025 гг. в рекреационных лесах на территории Национального парка «Нарочанский» в окрестностях оз. Рудаково и к. п. Нарочь обследований было выявлено 16 видов фитофагов дуба черешчатого. В их числе листоблошка *Trioza remota*, ложнощитовка *Parthenolecanium corni*, тли *Lachnus pallipes*, *Lachnus roboris* и *Thelaxes dryophila*. Отмечены галлы комаров-галлиц *Macrodiplosis roboris* и *Macrodiplosis pustularis*, орехотворок *Cynips agama*, *Andricus foecundatrix* и *Cynips quercusfolii*, зарегистрированы мины личинок пилильщика *Profenusa pygmaea*, молей-малюток *Stigmella samiatella* и *Stigmella roborella*, молей-пестрянок *Phyllonorycter harrisella* и *Phyllonorycter roboris*, а также одноцветной моли-минера *Tischeria ekebladella* s.l.

Максимальный уровень заселенности листовых пластинок ($51,33 \pm 9,26\%$, соответствующий 3 баллам по 4-балльной шкале) был отмечен для галлицы *M. pustularis* на участке рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково, а также одноцветной моли-минера *T. ekebladella* s.l. ($37,51 \pm 3,93\%$, что соответствует 2 баллам по 4-балльной шкале) в к. п. Нарочь. Максимальные значения параметра относительной площади поврежденной листовой поверхности отмечены для минера *Tischeria ekebladella* ($19,04 \pm 4,29\%$) и галлообразователя *Macrodiplosis pustularis* ($7,99 \pm 1,78\%$). Повреждения этими фитофагами безусловно снижают декоративность колонизированных растений дуба. Заселенность остальными минующими и тератформирующими фитофагами пригодных для заселения частей растений не превышала 1 балла по 4-балльной шкале.

Список литературы

1. Сидорович Е. А. Ассортимент декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси. Минск: Тэхналогія, 1997. 63 с.
2. Сидорович Е. А., Гаранович И. М., Чаховский А. И. Ассортимент декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси и рекомендации по оптимизации условий выращивания сеянцев. Минск: Тэхналогія, 1996. 62 с.
3. Определитель высших растений Беларуси / под ред. В. И. Парфенова. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
4. Рубцов В. В., Уткина И. А. Адаптационные реакции дуба на дефолиацию. М.: Гриф и К, 2008. 302 с.
5. Сетракова Е. М. Современное состояние изученности таксономического состава насекомых-филлофагов дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в Беларуси // Труды БГУ. 2014. Т. 9, № 2. С. 236–245.
6. Гляковская Е. И., Рыжая А. В. Комплекс фитофагов-вредителей дуба черешчатого (*Quercus robur* L., 1753) в условиях зеленых насаждений Гродненского Понеманья // Веснік Гродзенскага дзяржаўнага ўніверсітэта імя Янкі Купалы. Сер. 5, Эканоміка. Сацыялогія. Біялогія. 2018. Т. 8, № 2. С. 108–113.
7. Петров Д. Л. Видовой состав и экология тератформирующих орехотворок (Hymenoptera: Cynipidae) Березинского биосферного заповедника // Особо охраняемые природные территории Беларуси: исследования. 2007. Вып. 2. С. 159–163.

8. Национальный парк «Нарочанский». URL: <https://narochpark.by> (дата обращения: 19.10.2025).
9. Тематическая направленность и основные результаты эколого-фаунистических исследований беспозвоночных-гидробионтов Нарочанского региона на кафедре зоологии БГУ / Е. С. Шалапенко [и др.] // Вестник БГУ. Сер. 2, Химия. Биология. География. 2013. № 3. С. 60–65.
10. Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений: учеб. материалы / О. В. Синчук [и др.]. Минск: БГУ, 2016. 30 с.
11. Блинцов А. И. К методике определения устойчивости древесных растений к вредителям // Ботаника: исследования. 1986. Вып. 27. С. 126–127.
12. Гербарное дело: справочное руководство / под. ред. Д. В. Гельтмана. Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 341 с.
13. Петров Д. Л., Буга С. В. Тератформирующие членистоногие – вредители зеленых насаждений Беларуси. Минск: БГУ, 2008. 42 с.
14. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников европейской части СССР. Ленинград: Гослестехиздат, 1951. 580 с.
15. Гусев В. И. Определитель повреждений деревьев и кустарников, применяемых в зеленом строительстве. М.: Агропромиздат, 1989. 208 с.
16. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/> (дата обращения: 17.10.2025).
17. Сауткин Ф. В. Использование программных средств анализа цифровых изображений для определения размерных характеристик биологических объектов. Минск: БГУ, 2013. 28 с.
18. PAST 4.16. Manual // Naturhistorisk museum. Universitetet of Oslo. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (дата обращения: 18.10.2024).
19. *Tischeria ekebladella* – Plant Parasites of Europe // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/tischerioidea/tischeriidae/tischeria/tischeria-ekebladella/> (дата обращения: 17.10.2025).
20. *Stigmella roborella* – Plant Parasites of Europe // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/nepticuloidea/nepticulidae/stigmella/stigmella-roborella/> (дата обращения: 17.10.2025).
21. *Stigmella samiatella* – Plant Parasites of Europe // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/nepticuloidea/nepticulidae/stigmella/stigmella-samiatella/> (дата обращения: 17.10.2025).
22. *Profenusa pygmaea* – Plant Parasites of Europe // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/hymenoptera/symphyta/tenthredinoidea/tenthredinidae/heterarthrinae/profenusa/profenusa-pygmaea/> (дата обращения: 17.10.2025).
23. *Macrodiplosis roboris* – Plant Parasites of Europe // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/diptera/nematocera/cecidiomyiidae/cecidiomyiinae/cecidiomyiidi/cecidiomyiini/macrodiplosis/macrodiplosis-roboris/> (дата обращения: 17.10.2025).

References

1. Sidorovich E. A. *Assortiment dekorativnykh derev'ev i kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva Belarusi* [An assortment of ornamental trees and shrubs for the green areas of Belarus]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 1997. 63 p. (In Russian).
2. Sidorovich E. A., Garanovich I. M., Chakhovskiy A. I. *Assortiment dekorativnykh derev'ev i kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva Belarusi i rekomendatsii po optimizatsii usloviy*

vyrashchivaniya seyantsev [An assortment of ornamental trees and shrubs for the green areas of Belarus and recommendations for optimizing the growing conditions of seedlings]. Minsk, Tekhnalogiya Publ., 1996. 62 p. (In Russian).

3. *Opredelitel' vysshikh rasteniy Belarusi* [The key of higher plants of Belarus]. Ed. V. I. Parfenov. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1999. 472 p. (In Russian).

4. Rubtsov V. V., Utkina I. A. *Adaptatsionnyye reaktsii duba na defoliatsiyu* [Adaptive reactions of oak to defoliation]. Moscow, Grif i K Publ., 2008. 302 p. (In Russian).

5. Setrakova E. M. The current state of study on taxonomic composition of phyllophagous insects of the oak (*Quercus robur* L.) in Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2014, vol. 9, no. 2, pp. 236–245 (In Russian).

6. Glyakovskaya E. I., Ryzhaya A. V. A complex of phytophagous pests of the oak tree (*Quercus robur* L., 1753) in the conditions of green spaces of the Grodno region. *Vesnik Grodenskaya dzyarzhavnaga universiteta imya Yanki Kupaly* [Bulletin of the Yanka Kupala Grodno State University], series 5, Economy. Sociology. Biology, 2018, vol. 8, no. 2, pp. 108–113 (In Russian).

7. Petrov D. L. Species composition and ecology of the gall wasps (Hymenoptera: Cynipidae) in the Berezinsky Biosphere Reserve. *Osobo okhranyayemyye prirodnyye territorii Belarusi: issledovaniya* [Specially protected natural territories of Belarus: research], 2007, vol. 2, pp. 159–163 (In Russian).

8. Narochansky National Park. Available at: <https://narochpark.by> (accessed 19.10.2025) (In Russian).

9. Shalapenok E. S., Soloduha E. A., Buga S. V., Zhukova T. V. Topics and main results of ecological and faunal studies of invertebrate hydrobionts in the Narach region at the Department of Zoology of the Belarusian State University. *Vestnik BGU* [Bulletin of the Belarusian State University], series 2, Chemistry. Biology. Geography, 2013, no. 3, pp. 60–65 (In Russian).

10. Sinchuk O. V., Roginskij A. S., Danilyonok V. V., Goncharov D. A., Treshcheva A. B. *Kolichestvennaya otsenka povrezhdennosti invazivnymi miniruyushchimi nasekomymi listovykh plastinok dekorativnykh drevesnykh rasteniy* [Quantitative assessment of the damage caused by invasive leaf-mining insects of ornamental woody plants]. Minsk, BGU Publ., 2016. 30 p. (In Russian).

11. Blincov A. I. On the methodology for determining the resistance of woody plants to pests. *Botanika: issledovaniya* [Botany: research], 1986, vol. 27, pp. 126–127 (In Russian).

12. *Gerbarnoye delo: spravochnoye rukovodstvo* [Herbaria: a practical guide]. Ed. D. V. Gel'tman. Kew: Royal Botanic Garden Publ., 1995. 341 p. (In Russian).

13. Petrov D. L., Buga S. V. *Teratformiruyushchiye chlenistonogiye – vrediteli zelenykh nasazhdeniy Belarusi* [Teratforming arthropods – pests of green spaces in Belarus]. Minsk, BGU Publ., 2008. 42 p. (In Russian).

14. Gusev V. I. *Opredelitel' povrezhdeniy lesnykh i dekorativnykh derev'yev i kustarnikov evropeyskoy chasti SSSR* [Key of pests of forest and ornamental trees and shrubs of the European part in the USSR]. Leningrad, Goslestekhzdat Publ., 1951. 580 p. (In Russian).

15. Gusev V. I. *Opredelitel' povrezhdeniy derev'yev i kustarnikov, primenyayemykh v zelenom stroitel'stve* [Key of pests to trees and shrubs used in green areas]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 208 p. (In Russian).

16. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi. Available at: <https://bladmineerders.nl/> (accessed 17.10.2025).

17. Sautkin F. V. *Ispol'zovaniye programmnykh sredstv analiza tsifrovyykh izobrazheniy dlya opredeleniya razmernykh kharakteristik biologicheskikh ob'yektov* [Use of digital image analysis software to determine the dimensional characteristics of biological objects]. Minsk, BGU Publ., 2013. 28 p. (In Russian).

18. PAST 4.16. Manual. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 18.10.2024).

19. *Tischeria ekebladella*. Available at: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/tischerioidea/tischeriidae/tischeria/tischeria-ekebladella/> (accessed 17.10.2025).

20. *Stigmella roborella*. Available at: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/nepticuloidea/nepticulidae/stigmella/stigmella-roborella/> (accessed 17.10.2025).

21. *Stigmella samiatella*. Available at: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/lepidoptera/monotrysia/nepticuloidea/nepticulidae/stigmella/stigmella-samiatella/> (accessed 17.10.2025).

22. *Profenusa pygmaea*. Available at: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/hymenoptera/symphyla/tenthredinoidea/tenthredinidae/heterarthrinae/profenusa/profenusa-pygmaea/> (accessed 17.10.2025).

23. *Macrodiplosis roboris*. Available at: <https://bladmineerders.nl/parasites/animalia/arthropoda/insecta/diptera/nematocera/cecidomyiidae/cecidomyiinae/cecidomyiidi/cecidomyiini/macrodiplosis/macrodiplosis-roboris/> (accessed 17.10.2025).

Информация об авторах

Яковчик Федор Геннадиевич – аспирант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Yakovchi@bsu.by. SPIN-код: 7688-7841. ORCID: 0000-0002-3993-6469. ResearcherID: PHF-2840-2026.

Буга Сергей Владимирович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sergey.buga@gmail.com. SPIN-код: 4273-4813. Scopus ID: 37760941200. ORCID: 0000-0002-1140-9042. ResearcherID: AAE-5280-2019.

Information about the authors

Yakouchyk Fedar – PhD student, the Department of Zoology. Belarusian State University (4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Yakovchi@bsu.by. SPIN code: 7688-7841. ORCID: 0000-0002-3993-6469. ResearcherID: PHF-2840-2026.

Buga Sergey – DSc (Biology), Professor, Head of the Department of Zoology. Belarusian State University (4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergey.buga@gmail.com. SPIN code: 4273-4813. Scopus ID: 37760941200. ORCID: 0000-0002-1140-9042. ResearcherID: AAE-5280-2019.

Поступила 15.11.2025

УДК 632.78(476)

Ф. Г. Яковчик, С. В. Буга

Белорусский государственный университет

**ОЦЕНКА ВРЕДНОСТИ ТЕРАТФОРМИРУЮЩИХ ЧЛЕНИСТОНОГИХ
ДЛЯ ДЕКОРАТИВНЫХ ДРЕВЕСНЫХ РАСТЕНИЙ В ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
И РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»**

Вредность для декоративных древесных растений в условиях зеленых насаждений населенных пунктов и рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский» была оценена для 55 видов тератформирующих насекомых и клещей. Среди них 32 вида эриофиоидных клещей (Acariformes: Eriophyoidea), 4 вида псиллид (Hemiptera: Psylloidea), 1 вид жесткокрылых (Coleoptera), 9 видов перепончатокрылых (Hymenoptera), 7 видов двукрылых (Diptera) и 2 вида чешуекрылых (Lepidoptera) насекомых. Группа тератформирующих членистоногих с низким (менее 5 баллов) уровнем экологической вредности включает в зеленых насаждениях и рекреационных лесах по 19 видов, группа с промежуточным (от 5 до 20 баллов) уровнем – 31 и 24, с высоким (более 20 баллов) уровнем – по 5 видов фитофагов соответственно. Группа тератформирующих членистоногих с низким (менее 50 баллов) уровнем общей вредности насчитывает в зеленых насаждениях 31 вид, в рекреационных лесах – 24 вида, с промежуточным (от 50 до 100 баллов) уровнем – 8 и 7, с высоким (более 100 баллов) уровнем – 16 и 17 видов соответственно. Отмеченные различия уровней экологической и общей вредности тератформирующих членистоногих в условиях зеленых насаждений населенных пунктов и рекреационных лесов не являются статистически значимыми ($p > 0,05$).

Ключевые слова: биоразнообразие, галлы, Нарочанское Поозерье, особо охраняемые природные территории, эринеумы.

Для цитирования: Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Оценка вредности тератформирующих членистоногих для декоративных древесных растений в зеленых насаждениях и рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 52–68.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-5.

F. Yakouchyk, S. Buga

Belarusian State University

**ASSESSMENT OF THE PESTFULNESS OF GALL-FORMING ARTHROPODS
TO ORNAMENTAL WOODY PLANTS IN GREEN STANDS AND RECREATIONAL
FORESTS OF THE NARACH NATIONAL PARK**

The pestfulness to ornamental woody plants in green stands of settlements and recreational forests of the Narach National Park assessed for 55 species of gall-forming insects and mites. Among them are 32 species of eriophyid mites (Acariformes: Eriophyoidea), 4 species of psyllids (Hemiptera: Psylloidea), 1 species of Coleoptera, 9 species of Hymenoptera, 7 species of Diptera, and 2 species of Lepidoptera (Insecta). The group of gall-forming arthropods with low (less than 5 points) level of ecological pestfulness includes 19 species in green stands and 19 species in recreational forests, the group with an intermediate (5 to 20 points) level includes 31 and 24 species, and the group with a high (more than 20 points) level includes 5 and 5 species. The group of teratogenic arthropods with a low (less than 50 points) level of general pestfulness includes 31 species in green stands and 24 species in recreational forests, the group with an intermediate (50 to 100 points) level includes 8 and 7 species, and the group with a high (more than 100 points) level includes 16 and 17 species, respectively. The differences in the levels of ecological and general pestfulness of teratogenic arthropods in green stands and recreational forests and are not statistically significant ($p > 0.05$).

Keywords: biodiversity, galls, Narach Lakeland, natural reserve, erineums.

For citation: Yakouchyk F., Buga S. Assessment of the pestfulness of gall-forming arthropods to ornamental woody plants in green stands and recreational forests of the Narach National Park. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 52–68 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-5.

Введение. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) призваны выполнять прежде всего природоохранные функции. Наряду с этим многие ООПТ успешно используются как объекты экологического туризма, для экологического просвещения и отдыха, т. е. в рекреационных целях. Сохранение в малонарушенном состоянии природных комплексов юго-запада Белорусского Поозерья является основной задачей учрежденного в 1999 г. Национального парка «Нарочанский» [1]. На его территории располагаются функционирующие санатории, дома отдыха и иные лечебно-оздоровительные учреждения, в ряде населенных пунктов участки лесных массивов и лесопосадок располагаются в их границах и активно посещаются отдыхающими. Поэтому актуальным оказывается должный уровень эстетических качеств произрастающих здесь деревьев и кустарников. С другой стороны, декоративные древесные растения также формируют зеленые насаждения в населенных пунктах на территории национального парка: уличные, парковые, приусадебные и иные.

Повреждение фитофагами является одним из факторов снижения декоративности древесных растений. Ухудшение энтомо-фитопатологической ситуации ведет к снижению декоративности растений, а следовательно, и рекреационной ценности насаждений. Это делает актуальными как выяснение состава комплексов вредителей декоративных растений в условиях рекреационных лесов, в том числе на территории тех или иных ООПТ, так и оценку уровней вредоносности отдельных фитофагов. Уровни вредоносности фитофагов в условиях зеленых насаждений населенных пунктов и рекреационных лесов могут различаться, поэтому представляет интерес сопоставление соответствующих количественных оценок. В настоящей публикации приведены результаты исследований для Национального парка «Нарочанский». Работа выполнена в рамках НИР «Инвазивные фитопатогенные грибы, грибоподобные организмы и беспозвоночные животные на культивируемых и близкородственных дикорастущих растениях: статус в сообществах, распространение, диагностика» (номер госрегистрации 20211704) государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Место, материал и методы исследований. В основу настоящей работы положены результаты выполненных в течение полевых сезонов 2021–2025 гг. цецидологических обследований декоративных древесных растений из числа включенных в издававшиеся «Ассортименты декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси» [2, 3], произрастающих в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов на территории Национального парка «Нарочанский»: регистрировались уровни заселенности и поврежденности тератформирующими фитофагами отдельных растений, проводились фенологические наблюдения. В соответствии с методиками количественного определения вредоносности оценивался уровень распространенности и ценности отдельных растений-хозяев в качестве декоративных в зеленых насаждениях населенных пунктов и в структуре рекреационных лесов [4]. Идентификацию фитофагов по повреждениям выполняли с использованием классических определителей [5, 6] и ключей специализированных интернет-сайтов [7, 8].

Количественные оценки вредоспособности и вредоносности тератформирующих фитофагов осуществлялись на основе разработанной Е. Г. Куликовой [9] методики количественной оценки уровня общей вредоносности кокцид с коррективами и уточнениями (в целях учета биологических и экологических особенностей тератформирующих фитофагов), внесенными Д. Л. Петровым и С. В. Бугой при оценке уровня вредоносности тератформирующих тлей [4]. Позднее она использовалась для сравнительной оценки вредоносности тератформирующих фитофагов в начале текущего столетия и по прошествии полутора

десятилетий [10]. Выбор данной методики обеспечивает сравнимость с результатами [11–14], полученными для иных регионов и условий исследований.

В соответствии с методикой [4, 10] использовались оценки по 7 параметрам, которые определяют вредоспособность и вредоносность тератформирующих фитофагов. По типу питания дифференцировались камбийповреждающие формы (в основном это питающиеся на побегах и ветвях фитофаги-каулобионты и так называемые «мягкие» галлогены) (1 балл), с одной стороны, и не повреждающие камбий фитофаги (формирующие войлочники, листовые галлы и подобные формы) (0,5 балла) – с другой. Продолжительность периода нанесения вреда пересчитывалась в баллы следующим образом: за каждые 20 дней – 1 балл для лиственных пород, за 10 дней – 1 балл для хвойных (кроме лиственниц), поскольку у них замена ассимилирующего аппарата происходит реже раза в год. Если деятельность меристемофильных форм ограничена активно растущими побегами, локализующимися лишь в отдельных частях крон, насчитывается 0,5 балла, если немеристемофильные формы способны «осваивать» всю крону – 1 балл. В случае малопреодолимого в текущем вегетационном сезоне снижения декоративности выставлялся балл 3, при временном снижении декоративности, преодолимом в течение вегетационного сезона, например вследствие выборочного опадения листвы или отрастания побегов, – балл 2, при малозаметном снижении декоративности, когда повреждения выявляются лишь в ходе целенаправленного осмотра, – 1 балл. При оценке распространенности фитофагов в насаждениях широкораспространенным видам выставлялся балл 3, видам с ограниченным распространением – 2, регистрируемым лишь местами – балл 1. Распространенность и ценность повреждаемых декоративных деревьев и кустарников оценивалась следующим образом: если повреждаются распространенные и ценные по декоративным свойствам растения – 3 балла; малораспространенные, но ценные растения – 2 балла; распространенные малоценные растения – 1 балл; малораспространенные малоценные растения – 0,5 балла. Параметр наличия и регулярности вспышек массового размножения оценивался по 3-балльной шкале: фитофаг в исследуемых насаждениях регулярно давал вспышки массового размножения – 3 балла; при эпизодическом размножении – 2 балла; вспышки массового размножения не наблюдались – 1 балл.

Значения показателя физиологически обусловленной (физиологической) вредоспособности получают перемножением первых двух параметров, тогда как показатель снижения декоративности по экологически обусловленным аспектам (экологической или хозяйственной вредоносности, вредоносности в аспекте потери декоративности) определяется произведением следующих четырех. Для расчета значений общей вредоносности данные показатели перемножают между собой и умножают на значение параметра наличия и регулярности вспышек массового размножения [4, 10].

Статистический анализ выполняли средствами программного пакета PAST 4.16 [15]. В частности, исходя из характера данных для установления статистической значимости наблюдаемых различий оценочных значений показателей и вредоносности, использованы непараметрические критерии знаков и критерий Манна – Уитни.

Основная часть. Расчеты значений показателей физиологической вредоспособности, экологической вредоносности (вредоносности в аспекте потери декоративности или хозяйственной вредоносности), а также общей вредоносности тератформирующих фитофагов декоративных древесных растений выполнены для рекреационных лесов (1) и зеленых насаждений населенных пунктов (2), расположенных в границах Национального парка «Нарочанский» (табл. 1–6). Видовой состав тератформирующих эриофиоидных клещей, для которых была осуществлена оценка параметров и показателей вредоносности, представлен в табл. 1.

Среди приведенных в табл. 1 видов эриофиоидных клещей лишь один, *A. heteronyx*, формирует тераты на осевых органах и должен быть отнесен к числу камбийповреждающих фитофагов. Побегов, на которых размещены галлы *A. heteronyx*, к концу сезона вегетации одревесневают, кроны колонизированных кленов оголяются вследствие листопада,

массовые повреждения становятся еще лучше заметны сторонним наблюдателям. Продолжительность оценочного периода нанесения вреда этим галлообразователем максимальна, – 200 суток (10 баллов). Продолжительный период вредоносности (180 суток) характерен для фитофагов рано начинающих вегетацию ив и лещины обыкновенной (*A. craspedobius* и *A. tetanothrix*, а также *Ph. avellanae* соответственно), а также для поздно сбрасывающего листву клена серебристого (*V. quadripedes*). И наоборот, фитофаг поздно начинающего вегетацию ясеня обыкновенного (*A. fraxinivora*), охарактеризован коротким (100 суток) периодом вредоносности. В целом значения показателя физиологической вредоносности тератформирующих эриофиоидных клещей варьировали в диапазоне от 4,5 до 2,5 баллов, лишь вышеупомянутый *A. heteronyx* характеризовался пиковым значением показателя 10 баллов.

Таблица 1. Видовой состав и физиологическая вредоносность тератформирующих эриофиоидных клещей в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Растения-хозяева	Тип питания	Период вредоносности (сутки)	Период вредоносности (балл)	Физиологическая вредоносность (балл)
1. <i>Acalitus longisetosus</i> (Nalepa, 1892)	<i>Betula pendula</i> Roth	0,5	120	6	3
2. <i>Acalitus rudis</i> (Canestrini, 1890)	<i>Betula pendula</i> Roth	0,5	160	8	4
3. <i>Aceria campestricola</i> (Frauenfeld, 1865)	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	0,5	120	6	3
4. <i>Aceria fraxinivora</i> (Nalepa, 1909)	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	0,5	120	6	3
5. <i>Aceria heteronyx</i> (Nalepa, 1891)	<i>Acer platanoides</i> L.	1,0	200	10	10
6. <i>Aceria platanoides</i> (Nalepa, 1922)	<i>Acer platanoides</i> L.	0,5	120	6	3
7. <i>Aceria tenellus</i> (Nalepa, 1892)	<i>Carpinus betulus</i> L.	0,5	120	6	3
8. <i>Aculus craspedobius</i> (Nalepa, 1925)	<i>Salix fragilis</i> L., <i>Salix purpurea</i> L.	0,5	180	9	4,5
9. <i>Aculus hippocastani</i> (Fockeu, 1890)	<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	0,5	100	5	2,5
10. <i>Aculus leionotus</i> (Nalepa, 1891)	<i>Betula pendula</i> Roth	0,5	160	8	4
11. <i>Aculus tetanothrix</i> (Nalepa, 1889)	<i>Salix alba</i> L., <i>Salix fragilis</i> L.	0,5	180	9	4,5
12. <i>Aculus xylostei</i> (G. Canestrini, 1892)	<i>Lonicera xylosteum</i> L.	0,5	120	6	3
13. <i>Cecidophyes psilonotus</i> (Nalepa, 1897)	<i>Euonymus europaea</i> L.	0,5	120	6	3
14. <i>Eriophyes crataegi</i> (Canestrini, 1890)	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	0,5	160	8	4
15. <i>Eriophyes distinguendus</i> (Kieffer, 1902)	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	0,5	160	8	4
16. <i>Eriophyes exilis</i> (Nalepa, 1892)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
17. <i>Eriophyes leiosoma</i> (Nalepa, 1892)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
18. <i>Eriophyes nervalis</i> (Nalepa, 1918)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
19. <i>Eriophyes prunianus</i> (Nalepa, 1926)	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	0,5	120	6	3
20. <i>Eriophyes diversipunctatus</i> (Nalepa, 1890)	<i>Populus tremula</i> L.	0,5	120	6	3

Окончание табл. 1

Вид	Растения-хозяева	Тип питания	Период вредоносности (сутки)	Период вредоносности (балл)	Физиологическая вредоспособность (балл)
21. <i>Eriophyes tiliae</i> (Pagenstecher, 1857)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
22. <i>Eriophyes convolvens</i> (Nalepa, 1889)	<i>Euonymus europaea</i> L.	0,5	100	5	2,5
23. <i>Eriophyes leionotus</i> (Nalepa, 1891)	<i>Betula pendula</i> Roth	0,5	160	8	4
24. <i>Eriophyes similis</i> (Nalepa, 1890)	<i>Prunus cerasifera</i> Ehrh.	0,5	160	8	4
25. <i>Eriophyes sorbi</i> (Canestrini, 1890)	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0,5	120	6	3
26. <i>Phyllocoptes goniothorax</i> (Nalepa, 1889)	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	0,5	120	6	3
27. <i>Phyllocoptes populi</i> (Nalepa, 1894)	<i>Populus × berolinensis</i> K. Koch	0,5	100	5	2,5
28. <i>Phyllocoptes sorbeus</i> (Nalepa, 1926)	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0,5	120	6	3
29. <i>Phytoptus avellanae</i> (Nalepa, 1889)	<i>Corylus avellana</i> L.	0,5	180	9	4,5
30. <i>Phytoptus tetratrichus</i> (Nalepa, 1890)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
31. <i>Stenacis euonymi</i> (Frauenfeld, 1865)	<i>Euonymus europaea</i> L.	0,5	100	5	2,5
32. <i>Vasates quadripedes</i> (Shimer, 1869)	<i>Acer saccharinum</i> L.	0,5	180	9	4,5

Расчеты значений показателя экологической вредоносности (вредоносности в аспекте потери декоративности, или хозяйственной вредоносности) выполнены на основе оценок параметров специфики и локализации повреждений, а также распространенности (встречаемости) самих фитофагов и повреждаемых ими декоративных древесных растений в рекреационных лесах, а также в зеленых насаждениях населенных пунктов, расположенных в границах Национального парка «Нарочанский» (табл. 2).

Для рекреационных лесов значения показателя экологической вредоносности (вредоносности в аспекте потери декоративности) варьировали от 1,5 баллов для вышеупомянутого фитофага лещины *Ph. avellanae* до 27 баллов для широко распространенных и повсеместно обычных березовых галловых клещей: войлочного (*A. rudis*) и головчатого (*A. leionotus*). Отсутствие в рекреационных лесах растений-хозяев ряда видов эриофиоидных клещей (*A. tenellus*, *A. craspedobius*) обусловило формально нулевые оценки вредоносности в аспекте потери декоративности. Была оценена экологическая вредоносность и эриофиоидного клеща *Ph. populi*, хотя этот фитофаг повреждает здесь осину обыкновенную, которая не включена в ассортимент древесных растений для зеленого строительства.

Для зеленых насаждений населенных пунктов значения показателя находились в диапазоне от 1 балла (для вышеупомянутого фитофага лещины *Ph. avellanae*) до 27 баллов для галловых и войлочных клещей, развивающихся на березах и липах.

Наблюдаемые существенные различия наборов значений показателя для рекреационных лесов и собственно декоративных зеленых насаждений тем не менее не были статистически значимыми ($p = 0,84$ и $p = 0,85$ для расчетных значений критерия знаков и критерия Манна – Уитни соответственно).

Расчеты значений показателя общей вредоносности осуществлены для рекреационных лесов и зеленых насаждений населенных пунктов, расположенных в границах национального парка, на основе полученных оценок рассмотренных выше показателей с учетом такого параметра, как наличие и регулярность вспышек массового размножения (табл. 3).

Таблица 2. Экологическая вредоносность тератформирующих эриоидных клещей в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Характер повреждений (балл)	Локализация (балл)	Ценность древесных растений (балл)		Распространенность фитофага (балл)		Экологическая вредоносность (балл)	
			зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
1. <i>Acalitus longisetosus</i> (Nalepa, 1892)	3	1	3	3	1	1	9	9
2. <i>Acalitus rudis</i> (Canestrini, 1890)	3	1	3	3	2	3	18	27
3. <i>Aceria campestriicola</i> (Frauenfeld, 1865)	3	1	3	2	3	3	27	18
4. <i>Aceria fraxinivora</i> (Nalepa, 1909)	3	0,5	3	2	1	1	4,5	3
5. <i>Aceria heteronyx</i> (Nalepa, 1891)	2	1	3	2	1	1	6	4
6. <i>Aceria platanoides</i> (Nalepa, 1922)	3	1	3	2	2	3	18	18
7. <i>Aceria tenellus</i> (Nalepa, 1892)	2	1	3	2	1	0	6	0
8. <i>Aculus craspedobius</i> (Nalepa, 1925)	3	1	2	0	1	1	6	0
9. <i>Aculus hippocastani</i> (Fockeu, 1890)	1	1	3	2	2	2	6	4
10. <i>Aculus leionotus</i> (Nalepa, 1891)	3	1	3	3	3	3	27	27
11. <i>Aculus tetanothrix</i> (Nalepa, 1889)	3	1	3	1	2	3	18	9
12. <i>Aculus xylostei</i> (G. Canestrini, 1892)	2	1	0,5	2	1	2	1	8
13. <i>Cecidophyes psilonotus</i> (Nalepa, 1897)	2	1	3	2	1	2	6	8
14. <i>Eriophyes crataegi</i> (Canestrini, 1890)	1	1	2	2	1	1	2	2
15. <i>Eriophyes distinguendus</i> (Kieffer, 1902)	2	1	2	3	1	1	4	6
16. <i>Eriophyes exilis</i> (Nalepa, 1892)	3	1	3	2	1	2	9	12
17. <i>Eriophyes leiosoma</i> (Nalepa, 1892)	3	1	3	2	3	3	27	18
18. <i>Eriophyes nervalis</i> (Nalepa, 1918)	3	1	3	2	3	1	27	6
19. <i>Eriophyes prunianus</i> (Nalepa, 1926)	2	1	2	3	1	1	4	6
20. <i>Eriophyes diversipunctatus</i> (Nalepa, 1890)	3	1	2	3	1	2	6	18
21. <i>Eriophyes tiliae</i> (Pagenstecher, 1857)	3	1	3	2	2	3	18	18
22. <i>Eriophyes convolvens</i> (Nalepa, 1889)	1	1	3	2	1	1	3	2
23. <i>Eriophyes leionotus</i> (Nalepa, 1891)	3	1	3	3	1	2	9	18
24. <i>Eriophyes similis</i> (Nalepa, 1890)	3	1	2	3	1	1	6	9
25. <i>Eriophyes sorbi</i> (Canestrini, 1890)	3	1	2	3	1	1	6	9
26. <i>Phyllocoptes goniothorax</i> (Nalepa, 1889)	1	1	2	2	1	1	2	2
27. <i>Phyllocoptes populi</i> (Nalepa, 1894)	1	1	2	0	1	0	2	0
28. <i>Phytoptus sorbeus</i> (Nalepa, 1926)	2	1	2	3	2	3	8	18

Окончание табл. 2

Вид	Характер повреждения (балл)	Локализация (балл)	Ценность древесных растений (балл)		Распространенность фитофага (балл)		Экологическая вредоносность (балл)	
			зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
29. <i>Phyllocoptes avellanae</i> (Nalepa, 1889)	1	0,5	2	3	1	1	1	1,5
30. <i>Phytortus tetratrichus</i> (Nalepa, 1890)	3	1	3	2	1	2	9	12
31. <i>Stenacis eunymus</i> (Frauenfeld, 1865)	2	1	3	2	1	1	6	4
32. <i>Vasates quadripedes</i> (Shimer, 1869)	3	1	3	0	2	0	18	0

Таблица 3. Общая вредоносность тератформирующих эриофиоидных клещей в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Физиологическая вредоносность (балл)	Экологическая вредоносность (балл)		Регулярность вспышек массового размножения (балл)		Общая вредоносность (балл)	
		зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
1. <i>Acalitus longisetosus</i> (Nalepa, 1892)	3	9	9	1	1	27	27
2. <i>Acalitus rudis</i> (Canestrini, 1890)	4	18	27	3	3	216	324
3. <i>Aceria campetricola</i> (Frauenfeld, 1865)	3	27	18	3	3	243	162
4. <i>Aceria fraxinivora</i> (Nalepa, 1909)	3	4,5	3	1	1	13,5	9
5. <i>Aceria heteronyx</i> (Nalepa, 1891)	10	6	4	3	3	180	120
6. <i>Aceria platanoidea</i> (Nalepa, 1922)	3	18	18	3	3	162	162
7. <i>Aceria tenellus</i> (Nalepa, 1892)	3	6	0	1	0	18	0
8. <i>Aculus craspedobius</i> (Nalepa, 1925)	4,5	6	0	1	1	27	0
9. <i>Aculus hippocastani</i> (Fockeu, 1890)	2,5	6	4	1	1	15	10
10. <i>Aculus leionotus</i> (Nalepa, 1891)	4	27	27	2	2	216	216
11. <i>Aculus tetanothrix</i> (Nalepa, 1889)	4,5	18	9	2	2	162	81
12. <i>Aculus xylostei</i> (G. Canestrini, 1892)	3	1	8	1	1	3	24
13. <i>Cecidophyes psilonotus</i> (Nalepa, 1897)	3	6	8	2	2	36	48
14. <i>Eriophyes crataegi</i> (Canestrini, 1890)	4	2	2	1	1	8	8
15. <i>Eriophyes distinguendus</i> (Kieffer, 1902)	4	4	6	1	1	16	24
16. <i>Eriophyes exilis</i> (Nalepa, 1892)	3	9	12	3	3	81	108
17. <i>Eriophyes leiosoma</i> (Nalepa, 1892)	3	27	18	3	3	243	162
18. <i>Eriophyes nervalis</i> (Nalepa, 1918)	3	27	6	3	3	243	54

Окончание табл. 3

Вид	Физиологическая вредоносность (балл)	Экологическая вредоносность (балл)		Регулярность вспышек массового размножения (балл)		Общая вредоносность (балл)	
		зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
19. <i>Eriophyes prunianus</i> (Nalepa, 1926)	3	4	6	1	1	12	18
20. <i>Eriophyes diversipunctatus</i> (Nalepa, 1890)	3	6	18	3	3	54	162
21. <i>Eriophyes tiliae</i> (Pagenstecher, 1857)	3	18	18	3	3	162	162
22. <i>Eriophyes convolvens</i> (Nalepa, 1889)	2,5	3	2	2	2	15	10
23. <i>Eriophyes leionotus</i> (Nalepa, 1891)	4	9	18	3	3	108	216
24. <i>Eriophyes similis</i> (Nalepa, 1890)	4	6	9	2	2	48	72
25. <i>Eriophyes sorbi</i> (Canestrini, 1890)	3	6	9	2	2	36	54
26. <i>Phyllocoptes goniothorax</i> (Nalepa, 1889)	3	2	2	1	1	6	6
27. <i>Phyllocoptes populi</i> (Nalepa, 1894)	2,5	2	0	1	0	5	0
28. <i>Phyllocoptes sorbeus</i> (Nalepa, 1926)	3	8	18	3	3	72	162
29. <i>Phytoptus avellanae</i> (Nalepa, 1889)	4,5	1	1,5	1	1	4,5	6,75
30. <i>Phytoptus tetratrichus</i> (Nalepa, 1890)	3	9	12	3	3	81	108
31. <i>Stenacis euonymi</i> (Frauenfeld, 1865)	2,5	6	4	1	1	15	10
32. <i>Vasates quadripedes</i> (Shimer, 1869)	4,5	18	0	2	0	162	0

Таблица 4. Видовой состав и физиологическая вредоспособность тератформирующих насекомых в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Растения-хозяева	Тип питания	Период вредоносности (сутки)	Период вредоносности (балл)	Физиологическая вредоспособность (балл)
1. <i>Contarinia tiliarum</i> (Kieffer, 1890)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	1	100	5	5
2. <i>Dasineura aceris</i> (Shimer, 1868)	<i>Acer saccharinum</i> L.	0,5	120	6	3
3. <i>Dasineura irregularis</i> (Bremi, 1847)	<i>Acer tataricum</i> L.	0,5	80	4	2
4. <i>Dasineura sibirica</i> (Marikovskij, 1962)	<i>Caragana arborescens</i> Lam.	0,5	100	5	2,5
5. <i>Dasineura tiliae</i> (Schrank, 1803)	<i>Tilia cordata</i> Mill., <i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	0,5	120	6	3
6. <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	<i>Quercus robur</i> L.	0,5	120	6	3
7. <i>Macrodiplosis roboris</i> (Hardy, 1854)	<i>Quercus robur</i> L.	0,5	120	6	3
8. <i>Andricus foecundatrix</i> (Hartig, 1840)	<i>Quercus robur</i> L.	1	140	7	7
9. <i>Cynips agama</i> (Hartig, 1840)	<i>Quercus robur</i> L.	0,5	80	4	2
10. <i>Cynips quercusfolii</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Quercus robur</i> L.	0,5	100	5	2,5
11. <i>Euura oblita</i> (Audinet-Serville, 1823)	<i>Salix fragilis</i> L.	0,5	120	6	3
12. <i>Euura proxima</i> (Serville, 1823)	<i>Salix fragilis</i> L.	0,5	120	6	3
13. <i>Euura testaceipes</i> (Brischke, 1883)	<i>Salix fragilis</i> L.	1	120	6	6
14. <i>Euura vesicator</i> (Bremi, 1849)	<i>Salix purpurea</i> L.	0,5	120	6	3
15. <i>Euura virilis</i> (Zirngiebl, 1955)	<i>Salix purpurea</i> L.	0,5	120	6	3
16. <i>Euura acutifoliae</i> (Zinovjev, 1985)	<i>Salix acutifolia</i> Willd.	0,5	100	5	2,5
17. <i>Retinia resinella</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1	360	36	36
18. <i>Rhyacionia buoliana</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	<i>Pinus sylvestris</i> L.	1	360	36	36
19. <i>Cacopsylla crataegi</i> (Schrank, 1801)	<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	0,5	120	6	3
20. <i>Cacopsylla ulmi</i> (Foerster, 1848)	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	0,5	140	7	3,5
21. <i>Psyllopsis discrepans</i> (Flor, 1861)	<i>Fraxinus excelsior</i> L.	0,5	120	6	3
22. <i>Trioza remota</i> (Foerster, 1848)	<i>Quercus robur</i> L.	0,5	120	6	3
23. <i>Saperda populnea</i> (Linnaeus, 1758)	<i>Populus</i> spp., <i>Salix</i> spp.	1	360	18	18

Группу тератформирующих форм с высоким уровнем общей вредоносности (более 100 баллов) формируют массовые виды и формы, обуславливающие у растений стойкое, долговременное снижение декоративности. В группу форм с низким (менее 50 баллов) уровнем общей вредоносности входят относительно редкие в условиях рекреационных лесов и зеленых насаждений виды эриофиоидных клещей, развивающиеся на малораспространенных либо малоценных в аспекте декоративности древесных растениях. Наблюдаемые различия наборов значений показателя общей вредоносности для рекреационных лесов и собственно декоративных зеленых насаждений тем не менее не были статистически значимыми ($p = 0,85$ и $p = 0,54$ для расчетных значений критерия знаков и критерия Манна – Уитни).

Видовой состав тератформирующих насекомых, для которых была осуществлена оценка параметров и показателей вредоносности, представлен в табл. 4.

Среди тератформирующих насекомых, указанных в табл. 4, присутствуют 7 видов из семейства комаров-галлиц (*Cecidomyiidae*) отряда двукрылых (*Diptera*), 3 вида из орехотворок (*Cynipidae*), 6 видов настоящих пилильщиков (*Tenthredinidae*) из отряда перепончатокрылых (*Hymenoptera*), 2 вида листоверток (*Tortricidae*) из отряда чешуекрылых (*Lepidoptera*), 4 вида листоблошек (*Psylloidea*) из отряда полужесткокрылых (*Hemiptera*) и 1 вид усачей (*Cerambycidae*) из отряда жесткокрылых (*Coleoptera*) насекомых.

Пять видов формируют тераты на осевых органах и в силу этого отнесены к числу камбийповреждающих фитофагов. В частности, галлы личинок пилильщика *E. testaceipes* располагаются как на растущих побегах, так и на черешках листьев гладколистных ив, прежде всего ивы ломкой (*S. fragilis*). Личинки жука-усача (*S. populnea*) развиваются в псевдогаллах на ветвях ив и тополей. Галлы шишковидной орехотворки (*A. foecundatrix*) размещаются на вершинах побегов.

Хвойным породам, а именно сосне, вредят гусеницы листоверток (*Tortricidae*) *R. resinella* и *Rh. buoliana*, характеризующиеся максимальными значениями параметра физиологической вредоспособности (36 баллов). Минимальны значения данного показателя для галлицы *D. irregularis* (2 балла), галлы которой регистрируются на клене татарском во второй половине лета, и для орехотворки *C. agama* – в силу особенностей биологического цикла вида.

Расчеты значений показателя экологической вредоносности (вредоносности в аспекте потери декоративности) выполнены на основе оценок параметров специфики и локализации повреждений, распространенности (встречаемости) самих фитофагов и повреждаемых ими декоративных древесных растений в рекреационных лесах, а также зеленых насаждений населенных пунктов, расположенных в границах Национального парка «Нарочанский» (табл. 5).

Для рекреационных лесов значения показателя экологической вредоносности варьировали от 1 балла для редкого в этих условиях *E. testaceipes* до 27 баллов для дубовых галлиц *M. pustularis* и *M. roboris*, а также дубовой листоблошки *T. remota*, массовых на обычных здесь дубах. Группу тератформирующих насекомых с высоким (более 20 баллов) уровнем вредоносности сформировали вышеупомянутые фитофаги дуба, обуславливающие у растений стойкое долговременное снижение декоративности. В группу с промежуточным (от 5 до 20 баллов) уровнем экологической вредоносности вошло 6 видов фитофагов. К группе форм с низким (менее 5 баллов) уровнем вредоносности отнесено 11 видов, редких в условиях рекреационных лесов, развивающихся большей частью на малораспространенных и (или) малоценных для зеленого строительства древесных растениях. Отсутствие в рекреационных лесах растений-хозяев ряда видов тератформирующих насекомых (*D. irregularis* и *D. aceris*) либо регистраций самого галлообразователя (*C. tiliarum*) обусловило формально нулевые оценки их экологической вредоносности.

Для зеленых насаждений населенных пунктов значения показателя находились в диапазоне от 2 баллов для редкой здесь орехотворки *A. foecundatrix*, развивающейся на редких насаждениях дуба, до 27 баллов пилильщика *E. proxima* – для массового вредителя обычных в насаждениях гладколистных ив. В группу видов с промежуточным уровнем вредоносности вошло 12 представителей данной эколого-систематической группы насекомых. К группе форм с низким (менее 5 баллов) уровнем вредоносности отнесено 10 видов, тогда как с высоким (более 20 баллов) – вышеуказанный пилильщик.

Наблюдаемые существенные различия наборов значений показателя для рекреационных лесов и собственно декоративных зеленых насаждений тем не менее не были статистически значимыми ($p = 0,48$ и $p = 0,26$ для расчетных значений критерия знаков и критерия Манна – Уитни соответственно).

Таблица 5. Экологическая вредоносность тератформирующих насекомых в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Характер повреждений (балл)	Локализация (балл)	Ценность древесных растений (балл)		Распространенность фитофага (балл)		Экологическая вредоносность (балл)	
			зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
1. <i>Contarinia tiliarum</i> (Kieffer, 1890)	3	0,5	3	2	1	0	4,5	0
2. <i>Dasineura aceris</i> (Shimer, 1868)	2	1	2	0	1	0	4	0
3. <i>Dasineura irregularis</i> (Bremi, 1847)	3	1	2	0	1	0	6	0
4. <i>Dasineura sibirica</i> (Marikovskij, 1962)	3	0,5	2	2	1	1	3	3
5. <i>Dasineura tiliae</i> (Schrank, 1803)	1	1	3	2	3	3	9	6
6. <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	3	1	2	3	2	3	12	27
7. <i>Macrodiplosis roboris</i> (Hardy, 1854)	3	1	2	3	2	3	12	27
8. <i>Andricus foecundatrix</i> (Hartig, 1840)	1	0,5	2	3	2	3	2	4,5
9. <i>Cynips agama</i> (Hartig, 1840)	3	1	2	3	1	1	6	9
10. <i>Cynips quecusfolii</i> (Linnaeus, 1758)	3	1	2	2	2	3	12	18
11. <i>Euura oblita</i> (Audinet-Serville, 1823)	1	1	3	1	3	2	9	2
12. <i>Euura proxima</i> (Serville, 1823)	3	1	3	1	3	3	27	9
13. <i>Euura testaceipes</i> (Brischke, 1883)	2	0,5	3	1	1	1	3	1
14. <i>Euura vesicator</i> (Bremi, 1849)	3	1	2	1	2	1	12	3
15. <i>Euura virilis</i> (Zimigiebl, 1955)	3	1	2	1	1	1	6	3
16. <i>Euura acutifoliae</i> (Zinovjev, 1985)	3	1	2	1	1	1	6	3
17. <i>Retinia resinella</i> (Linnaeus, 1758)	1	0,5	3	3	3	3	4,5	4,5

Окончание табл. 5

Вид	Характер повреждений (балл)	Локализация (балл)	Ценность древесных растений (балл)		Распространенность фитофага (балл)		Экологическая вредоносность (балл)	
			зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
18. <i>Rhyacionia buoliana</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	3	0,5	3	3	3	3	13,5	13,5
19. <i>Cacopsylla crataegi</i> (Schrank, 1801)	2	1	2	2	1	1	4	4
20. <i>Cacopsylla ulmi</i> (Foerster, 1848)	1	0,5	2	2	3	2	3	2
21. <i>Psyllopsis discrepans</i> (Flor, 1861)	3	0,5	2	2	1	1	3	3
22. <i>Trioxa remota</i> (Foerster, 1848)	3	1	2	3	2	3	12	27
23. <i>Saperda populnea</i> (Linnaeus, 1758)	1	1	2	2	2	3	4	6

Таблица 6. Общая вредоносность тератформирующих насекомых в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов Национального парка «Нарочанский»

Вид	Физиологическая вредоспособность (балл)	Экологическая вредоносность (балл)			Регулярность всплеск массового размножения (балл)			Общая вредоносность (балл)		
		зеленые насаждения	рекреационные леса	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	рекреационные леса
1. <i>Contarinia tiliarum</i> (Kieffer, 1890)	5	4,5	0	0	3	3	3	67,5	0	0
2. <i>Dasineura aceris</i> (Shimer, 1868)	3	4	0	0	3	3	3	36	0	0
3. <i>Dasineura irregularis</i> (Bremi, 1847)	2	6	0	0	3	3	3	36	0	0
4. <i>Dasineura sibirica</i> (Marikovskij, 1962)	2,5	3	3	3	1	1	1	7,5	7,5	7,5
5. <i>Dasineura tiliae</i> (Schrank, 1803)	3	9	6	6	1	1	1	27	18	18
6. <i>Macrodiplosis pustularis</i> (Bremi, 1847)	3	12	27	27	3	3	3	108	243	243
7. <i>Macrodiplosis roboris</i> (Hardy, 1854)	3	12	27	27	3	3	3	108	243	243

Окончание табл. 6

Вид	Физиологическая вредоспособность (балл)	Экологическая вредоносность (балл)		Регулярность выпышек массового размножения		Общая вредоносность (балл)	
		зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса	зеленые насаждения	рекреационные леса
8. <i>Andricus foecundatrix</i> (Hartig, 1840)	7	2	4,5	1	1	14	31,5
9. <i>Cynips agana</i> (Hartig, 1840)	2	6	9	2	2	24	36
10. <i>Cynips quercusfolii</i> (Linnaeus), 1758	2,5	12	18	2	2	60	90
11. <i>Euura oblita</i> (Audinet-Serville, 1823)	3	9	2	1	1	27	6
12. <i>Euura proxima</i> (Serville, 1823)	3	27	9	2	2	162	54
13. <i>Euura testaceipes</i> (Brischke, 1883)	6	3	1	1	1	18	6
14. <i>Euura vesicator</i> (Bremi, 1849)	3	12	3	2	2	72	18
15. <i>Euura virilis</i> (Zirngiebl, 1955)	3	6	3	2	2	36	18
16. <i>Euura acutifoliae</i> (Zinovjev, 1985)	2,5	6	3	2	2	30	15
17. <i>Retinia resinella</i> (Linnaeus, 1758)	36	4,5	4,5	2	2	324	324
18. <i>Rhyacionia buoliana</i> (Denis & Schiffermüller, 1775)	36	13,5	13,5	2	2	972	972
19. <i>Cacopsylla crataegi</i> (Schränk, 1801)	3	4	4	1	1	12	12
20. <i>Cacopsylla ulmi</i> (Foerster, 1848)	3,5	3	2	3	3	31,5	21
21. <i>Psyllopsis discrepans</i> (Flor, 1861)	3	3	3	2	2	18	18
22. <i>Trioza remota</i> (Foerster, 1848)	3	12	27	1	1	36	81
23. <i>Saperda populnea</i> (Linnaeus, 1758)	18	4	6	1	1	72	108

Расчеты значений показателя общей вредоносности осуществлены для рекреационных лесов и зеленых насаждений населенных пунктов, расположенных в границах Национального парка (табл. 6).

Для рекреационных лесов значения показателя общей вредоносности варьировали от 6 баллов у двух видов рода *Euura* Newman до 972 баллов для побеговыюна *Rh. buoliana*. Группу тератформирующих форм с высоким уровнем общей вредоносности (более 100 баллов) формируют массовые виды и формы, обуславливающие у растений стойкое, долговременное снижение декоративности. Среди 5 видов этой группы экстремально высокое значение показателя общей вредоносности побеговыюна вполне объяснимо с учетом повсеместно высокой распространенности в рекреационных лесах повреждаемых этим фитофагом молодых сосен, а также круглогодичного присутствия на растениях хорошо заметных стороннему наблюдателю терат. В группу форм с низким (менее 50 баллов) уровнем общей вредоносности вошло 12 видов тератформирующих насекомых. Группа тератформирующих насекомых с промежуточным (от 50 до 100 баллов) уровнем общей вредоносности включает лишь 3 вида фитофагов. Нулевые значения показателя выставлены для 3 видов с аналогичными значениями экологической вредоносности.

Для зеленых насаждений населенных пунктов значения показателя общей вредоносности варьировали от 7,5 баллов для галлицы *D. sibirica* до 972 баллов для побеговыюна *Rh. buoliana*. Группу тератформирующих форм с высоким уровнем общей вредоносности (более 100 баллов) формируют массовые и (или) обуславливающие у растений стойкое долговременное снижение декоративности виды (их 5). В группу форм с низким (менее 50 баллов) уровнем общей вредоносности вошло 14 видов тератформирующих насекомых. Группа тератформирующих насекомых с промежуточным (от 50 до 100 баллов) уровнем общей вредоносности включает лишь 4 вида фитофагов.

Наблюдаемые различия наборов значений показателя общей вредоносности для рекреационных лесов и собственно декоративных зеленых насаждений не были статистически значимыми ($p = 0,48$ и $p = 0,09$ для расчетных значений критерия знаков и критерия Манна – Уитни соответственно).

Заключение. По результатам исследований биологии, экологии, распространения и вредоносности тератформирующих фитофагов декоративных древесных растений в условиях Национального парка «Нарочанский» даны количественные оценки их физиологической вредоносности, экологической вредоносности (хозяйственной вредоносности, вредоносности в аспекте снижения декоративности) и общей вредоносности в рекреационных лесах и зеленых насаждениях населенных пунктов для 55 видов тератформирующих членистоногих, в числе которых 32 вида эриофиоидных клещей (Acariformes: Eriophyoidea), 4 вида псиллид, или листоблошек (Psylloidea), из отряда полужесткокрылых (Hemiptera), 1 вид усачей (Cerambycidae) из отряда жесткокрылых (Coleoptera), 2 вида листоверток (Tortricidae) из отряда чешуекрылых (Lepidoptera), 7 видов из семейства комаров-галлиц (Cecidomyiidae) отряда двукрылых (Diptera), 3 вида из орехотворок (Cynipidae) и 6 видов настоящих пилильщиков (Tenthredinidae) из отряда перепончатокрылых (Hymenoptera) насекомых. Расчетные значения показателя физиологической вредоносности тератформирующих насекомых и клещей для условий региона исследований находились в диапазоне от 1 до 36 баллов. Экстремально высокими значениями данного показателя характеризовались тератформирующие листовертки *Retinia resinella* и *Rhyacionia buoliana*. Значения показателя экологической вредоносности (вредоносности в аспекте потери декоративности) находились в диапазоне от 1,5 до 27 баллов для эриофиоидных клещей и от 1 до 27 баллов для тератформирующих насекомых в условиях рекреационных лесов, тогда как для зеленых насаждений населенных пунктов они составляли от 1 до 27 баллов для эриофиоидных клещей и от 2 до 27 баллов для тератформирующих насекомых.

Группа тератформирующих членистоногих с низким (менее 5 баллов) уровнем экологической вредоносности включала в зеленых насаждениях и рекреационных лесах по 19 видов,

группа с промежуточным (от 5 до 20 баллов) уровнем – 31 и 24, высоким (более 20 баллов) уровнем – 5 и 5 видов соответственно. Отсутствие в рекреационных лесах растений-хозяев ряда видов эриофиоидных клещей и комаров-галлиц обусловило формально нулевые оценки как экологической, так и общей вредоносности. Группа тератформирующих членистоногих с низким (менее 50 баллов) уровнем общей вредоносности включает в зеленых насаждениях 31 вид, в рекреационных лесах – 24 вида, группа с промежуточным (от 50 до 100 баллов) уровнем – 8 и 7, высоким (более 100 баллов) уровнем – 16 и 17 видов соответственно. Отмеченные различия уровней экологической и общей вредоносности тератформирующих членистоногих в условиях рекреационных лесов и зеленых насаждений населенных пунктов не являются статистически значимыми ($p > 0,05$).

Список литературы

1. Национальный парк «Нарочанский». URL: <https://narochpark.by> (дата обращения: 19.10.2025).
2. Сидорович Е. А., Шкутко Н. В., Чаховский А. И. Ассортимент деревьев и кустарников для зеленого строительства Белорусской ССР и рекомендации по выращиванию посадочного материала. Минск: Наука и техника, 1982. 74 с.
3. Сидорович Е. А. Ассортимент декоративных деревьев и кустарников для зеленого строительства Беларуси. Минск: Тэхналогія, 1997. 63 с.
4. Петров Д. Л., Буга С. В. Комплексная оценка уровня вредоносности тератформирующих тлей в декоративных древесных насаждениях // Защита растений: сб. науч. тр. 2008. Вып. 32. С. 305–315.
5. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников европейской части СССР. Л.: Гослестехиздат, 1951. 580 с.
6. Гусев В. И. Определитель повреждений деревьев и кустарников, применяемых в зеленом строительстве. М.: Агропромиздат, 1989. 208 с.
7. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi // Bladmineerders. URL: <https://bladmineerders.nl/> (дата обращения: 17.10.2025).
8. Atlas of forest pests // Forestpests. URL: <https://www.forestpests.eu/> (дата обращения: 17.10.2025).
9. Куликова Е. Г. Оценка вредоносности кокцид // Защита растений. 1987. № 10. С. 27–28.
10. Петров Д. Л. Комплексная оценка вредоспособности и вредоносности тератформирующих тлей-дендробионтов в декоративных зеленых насаждениях Беларуси: текущая ситуация и ее изменение с 2007 г. // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2019. № 2. С. 34–41.
11. Сауткин Ф. В., Евдошенко С. И., Буга С. В. Опыт оценки уровня вредоносности минеров-филлобионтов – вредителей декоративных кустарников в зеленых насаждениях Беларуси // Защита растений. 2012. Вып. 36. С. 198–210.
12. Сауткин Ф. В., Синчук О. В. Оценка уровня вредоносности *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) – вредителя робинии обыкновенной (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) в условиях зеленых насаждений разных районов интродукции растений в Беларуси // Труды Белорусского государственного университета. Физиологические, биохимические и молекулярные основы функционирования биосистем. 2014. Т. 9, ч. 2. С. 110–115.
13. Гляковская Е. И. Количественная оценка вредоносности инвазивных фитофагов разных трофоэкологических групп, повреждающих декоративные древесные растения в условиях Гродненского Полесья // Журнал Белорусского государственного университета. Биология. 2018. № 3. С. 38–47.

14. Жоров Д. Г., Гляковская Е. И., Буга С. В. Оценка показателей вредоносности инвазивных видов гемиптероидных насекомых в декоративных насаждениях разных дендролого-интродукционных районов Беларуси // Защита растений. 2019. Вып. 43. С. 257–266.

15. PAST 4.16. Manual // Naturhistorisk museum. Universitetet of Oslo. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (дата обращения: 25.10.2024).

References

1. Narochansky National Park. Available at: <https://narochpark.by> (accessed 19.10.2025) (In Russian).

2. Sidorovich E. A., Shkutko N. V., Chakhovskiy A. I. *Assortiment derev'yev i kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva Belorusskoy SSR i rekomendatsii po vyrashchivaniyu posadochnogo materiala* [A selection of trees and shrubs for landscaping in the Belorussian SSR and recommendations for growing planting material]. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1982. 74 p. (In Russian).

3. Sidorovich E. A. *Assortiment dekorativnykh derev'yev i kustarnikov dlya zelenogo stroitel'stva Belarusi* [An assortment of ornamental trees and shrubs for the green construction of Belarus]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 1997. 63 p. (In Russian).

4. Petrov D. L., Buga S. V. Comprehensive assessment of the pestfulness level of gall-forming aphids in decorative green stands. *Zashchita rasteniy: sbornik nauchnykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers], 2008, vol. 32, pp. 305–315 (In Russian).

5. Gusev V. I. *Opredelitel' povrezhdeniy lesnykh i dekorativnykh derev'yev i kustarnikov evropeyskoy chasti SSSR* [Key of pests of forest and ornamental trees and shrubs of the European part of the USSR]. Leningrad, Goslestekhzizdat Publ., 1951. 580 p. (In Russian).

6. Gusev V. I. *Opredelitel' povrezhdeniy derev'yev i kustarnikov, primenyayemykh v zelenom stroitel'stve* [Key of pests to trees and shrubs used in green stands]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1989. 208 p. (In Russian).

7. Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi. Available at: <https://bladmineerders.nl/> (accessed 17.10.2025).

8. Atlas of forest pests. Available at: <https://www.forestpests.eu/> (accessed 17.10.2025).

9. Kulikova E. G. Assessment of the harmfulness of coccids. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 1987, no. 10, pp. 27–28 (In Russian).

10. Petrov D. L. Comprehensive assessment of the harmfulness and pestfulness of gall-forming dendrobiont aphids in decorative green stands of Belarus: the current situation and its changes since 2007. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology], 2019, no. 2, pp. 34–41 (In Russian).

11. Sautkin F. V., Evdoshenko S. I., Buga S. V. Practice of assessing the level of pestfulness of phyllobiont miners – pests of ornamental shrubs in green spaces in Belarus. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 2012, vol. 36, pp. 198–210 (In Russian).

12. Sautkin F. V., Sinchuk A. V. Assessment of the pestfulness level of invasive leaf-miner *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) – pest of black locust (*Robinia pseudoacacia* L., 1753) in green stands of various areas of plants introduction in Belarus. *Trudy Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Fiziologicheskiye, biokhimicheskiye i molekulyarnyye osnovy funktsionirovaniya biosistem* [Proceedings of the Belarusian State University. Physiological, biochemical and molecular basics of biological systems functioning], 2014, vol. 9, part. 2, pp. 110–115 (In Russian).

13. Hliakouskaya K. I. Comprehensive assessment of pestfulness of invasive phytophages from different tropho-ecological groups which damage decorative woody plants under the conditions in Grodno Poneman region. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Journal of the Belarusian State University. Biology], 2018, no. 3, pp. 38–47 (In Russian).

14. Zhorov D. G., Hliakouskaya K. I., Buga S. V. Assessment of pestfulness indices of invasive hemipteroid insect species in decorative stands in different introduction-dendrological areas of Belarus. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 2019, vol. 43, pp. 257–266 (In Russian).

15. PAST 4.16. Manual. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 24.10.2024).

Информация об авторах

Яковчик Федор Геннадиевич – аспирант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: Yakovchi@bsu.by. SPIN-код: 7688-7841. ORCID: 0000-0002-3993-6469. ResearcherID: PHF-2840-2026.

Буга Сергей Владимирович – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sergey.buga@gmail.com. SPIN-код: 4273-4813. Scopus ID: 37760941200. ORCID: 0000-0002-1140-9042. ResearcherID: AAE-5280-2019.

Information about the authors

Yakouchyk Fedar – PhD student, the Department of Zoology. Belarusian State University (4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Yakovchi@bsu.by. SPIN code: 7688-7841. ORCID: 0000-0002-3993-6469. ResearcherID: PHF-2840-2026.

Buga Sergey – DSc (Biology), Professor, Head of the Department of Zoology. Belarusian State University (4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sergey.buga@gmail.com. SPIN code: 4273-4813. Scopus ID: 37760941200. ORCID: 0000-0002-1140-9042. ResearcherID: AAE-5280-2019.

Поступила 15.11.2025

ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

TOURISM AND FOREST HUNTING

УДК 39.111.11.06(047.31)

Д. А. Подошвелев, А. М. Митренков, А. В. Гуринович
Белорусский государственный технологический университет

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПЛОДОВИТОСТИ САМОК ВИДОВ СЕМЕЙСТВА ОЛЕНЬИХ ПО АНАЛИЗУ РЕПРОДУКТИВНЫХ ОРГАНОВ

Объектом исследования являются репродуктивные органы самок оленей и, в частности, их яичники на предмет наличия первичных желтых тел и (или) рубцов желтых тел, позволяющих судить о потенциальной или фактической рождаемости в популяциях. Целью работы являлась разработка методики определения плодовитости самок видов семейства оленей по анализу репродуктивных органов, которая могла бы применяться пользователями охотничьих угодий для контроля продуктивности популяций. В процессе работы проводился анализ теоретических основ, научных исследований и существующих практик по определению плодовитости самок оленей, а также исследован эмпирический материал – яичники самок оленей (лося, оленя и косули), собранных в некоторых охотничьих хозяйствах лесхозов Республики Беларусь. В результате исследования была разработана методика определения плодовитости самок видов семейства оленей по анализу репродуктивных органов, которая должна стать одним из вспомогательных механизмов в системе планирования изъятия животных семейства оленей. Согласно проведенным исследованиям, наличие первичных желтых тел в яичниках самок говорит об их потенциальной плодовитости в данной популяции. Если показатель составляет 80% и выше, то потенциальная плодовитость высокая, 70–80% – средняя, ниже 60% – низкая. Следует учитывать, что потенциальная плодовитость самок указывает только на их физиологическую готовность к спариванию, но практически всегда будет меньше, особенно в условиях недостаточности самцов. В нормальных условиях самки должны обладать высокой потенциальной плодовитостью, поэтому низкая и даже средняя плодовитость может свидетельствовать об излишней экологической плотности популяции (она переуплотнена) и требовании ее снижения. Доля самок старше 2,5 лет, у которых яичники имели рубцы желтого тела, говорит о фактически реализованной за предыдущий сезон размножения плодовитости самок. Низкая (менее 80%) численность самок старше 2,5 лет, имеющих рубцы желтого тела, указывает на переуплотнение популяции и недостаточное количество самцов для оплодотворения. Следует учитывать, что фактическая рождаемость будет всегда меньше, чем процент овуляции.

Ключевые слова: плодовитость самок оленей, рождаемость, скорость роста популяции, популяционная продуктивность, яйцеклетка, желтое тело, рубец желтого тела.

Для цитирования: Подошвелев Д. А., Митренков А. М., Гуринович А. В. Определение плодовитости самок видов семейства оленей по анализу репродуктивных органов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 69–79. DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-6.

D. A. Podoshvelev, A. M. Mitrenkov, A. V. Gurinovich
Belarusian State Technological University

DETERMINATION OF FEMALE FERTILITY OF DEER FAMILY SPECIES BY ANALYSIS OF REPRODUCTIVE ORGANS

The object of this study is the reproductive organs of female deer, specifically their ovaries, for the presence of primary corpora lutea and/or corpora lutea scars, which allow for assessment of potential or actual fertility in populations. The aim of the study was to develop a methodology for determining the

fertility of female deer species by analyzing their reproductive organs. This methodology could be used by hunting grounds managers to monitor population productivity. This study included an analysis of the theoretical foundations, scientific research, and existing practices for determining the fertility of female deer. Empirical material was also examined – the ovaries of female deer (elk, red deer, and roe deer) collected from several hunting grounds of forestry enterprises in the Republic of Belarus. The study resulted in the development of a method for determining the fertility of female cervids based on reproductive organ analysis. This method is intended to serve as an auxiliary tool in planning the culling of cervids. According to the studies, the proportion of females with ovaries containing primary corpora lutea indicates the potential fertility of females in a given population, ensuring the birth rate. A rate of 80% or higher indicates high potential fertility, 70 to 80% indicates average fertility, and below 60% indicates low fertility. It should be noted that the potential fertility of females only reflects their physiological readiness for mating and will almost always be lower, especially in conditions of male shortage. Under normal conditions, females should have high potential fertility, so low or even average potential fertility may indicate that the population is characterized by excessive ecological density (overcrowding) and requires a reduction in density. The proportion of females over 2.5 years of age with corpus luteum scars on their ovaries indicates the actual fertility of the females during the previous breeding season. A low percentage (less than 80%) of females over 2.5 years of age with corpus luteum scars may indicate either overpopulation or an insufficient number of males in the population to fertilize all females. It should be noted that the actual fertility rate will always be lower than the ovulation rate.

Keywords: fertility of female deer, birth rate, population growth rate, population productivity, egg cell, corpus luteum, corpus luteum scar.

For citation: Podoshvelev D. A., Mitrenkov A. M., Gurinovich A. V. Determination of female fertility of deer family species by analysis of reproductive organs. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 69–79 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-6.

Введение. Система планирования размера изъятия охотничьих животных семейства оленьих должна быть основана на целеполагании, которое учитывает целый ряд факторов – как биологические свойства и возможности популяций животных, так и потребности и организационно-технические возможности человека. Биологически обоснованная возможность изъятия из популяций животных в виде охоты обусловлена способностью популяции численно расти и компенсировать размножением текущую смертность животных. Чем выше скорость роста или продуктивность популяции, тем больший процент животных можно изымать в виде охоты без ущерба для воспроизводственного поголовья.

Скорость роста популяций диких животных обусловлена разницей между популяционной рождаемостью и смертностью. Когда рождаемость превышает смертность, популяция растет, когда смертность превышает рождаемость, популяция уменьшается, и когда рождаемость равна смертности, скорость роста популяции равна нулю.

Продуктивность популяции может быть определена как скорость, с которой воспроизводственное поголовье порождает изымаемый урожай или дополнительное воспроизводственное поголовье [1].

Если популяция не эксплуатируется (животные не изымаются посредством охоты), скорость ее роста по сути и цифровому значению равна ее продуктивности. Однако при эксплуатации популяции скорость ее роста за биологический год уменьшается на размер охотничьего изъятия. И тогда годовая скорость роста не тождественна продуктивности, поскольку продуктивность включает в себя как фактический годовой прирост популяции, так и размер изъятия в виде охоты, а скорость роста только фактический годовой прирост.

Если годовой прирост полностью изымается в виде охоты, скорость роста может быть равна нулю, и тогда продуктивность популяции обуславливается только размером изъятия в соотношении к размеру популяции прошлого года, и равна скорости роста популяции в случае, если бы изъятие в виде охоты не производилось.

Таким образом, при разных режимах использования скорость роста и продуктивность популяции могут отражать как один и тот же, так и разные параметры популяционной динамики.

Рождаемость является популяционным показателем, выражаемым как скорость, определяемая путем деления общего числа вновь появившихся особей на время (абсолютная, или общая рождаемость) либо как число вновь появившихся особей в единицу времени на одну особь популяции (удельная рождаемость) [2].

Для крупных животных уровень рождаемости обычно выражается в количестве сеголетков, приходящихся на 100 продуцирующих самок в год. Это позволяет сравнивать разные популяции [3].

Плодовитость самок (потенциальная) выражается в обусловленном генетически количестве потомства, которое одна самка способна воспроизвести в течение биологического года. Например, потенциальная плодовитость самок лося составляет до 2, изредка 3 детенышей, самок косули – до 4, самок оленя благородного, как правило, 1, изредка 2.

Оценки репродуктивного потенциала популяции обычно зависят от общей численности самок весной, включая тех, которые родились в прошлом году [4]. Продуктивность самок, в свою очередь, обусловлена присущей виду животного плодовитостью, а также фактическими в конкретных условиях возможностями участия в размножении половозрелых самок, зависящими от их физического состояния и наличия в популяции достаточного для обеспечения оплодотворения количества самцов. Возрастная структура также играет важную роль в репродуктивной функции самок, что подтверждено исследованиями в разных популяциях оленей [5].

Таким образом, потенциальная плодовитость самок является врожденным параметром, их продуктивность – фактически реализованной плодовитостью, т. е. параметром, присущим конкретным животным в определенных условиях, а рождаемость – популяционным параметром, суммой фактической продуктивности всех самок в популяции, принявших участие в размножении.

Популяционная смертность обусловлена всеми факторами, которые сокращают количество животных в популяции, включая изъятие животных в виде охоты.

Определение плодовитости самок может служить одним из вспомогательных механизмов, при помощи которого осуществляется контроль продуктивности популяции, и в частности – потенциальная и фактическая рождаемость.

Низкая продуктивность популяции может быть обусловлена как высокой смертностью (от причин, не связанных с легальной охотой и естественной возрастной смертностью животных), так и низким уровнем рождаемости, а также и тем и другим одновременно. Все факторы и степень их влияния, обуславливающие продуктивность конкретной популяции, невозможно ни учесть, ни рассчитать заранее, ни определить в натуре. Однако знание биологии и экологии вида позволяют предполагать возможные причины низкой продуктивности методом исключения отдельных обуславливающих рождаемость и смертность факторов, их регулирования и контроля за ними.

Популяционная смертность, не связанная с легальной охотой и естественными причинами, как правило, поддается контролю и регулированию. Если у пользователя охотничьих угодий есть уверенность, что факторы смертности, не связанные с легальной охотой и естественными причинами, находятся под достаточным контролем, а продуктивность популяции по-прежнему низкая, одной из опций для выяснения причин низкой популяционной продуктивности может быть контроль за потенциальной и фактической популяционной рождаемостью, обусловленной фактически реализованной плодовитостью (продуктивностью) самок.

Если популяция вида находится в диапазоне оптимальных условий и ресурсов, необходимых для существования животных, то все взрослые самки, находящиеся в возрасте гарантированного деторождения (зависящего от вида), а также часть молодых самок (в зависимости от вида и индивидуальной кондиции) способны к оплодотворению и принесению потомства. Фактически не все беременности заканчиваются успешно. Часть оплодотворенных яйцеклеток может рассасываться (резорбция плода), часть детенышей может

оказаться мертворожденными, однако в оптимальных условиях естественная рождаемость в популяции остается высокой, обеспечивающей «нормальную» для данной популяции и условий скорость роста (продуктивность).

Так, например, шведские ученые, осмотрев в 1989–1992 гг. матки 2764 лосих установили, что 1,3% самок становятся беременными уже в течение первого года жизни, 31,2% – на втором и 80,5% – на третьем. Способность к деторождению сохраняется до 15–17 лет [6].

Причинами низкой популяционной рождаемости чаще всего являются:

1) высокая экологическая плотность (переуплотнение популяции), которая приводит к тому, что на каждое животное в популяции приходится ограниченное количество необходимых пищевых и других ресурсов. В результате увеличивается стресс, меньшее количество самок имеет необходимые кондиции и вес тела для того, чтобы прийти в охоту и спариться с самцом, а также уменьшается количество созреваемых у самки яйцеклеток, в результате чего уменьшается количество детенышей, рождаемых в текущем году одной половозрелой самкой. Этот эффект называется эффектом зависимости популяционной динамики от плотности;

2) недостаточное количество взрослых репродуктивных самцов в популяции по причине их повышенной (по сравнению с самками) естественной смертностью, покидания молодыми самцами популяции и излишнего охотничьего изъятия их в предыдущие годы. Это приводит к следующему:

а) некоторым самкам не достается партнера для спаривания;

б) гон и спаривание происходят в растянутые сроки, в результате чего часть потомства рождается в более поздние сроки и оказывается более слабым. Такие животные чаще погибают. Кроме того, из-за недостатка взрослых самцов в спаривании участвуют слишком молодые особи. Это может приводить к рождению более слабого потомства, что в свою очередь влияет на успешность размножения в будущем.

Так, например, по свидетельству А. А. Данилкина, при нормальных условиях обитания яловость среди самок оленя благородного старше двух лет сравнительно небольшая – не более 8–25%. При высокой плотности населения (более 30 особей на 1000 га) и недостатке пищи этот показатель увеличивается до 35–70%. В местах интенсивной лицензионной и браконьерской охоты яловость самок высока (до 50%) даже при низкой плотности, что вызвано отсутствием или недостаточным количеством самцов. Потенциальная плодовитость вида – около 1 теленка на половозрелую самку [6].

Белорусские ученые В. Ф. Дунин и П. Г. Козло изучали неопромышляемую популяцию лося в Березинском заповеднике в течение длительного периода времени – полного цикла ее динамики «рост – относительная стабилизация – депрессия». Результаты исследования показали, что рождаемость на разных фазах развития популяции значительно различается.

В фазе роста численности популяции лося, когда экологическая плотность достаточно низкая и необходимых ресурсов хватает всем животным, воспроизводство и выживаемость молодняка оказались наиболее высокими. В размножении участвовало около 90% половозрелых самок, причем в среднем 55% (43–62%) имело по два эмбриона. На одну стельную лосиху приходилось 1,6 эмбриона. Выживаемость молодняка составила 72%.

В фазе относительной стабильности, когда необходимые ресурсы находятся в условном равновесии с численностью популяции (т. е. фактически на грани равновесия), в размножении участвовало только 77 половозрелых самок, яловость возрастала в 2,5 раза, по два эмбриона имело только 25 самок. В среднем на одну стельную самку приходилось 1,3 эмбриона, участились случаи резорбции эмбрионов. Существенно снизилась выживаемость молодняка, составившая около 60–65%.

В фазе депрессии, когда многим животным ресурсов не хватает, воспроизводство резко снизилось вследствие повышения яловости, снижения доли самок с двойнями, причем в этой фазе наблюдалась высокая амплитуда колебаний показателей этих параметров.

Вероятно, часть самок участвовала в размножении 1 раз в 2 года. В среднем на одну стельную самку приходилось 1,2 эмбриона. Выживаемость молодняка снизилась до 45–50%. В фазе депрессии по сравнению с фазой роста воспроизводство снизилось на 42% [7].

В угодьях, где плотность зверей невелика, чрезмерное сокращение числа самцов даже у животных-полигамов, среди которых самец оплодотворяет несколько самок, ведет к тому, что в период спаривания часть самок в этих условиях может просто не найти себе самцов и остаться яловой [8].

Известный российский ученый-охотовед Я. С. Русанов в своей книге «Охота и охрана фауны» приводит результаты исследования, проведенного в Польше Е. Дзидузким и опубликованного в 1969 г., согласно которому отстрел самцов косули, нарушивший соотношение полов, оказался вредным: при 4–6 самках на одного самца численность поголовья резко снижалась, а качество входящих в него особей ухудшалось. Средний вес взрослых косуль из популяции, где количество взрослых самцов было равно количеству взрослых самок, составлял 27 кг; вес таких животных из популяции, где на одного самца приходилось шесть самок, был всего 15 кг [9].

Таким образом, доля холостых самок в популяции, или наоборот, самок с приплодом может служить надежным признаком состояния популяции животных [10].

Основная часть. Одним из методов определения фактической плодовитости самок и рождаемости в популяции является анализ состояния яичников самок, добытых во время сезона охоты.

В основу метода положено макроскопическое (визуальное, без применения увеличительных приборов) обследование части репродуктивных органов (яичников) самок оленьих, находящихся в репродуктивном возрасте (старше 1 года) и добытых во время охотничьего сезона. Анализ яичников производится на наличие пигментированных пятен (желтых тел), свидетельствующих об овуляции, беременности и (или) рождении детенышей в предыдущий год. Отсутствие у самок репродуктивного возраста желтых тел говорит о проблемах с реализацией своего врожденного воспроизводственного потенциала (плодовитости). При обследовании достаточно большого количества яичников самок из одной популяции (достаточный размер выборки) можно посчитать процент взрослых самок, участвующих в воспроизводстве, который может служить показателем уровня потенциального и фактического воспроизводства (реализованной плодовитости) в популяции.

Для анализа плодовитости необходимы только яичники. Яичники наполнены фолликулами, из которых созревают яйцеклетки, способные к оплодотворению. Процесс вскрытия созревшего фолликула и выделения из него зрелой яйцеклетки называется овуляцией.

На месте овулировавшего фолликула в яичнике образуется углубление, которое заполняется кровью, а затем быстрорастущими клетками фолликулярного эпителия (зернистого слоя). Клетки растущего фолликулярного эпителия приобретают многоугольную форму и превращаются в лютеиновые клетки, которые откладывают пигмент – лютеин, имеющий чаще всего желтую или буро-красноватую, иногда светло-коричневую окраску. Эти клетки разрастаются и замещают кровяной сгусток и всю полость фолликула. Образовавшееся первичное желтое тело (лат. *corpus*, или *corpora luteum*), названное по его цвету, плотнее фолликула и, как правило, выступает грибовидно на поверхности яичника.

Желтое тело является железой внутренней секреции, оно выделяет гормон – прогестерон. Прогестерон препятствует росту новых зрелых фолликулов и их овуляции, вызывает подготовку слизистой оболочки матки к имплантации зародыша и развитию плаценты, способствует сохранению беременности и разрастанию тканей молочной железы.

Когда у самки наступает беременность, желтое тело сильно увеличивается, занимая большую часть паренхимы яичника, и функционирует на протяжении всей беременности. Такое образование называется также желтым телом беременности. В первой половине беременности желтое тело, как правило, достигает своего максимального развития. Оно остается до родов и затем, сразу же после родов регрессирует, начинает постепенно рассасываться, с

формированием в конечном итоге на его месте небольшого рубца желтого тела (лат. *corpus rubrum*), сохраняющего желтую окраску до нескольких лет. Таким образом, рубцы желтого тела свидетельствуют о том, что у самки прошлой весной был приплод.

Если же беременность не наступает, то постепенно желтое тело атрофируется, замещаясь соединительной тканью, его желтый цвет заменяется белым, вследствие чего оно уже называется беловатым телом (лат. *corpus albicans*), которое в дальнейшем рассасывается.

Отстрел самок оленьих происходит во время охотничьего сезона в период октября и ноября. У лося и оленя этот период наступает сразу после периода гона (конец августа – начало октября). У косули гон происходит с середины июля до середины августа, и у оплодотворенных самок происходит временная задержка с развитием плода.

Таким образом, в течение охотничьего сезона эмбрионы еще не развиты, и установить факт беременности по их наличию, как правило, практически невозможно. Только по наличию первичных желтых тел можно судить о потенциальной плодовитости в текущем году, а по наличию пигментированных рубцов желтых тел (лат. *corpus rubrum*) – о прошлой реализованной беременности около 6 месяцев тому назад.

Желтые тела сохраняются до конца диапаузы как у беременных, так и у неоплодотворенных особей в данном году [11, 12]. Однако следует отметить, что их количество не обязательно соответствует количеству эмбрионов [12, 13].

Плод при определенных условиях может рассосаться (резорбция), родиться мертвым или может произойти выкидыш. Однако факт наличия первичных желтых тел текущего года, по крайней мере, свидетельствует о том, что у самки достаточно хорошая кондиция, чтобы произошла овуляция яйцеклеток и она могла спариться с самцом для получения потомства.

Высокий процент самок, имеющих первичные желтые тела текущего года, позволяет исключить наличие факта переуплотнения популяции и недостатка кормовых и других необходимых ресурсов, при котором уменьшается количество самок, участвующих в воспроизводстве. Однако это не позволяет исключить возможного недостаточного количества самцов для оплодотворения всех самок в популяции, поскольку рассасывание желтых тел и деградация их до беловатых тел в случае не наступления беременности происходит в гораздо более поздние сроки, чем когда происходит отстрел самок в сезон охоты.

При помощи подсчета общего количества первичных желтых тел в парах яичников и соотношения их с количеством обследованных самок можно рассчитать процент овуляции самок в популяции в целом, а также отдельно по возрастным группам: годовалых (в возрасте 1,5 лет) и более старших самок. У лося и косули в оптимальных условиях часть годовалых самок приходит в охоту и участвует в размножении, в то время как у оленя благородного это происходит чрезвычайно редко. Поэтому у оленя имеет смысл учитывать только плодовитость самок более старшего возраста (от 2,5 лет и старше).

Как было сказано выше, процент овуляции самок и процент фактической беременности и рождаемости могут не совпадать, однако высока вероятность того, что между этими показателями существует высокая степень корреляции. Так, например, во время одного из исследований популяции лося в северо-восточной части канадской провинции Онтарио в период 1957–61 гг. были проанализированы пары яичников 210 взрослых самок. Первичные желтые тела в яичниках имели 35% годовалых и 86% более старших самок. Доля овуляции составляла 37% у годовалых самок и 127% у более старших (что говорит о том, что многие взрослые самки имели как минимум по два овулировавших яйца). Анализ пигментированных рубцов желтых тел беременности в тех же яичниках 6-месячной давности показал, что процент беременности составил 17% у годовалых и 113% у более старших самок. Таким образом, у годовалых самок только 46% овуляций завершились беременностями, в то время как у более старших почти 89% овуляций завершились беременностями и рождением потомства [14].

Исследование плодовитости самок косули было проведено в 2013 г. в Словении. В течение охотничьего сезона с 1 сентября по 31 декабря были собраны яичники 392 взрослых и 82 годовалых самок с территории 45 охотничьих участков. По наличию первичных желтых тел была определена потенциальная плодовитость самок, а по количеству желтых тел в каждом яичнике – потенциальный размер помета детенышей (рис. 1). Желтые тела были обнаружены у всех, кроме двух, взрослых самок, но только 15 годовалых самок были бесплодными, и все они были в плохой кондиции тела. Среднее количество желтых тел в яичниках взрослых самок было 1,84 и 1,20 – у годовалых. Масса тела строго влияла на потенциальный размер помета в обоих возрастных классах – все самки менее 10 кг не имели желтых тел, а все самки весом более 16 кг имели по два желтых тела. Исследование производилось в условиях высокой популяционной продуктивности косули в стране. Таким образом, наличие первичных желтых тел может служить индексом потенциальной плодовитости самок [15].



Рис. 1. Яичники самки косули:

а – по одному первичному желтому телу на двух яичниках, потенциальная плодовитость – 2 детеныша; *б* – на левом яичнике 3 желтых тела, на правом яичнике 1 желтое тело, потенциальная плодовитость – 4 детеныша

При помощи подсчета рубцов желтого тела можно определить плодовитость самок за прошлый год. Поскольку продуктивность популяции также рассчитывается по итогам за предыдущий год, то плодовитость самок может быть достаточно объективным показателем, объясняющим или исключаяющим возможную причину низкой продуктивности популяции.

К сожалению, представленный материал не позволил рассчитать плодовитость самок ни для одного вида оленей ни по одному из лесхозов, потому что для расчета показателя должна быть достаточно большая выборка образцов, которая бы могла отражать плодовитость самок всей популяции. Наилучшим вариантом является обследование всех 100% отстрелянных взрослых самок, при которых не было сеголетков (поскольку наличие сеголетков при самке фактически подтверждает, что самка участвовала ранее в воспроизводстве). Общее количество пар яичников должно быть по возможности не менее 30, в крайнем случае, не менее 20. Меньшее количество будет означать недостаточность выборки, поскольку единой жизнеспособной популяцией считается та, которая насчитывает как минимум 300–500 животных, из них взрослые самки составляют около 30–40% (минимум 100 животных) и отстрел самок равен примерно 10%, т. е. 30 животных. Поэтому если количество отстреливаемых взрослых самок меньше 20–30 особей, то данный вид анализа плодовитости не имеет смысла проводить.

Разработанная методика определения плодовитости самок видов семейства оленьи по анализу репродуктивных органов, и в частности обследование яичников на наличие первичных желтых тел, а также рубцов желтых тел, дает возможность пользователям охотничьих угодий в полевых условиях собирать необходимый для анализа материал и анализировать его без применения дополнительного оптического оборудования.

Определение плодовитости самок данным методом целесообразно в тех случаях, когда продуктивность популяции данного вида низкая или недостаточно высокая, и есть основания предполагать, что она обусловлена низким уровнем рождаемости.

Продуктивность популяции рассчитывается по формуле

$$P = \frac{(S_n - S_{n-1}) \cdot H_{n-1}}{S_{n-1}} \cdot 100\%,$$

где P – показатель продуктивности; S_n – численность животных в данном году; S_{n-1} – численность животных в предыдущем году; H_{n-1} – размер изъятия животных за предыдущий год.

При значениях продуктивности 10% и ниже популяции лося, оленя и косули следует считать низкопродуктивными, при 10–15% – недостаточно высокопродуктивными.

В основу метода положено макроскопическое (визуальное, без применения увеличительных приборов) обследование части репродуктивных органов (яичников) самок оленых, находящихся в репродуктивном возрасте (старше 1 года) и добытых во время охотничьего сезона.

Анализ яичников производится для выявления пигментированных пятен (желтых тел), свидетельствующих о наличии овуляции, беременности и (или) рождении детенышей в предыдущий год. Отсутствие у самок репродуктивного возраста желтых тел свидетельствует о проблемах с реализацией своего врожденного воспроизводственного потенциала (плодовитости).

Желтые тела, подлежащие подсчету, делятся на два вида:

- первичные желтые тела текущего периода спаривания, свидетельствующие о потенциальной беременности или, по крайней мере, наличии овуляции (созревании яйцеклетки), т. е. физиологической готовности самки принести потомство;
- рубцы желтого тела, указывающие на то, что самка имела потомство ранее, весной текущего года (рис. 2);

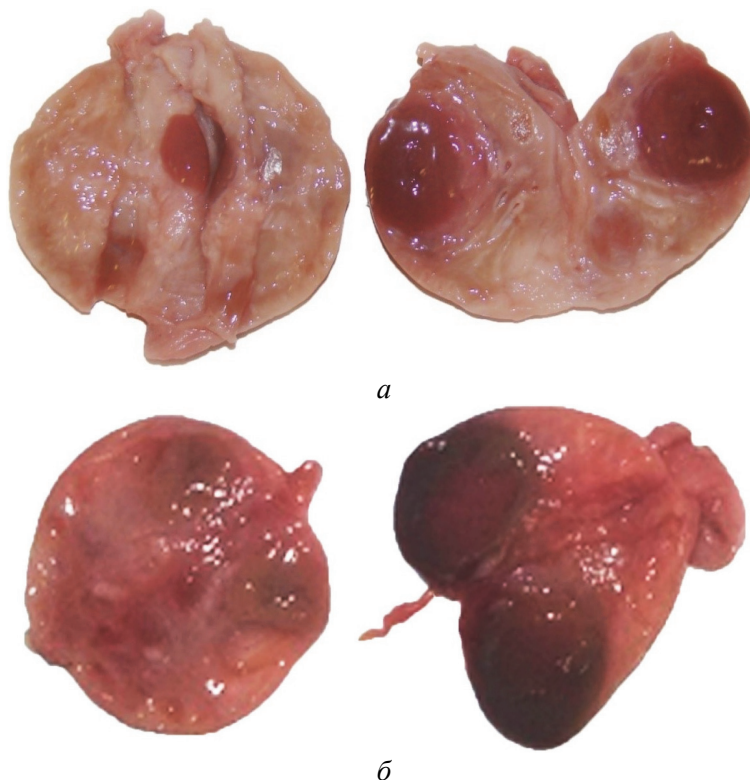


Рис. 2. Рубцы желтого тела на яичниках самок лося (а) и оленя (б)

Если первичные желтые тела, как правило, хорошо различимы и легко определяются и подсчитываются, то рубцы от них не всегда заметны, а у самок косули различить их без увеличительных приборов весьма проблематично. Поэтому лица, которые будут заниматься подсчетом желтых тел, должны иметь практические навыки в их определении.

Аналізу подлежат пары яичников по возможности всех самок репродуктивного возраста (лося и косули от 1,5 лет и старше), добытых в данном охотничьем хозяйстве или группе соседних охотничьих хозяйств в течение осеннее-зимнего сезона охоты (октябрь – ноябрь), для которых определяется общий процент продуктивности и процент возможного изъятия. Чем больше размер выборки, тем надежнее будет результат анализа. При этом желательным минимальным размером выборки следует считать не менее 30 особей. Размер выборки в 20 особей может рассматриваться в качестве допустимого минимального, при этом надежность результатов считается невысокой.

Можно не обследовать яичники (но учитывать при определении плодовитости) у самок, если были добыты находящиеся при них телята, а также, если при вскрытии матки обнаружены эмбрионы телят. Их наличие уже свидетельствует о том, что данная самка участвовала в воспроизводстве.

Пары яичников следует отделить и разрезать вдоль и посчитать количество первичных желтых тел, а также их рубцов по возможности и при их наличии. При этом следует учесть, что яичники косули маленькие (размером примерно с ноготь мизинца человека), отстрел самок происходит в период, когда возможное зачатие произошло в июле – августе текущего года, первичные желтые тела (если они есть) уже хорошо развиты и зачастую занимают значительную часть яичника. Поэтому обнаружение в яичниках косули рубцов желтых тел, свидетельствующих о недавнем рождении потомства весной, маловероятно.

Заключение. Процент самок, у которых яичники имели первичные желтые тела, говорит о потенциальной плодовитости самок в данной популяции, обеспечивающей уровень рождаемости. Показатель в 80% и выше говорит о высокой потенциальной плодовитости, от 70 до 80% – о средней и ниже 60% – о низкой. У оленя, самки которого редко достигают репродуктивных кондиций до 2,5 лет, указанные доли допускается уменьшить на 10 процентных пунктов. Следует учитывать, что потенциальная плодовитость самок свидетельствует только об их физиологической готовности к спариванию и принесению потомства, но практически всегда будет меньше, чем фактическая, особенно в условиях недостаточности самцов. В нормальных условиях самки должны обладать высокой потенциальной плодовитостью, поэтому низкая и даже средняя потенциальная плодовитость может свидетельствовать о том, что популяция характеризуется излишней экологической плотностью (переуплотнена) и требуется ее снижение.

Процент самок старше 2,5 лет, у которых яичники имели рубцы желтого тела, говорит о фактически реализованной за предыдущий сезон размножения плодовитости самок. Необходимо учитывать, что визуализация рубцов желтого тела без применения увеличительных приборов требует внимательности и определенного уровня навыков их распознавания, иначе возможны ошибки. Поэтому результаты плодовитости самок по данному показателю следует рассматривать во взаимосвязи и с учетом результатов оценки потенциальной плодовитости по первичным желтым телам. Низкий (менее 80%) процент самок старше 2,5 лет, имеющих рубцы желтого тела, может говорить как о переуплотнении популяции, так и о недостаточном количестве самцов для оплодотворения всех самок.

Процент овуляции определяет количество детенышей, которое потенциально может родиться на 100 самок в популяции. Следует учитывать, что фактическая рождаемость будет всегда меньше, чем процент овуляции.

Список литературы

1. Leopold Aldo. Game management 1933. Wisconsin: University of Wisconsin Press. Reprint, 1986. 481 p.

2. Odum E. Fundamentals of Ecology. Philadelphia: W. B. Saunders Company, 1953. 384 p.
3. Krausman P. R. Introduction to Wildlife Management. The Basics. New Jersey: Prentice Hall, 2002. 478 p.
4. Bertouille S. B., De Crombrugghe S. Fertility of red deer in relation to area, age, body mass and mandible length // *Z. Jagdwiss.* 2002. No. 48. P. 87–98.
5. McCullough D. R. Concepts of large herbivore population dynamics // *Wildlife 2001: Populations.* Springer Dordrecht. 1992. P. 967–984.
6. Данилкин А. А. Дикие копытные в охотничьем хозяйстве. М.: ГЕОС, 2006. 366 с.
7. Дунин В. Ф., Козло П. Г. Лось в Беларуси. Минск: Навука і тэхніка, 1992. 207 с.
8. Юргенсон П. Б. Охотничьи звери и птицы (прикладная экология). М.: Лесная промышленность, 1968. 308 с.
9. Русанов Я. С. Охота и охрана фауны (Влияние охоты на структуру популяций охотничьих животных). М.: Лесная промышленность, 1973. 144 с.
10. Филонов К. П. Лось. М.: Лесная промышленность, 1983. 246 с.
11. Luteal Oxytocin and Monoestry in the Roe Deer *Capreolus Capreolus* / A. P. F. Flint [et al.] // *J. Reprod. Fertil.* 1994. No. 101. P. 651–656.
12. Ultrasonography of the Ovaries and Uterus and Grey Scale Analysis of the Endometrium during Embryonic Diapause in European Roe Deer / R. Hermes [et al.] // *Acta Theriol.* 2000. No. 45. P. 559–572.
13. Factors Affecting Implantation Failure in Roe Deer / R. Chirichella [et al.] // *J. Wildl. Manag.* 2019. No. 83. P. 599–609.
14. Simkin D. W. Reproduction and Productivity of Moose in Northwestern Ontario // *Journal of Wildlife Management.* 1965. Vol. 29, no. 4. P. 740–750.
15. Flajšman K., Jelenko I., Pokorny B. Reproductive Potential of Roe Deer in Slovenia // *Balkan Journal of Wildlife Research.* 2014. Vol. 1, iss. 1. P. 20–25.

References

1. Leopold Aldo. Game management 1933. Wisconsin, University of Wisconsin Press Publ. Reprint, 1986. 481 p.
2. Odum E. Fundamentals of Ecology. Philadelphia, W. B. Saunders Company Publ., 1953. 384 p.
3. Krausman P. R. Introduction to Wildlife Management. The Basics. New Jersey, Prentice Hall Publ., 2002. 478 p.
4. Bertouille S. B., De Crombrugghe S. Fertility of red deer in relation to area, age, body mass and mandible length. *Z. Jagdwiss.* 2002, no. 48, pp. 87–98.
5. McCullough D. R. Concepts of large herbivore population dynamics. *Wildlife 2001: Populations.* Springer Dordrecht, 1992, pp. 967–984.
6. Danilkin A. A. *Dikiye kopytnyye v okhotnich'yem khozyaystve* [Wild ungulates in hunting grounds]. Moscow, GEOS Publ., 2006. 366 p. (In Russian).
7. Dunin V. F., Kozlo P. G. *Los' v Belarusi* [Elk in Belarus]. Minsk, Navuka i tekhnika Publ., 1992. 207 p. (In Russian).
8. Yurgenson P. B. *Okhotnich'i zveri i ptitsy (prikladnaya ekologiya)* [Game animals and birds (applied ecology)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1968. 308 p. (In Russian).
9. Rusanov Ya. S. *Okhota i okhrana fauny (Vliyaniye okhoty na strukturu populyatsiy okhotnich'ikh zhivotnykh)* [Hunting and fauna conservation (The impact of hunting on the structure of game animal populations)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 144 p. (In Russian).
10. Filonov K. P. *Los'* [Elk]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 246 p. (In Russian).

11. Flint A. P. F., Krzywinski A., Sempéré A. J., Mauget R., Lacroix A. Luteal Oxytocin and Monoestry in the Roe Deer *Capreolus Capreolus*. *J. Reprod. Fertil*, 1994, no. 101, pp. 651–656.
12. Hermes R., Hildebrandt T. B., Göritz F., Jewgenow K., Lengwinat T., Hofmann R. R. Ultrasonography of the Ovaries and Uterus and Grey Scale Analysis of the Endometrium during Embryonic Diapause in European Roe Deer. *Acta Theriol*, 2000, no. 45, pp. 559–572.
13. Chirichella R., Pokorny B., Bottero E., Flajšman K., Mattioli L., Apollonio M. Factors Affecting Implantation Failure in Roe Deer. *J. Wildl. Manag*, 2019, no. 83, pp. 599–609.
14. Simkin D. W. Reproduction and Productivity of Moose in Northwestern Ontario. *Journal of Wildlife Management*, 1965, vol. 29, no. 4, pp. 740–750.
15. Flajšman K., Jelenko I., Pokorny B. Reproductive Potential of Roe Deer in Slovenia. *Balkan Journal of Wildlife Research*, 2014, vol. 1, iss. 1, pp. 20–25.

Информация об авторах

Подошвелев Дмитрий Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: podoshv@mail.ru. SPIN-код: 3897-4607.

Митренков Андрей Михайлович – ассистент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: jag2@yandex.ru. SPIN-код: 2561-3800.

Гуринович Александр Владимирович – младший научный сотрудник кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: guro@inbox.ru.

Information about the authors

Podoshvelev Dmitry Alexandrovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: podoshv@mail.ru. SPIN code: 3897-4607.

Mitrenkov Andrey Michailovich – Assistant Lecturer, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: jag2@yandex.ru. SPIN code: 2561-3800.

Gurinovich Alexandr Vladimirovich – Junior Researcher, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: guro@inbox.ru.

Поступила 10.11.2025

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

WOODWORKING INDUSTRY

УДК 674.09

Д. В. Божко, И. К. Божелко, Л. В. Игнатович
Белорусский государственный технологический университет

СТАТИСТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ВЕРИФИКАЦИЯ АЛГОРИТМА ОПТИМИЗАЦИИ РАСКРОЯ КРУГЛЫХ ЛЕСОМАТЕРИАЛОВ НА ОСНОВЕ АЛГОРИТМИЧЕСКИХ РАСЧЕТОВ

В статье представлен статистический анализ и верификация алгоритма раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмического расчета при помощи программно-технологического модуля по оптимальному расчету раскроя и нормированию расхода лесопроductии. Данное исследование позволяет уменьшить рабочее время на составление карт раскроя, адаптируя графическо-аналитические методы к компьютерным симуляциям на языке программирования Python, с акцентом на минимизацию отходов и повышение эффективности лесопиления.

Целью данного исследования является верификация алгоритмов оптимизации раскроя для подтверждения их достоверности и надежности.

В качестве обработки данных используется Критерий Стьюдента (t -тест). Результаты показывают статистически значимые различия: вычисленные t -значения (t_1-t_6) не превышают критическое $t_{\text{крит}} = 1,976$ ($df = 150$, $\alpha = 0,05$), с $p\text{-value} < 0,05$, что подтверждает повышение объемного выхода пиломатериалов на 4–6% по сравнению с контрольными расчетами.

Исследуемые алгоритмы верифицированы и рекомендуются для практического применения в лесоперерабатывающей промышленности, способствуя снижению себестоимости и автоматизации процессов лесопиления.

Ключевые слова: статистический анализ, верификация алгоритма, оптимальное использование древесины, алгоритм оптимизации раскроя.

Для цитирования: Божко Д. В., Божелко И. К., Игнатович Л. В. Статистический анализ и верификация алгоритма оптимизации раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических расчетов // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 80–89.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-7.

D. V. Bazhko, I. K. Bazhelka, L. V. Ignatovich
Belarusian State Technological University

STATISTICAL ANALYSIS AND VERIFICATION OF AN OPTIMIZATION ALGORITHM FOR CUTTING ROUND TIMBER BASED ON ALGORITHMIC CALCULATIONS

This article presents a statistical analysis and verification of a round timber cutting algorithm based on algorithmic calculations using a software and technology module for optimal cutting calculations and standardization of timber consumption. This study reduces the time required to create cutting maps by adapting graphical and analytical methods to computer simulations in Python, with an emphasis on minimizing waste and increasing sawmill efficiency.

The aim of this study is to verify cutting optimization algorithms to confirm their validity and reliability.

The Student's t -test is used for data processing. The results show statistically significant differences: the calculated t -values (t_1 – t_6) do not exceed the critical value $t_{\text{crit}} = 1.976$ ($df = 150$, $\alpha = 0.05$), with a p -value < 0.05 , confirming an increase in lumber yield by 4–6% compared to control calculations.

The studied algorithms have been verified and are recommended for practical application in the wood industry, contributing to cost reduction and automation of sawmilling processes.

Keywords: statistical analysis, algorithm verification, optimal use of wood, cutting optimization algorithm.

For citation: Bazhko D. V., Bazhelka I. K., Ignatovich L. V. Statistical analysis and verification of an optimization algorithm for cutting round timber based on algorithmic calculations // *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 80–89 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-7.

Введение. Основная задача раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмического расчета заключается в максимальном использовании древесины, минимизации отходов и удовлетворении требований к качеству продукции.

Для анализа алгоритма раскроя разработано программное обеспечение, которое осуществляет алгоритмический расчет. Система обеспечивает мощные аналитические инструменты для внедрения статистического анализа.

Данный программно-технологический модуль предполагает оптимизацию процессов и переход от графическо-аналитического подхода к вычислительным методам постановки задач на электронно-вычислительных машинах (ЭВМ), реализуемым посредством алгоритмов оптимизации и аппроксимации данных с использованием языка программирования Python.

Алгоритм раскроя включает в себя шаги по планированию, расчету и оптимизации. Он позволяет не только осуществлять расчет оптимальных размеров деталей, но и выполнять проверку расчетов с использованием статистических методов. Разработанный модуль осуществляет автоматизированный расчет и позволяет пользователю получить достоверные данные для анализа, что делает его полезным инструментом для специалистов в деревообрабатывающей отрасли [1].

Эффективность раскроя круглых лесоматериалов является критически важным фактором, определяющим рентабельность лесоперерабатывающих предприятий. В условиях роста конкуренции и требований к ресурсосбережению даже незначительное повышение выхода полезной продукции может принести существенный экономический эффект. В ответ на эту задачу разрабатываются многочисленные алгоритмические решения – от классических жадных алгоритмов и методов динамического программирования до современных эвристических и метаэвристических подходов, таких как генетические алгоритмы [2].

Однако разработка алгоритма раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмического расчета, демонстрирующего высокую производительность на ограниченном наборе тестовых примеров, является лишь первым этапом. Ключевой проблемой, с которой сталкиваются инженеры, является объективная оценка нового метода над существующими аналогами. Заявления об эффективности, не подкрепленные статистической проверкой, остаются лишь гипотезами, непригодными для принятия взвешенных решений о внедрении в производственный процесс.

Необходимость статистического анализа и верификации продиктована несколькими фундаментальными причинами.

Задачи оптимизации раскроя часто обладают высокой вычислительной сложностью, что приводит к вариабельности результатов между отдельными запусками алгоритма.

Реальные исходные данные – сортамент, размеры и дефекты лесоматериалов – сами по себе являются переменными величинами, подверженными естественному разбросу.

Оценка алгоритма на единственном наборе данных может привести к ошибочным и нерепрезентативным выводам.

Основная часть. Целью настоящего исследования является разработка комплексного методологического подхода к верификации алгоритмов оптимизации раскроя, обеспечивающего доказательную базу для их достоверности и надежности. Для достижения поставленной цели в работе решаются следующие задачи:

1) формирование многоуровневой системы проверки:

– верификация корректности расчетов;

– валидация эффективности;

2) апробация алгоритма оптимизации раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических расчетов при помощи программно-технологического модуля по оптимальному расчету раскроя и нормированию расхода лесопроductии;

3) количественная оценка достоверности результатов с применением аппарата статистической проверки гипотезы и его эффективности [3].

Для статистического анализа и верификации алгоритма оптимизации раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических расчетов будет использован критерий Стьюдента. Он позволяет определить, насколько вероятно, что наблюдаемые различия между средними значениями групп статистически значимы, а не являются результатом случайности. Для этого необходимо удостовериться в правильности выборки данных для критерия Стьюдента и рассчитать дисперсию, стандартное отклонение и непосредственно критерий Стьюдента [4].

Для обеспечения всестороннего анализа эффективности алгоритмического расчета при помощи программно-технологического модуля по оптимальному расчету раскроя и нормированию расхода лесопроductии сформируем шесть репрезентативных выборок данных. Эти выборки разработаны с целью охвата ключевых аспектов алгоритмических расчетов, включающих вариативность входных параметров (таких как диаметр, длина и порода бревен), итеративные процессы оптимизации (с использованием аппроксимационных методов и численных алгоритмов на языке Python), а также оценку устойчивости результатов при различных сценариях обработки. Каждая выборка данных содержит не менее 152 наблюдений для выполнения статистических требований, обеспечивающих достаточную мощность для последующего применения параметрических тестов и корреляционного анализа.

В рамках темы исследования «Статистический анализ и верификация алгоритма раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмического расчета» рассмотрены четыре оптимальных варианта раскроя бревен, рассчитанных с помощью традиционного подхода и программно-технологического модуля по оптимальному расчету раскроя и нормированию расхода лесопроductии (табл. 1). Данный алгоритм рассчитывает максимальный количественный выход, который иллюстрирует переход от традиционных графических методов к компьютерной оптимизации. Эти варианты включают:

– распиловку с брусом с четным поставом на втором проходе;

– распиловку с брусом с нечетным поставом на втором проходе;

– раскрой вразвал с четным поставом;

– раскрой вразвал с нечетным поставом.

Такая комбинация выборок и вариантов раскроя обеспечивает комплексную оценку алгоритмов, включающую их чувствительность к входным данным, сходимость итераций и сравнительную эффективность по критериям выхода продукции и минимизации отходов [5–7].

До процедуры приведения данных к среднему значению объем исходной выборки составлял 456 наблюдений.

Таблица 1. **Общая выборка исследуемых и контрольных значений**

Диаметр бревна, мм	Объемный выход пиломатериалов, %							
	Контрольные значения				Исследуемые значения			
	Брусковка с поставом		Вразвал с поставом		Брусковка с поставом		Вразвал с поставом	
	четным	нечетным	четным	нечетным	четным	нечетным	четным	нечетным
Выборка № 1								
14	60,0	57,6	66,6	66,1	65,7	56,4	69,3	72,1
16	59,6	53,3	68,2	56,7	61,7	52,4	70,9	60,5
18	67,6	61,2	62,5	57,6	72,0	55,9	70,1	61,5
20	61,7	60,5	64,4	62,1	60,6	70,6	65,3	66,7
...								
42	60,4	53,3	60,3	61,9	65,1	55,3	67,5	66,5
44	62,2	53,1	66,9	58,0	63,6	54,7	70,6	62,3
46	63,8	55,5	59,6	62,3	67,1	60,0	62,5	68,8
48	59,3	56,8	63,8	66,7	66,5	61,7	67,3	69,2
50	70,8	67,1	51,1	62,7	72,4	68,4	54,1	63,8
Среднее значение	62,4	60,5	60,9	62,4	65,1	62,5	63,3	65,5
...								
Выборка № 6								
14	55,6	63,6	58,2	62,5	52,7	68,0	59,8	64,9
16	65,3	60,5	67,5	60,7	67,3	58,6	68,8	63,7
18	61,0	60,6	58,7	65,0	61,9	64,5	65,8	69,2
20	65,5	71,7	57,3	58,4	69,9	70,6	59,1	61,1
...								
42	65,9	61,8	59,7	56,3	63,4	60,1	59,9	59,5
44	61,5	63,3	60,3	60,2	62,6	63,1	61,4	62,4
46	64,6	60,7	62,7	56,0	69,7	61,4	62,8	58,7
48	58,5	60,3	59,1	66,0	63,5	62,9	61,0	73,9
50	63,5	54,7	65,9	60,7	66,1	55,3	69,4	62,5
Среднее значение	61,8	62,6	59,2	61,7	64,8	63,6	60,9	64,3

После выполнения данной процедуры объем выборки скорректирован до 76 наблюдений, что достигается путем фильтрации данных для устранения избыточности и повышения точности оценок (табл. 2).

Этот скорректированный объем ($n = 76$) полностью соответствует минимальным требованиям для применения t -критерия. Согласно стандартным статистическим рекомендациям, для двустороннего теста при уровне значимости $\alpha = 0,05$ требуется минимум 30–50 наблюдений, а предпочтительно более 60–100 для обеспечения робастности результатов и минимизации риска отклонения нулевой гипотезы по ошибке.

Таким образом, данная выборка позволяет провести сравнительный анализ средних значений между вариантами раскroев с высокой степенью достоверности [8–10].

Для корректного применения t -критерия Стьюдента (t -test), предназначенного для сравнения средних значений двух независимых выборок, ключевым условием является подчинение анализируемого признака нормальному закону распределения в каждой из сравниваемых групп. Это предположение лежит в основе статистической модели t -критерия, которая опирается на свойства нормального распределения для точной оценки стандартной ошибки разности средних и расчета критических значений t -статистики.

Таблица 2. Выборка исследуемых и контрольных значений по средним

Диаметр бревна, мм	Среднее значение объемного выхода пиломатериалов для выборки, %					
	1	2	3	4	5	6
Выборка контрольных данных						
14	62,6	58,0	64,1	61,6	63,4	60,0
16	59,5	62,6	63,1	63,6	62,8	63,5
18	62,2	64,3	62,9	60,3	62,0	61,3
20	62,2	64,5	62,9	58,0	62,2	63,2
22	60,2	63,4	61,4	63,0	61,2	62,9
24	61,8	59,7	64,1	63,5	62,6	63,4
26	60,6	59,4	59,8	58,4	63,0	57,5
...						
42	59,0	62,0	64,5	62,0	65,5	60,9
44	60,1	60,5	58,5	62,5	60,6	61,3
46	60,3	61,2	59,7	61,3	64,4	61,0
48	61,7	63,1	61,0	60,1	63,2	61,0
50	62,9	63,9	62,0	62,9	60,8	61,2
Среднее значение	61,5	62,1	61,8	61,6	62,0	61,3
Выборка исследуемых данных						
14	65,9	58,0	67,0	64,0	65,3	61,3
16	61,4	64,6	66,0	64,4	64,1	64,6
18	64,8	67,6	64,2	62,2	63,2	65,4
20	65,8	67,4	63,5	59,9	65,0	65,2
22	61,5	67,2	63,5	65,1	63,3	63,6
24	64,0	63,0	65,5	63,6	64,7	64,3
26	63,6	60,4	60,8	60,3	64,0	60,6
...						
42	63,6	65,1	69,4	63,3	67,6	60,7
44	62,8	63,2	59,5	62,7	62,6	62,3
46	64,6	64,3	63,2	60,9	66,6	63,2
48	66,1	67,0	63,1	59,6	67,3	65,3
50	64,7	67,7	63,6	64,4	63,1	63,3
Среднее значение	64,1	64,8	63,9	63,0	63,5	63,4

Нарушение данного условия может привести к искажению результатов, включая завышенную вероятность ошибки первого рода или снижение мощности теста, что особенно критично в исследованиях симуляций [11–13].

Данное требование приобретает особую актуальность для малых выборок (типично $n < 30$, как в рассмотренных нами случаях, где исходные данные в объеме 456 наблюдений усреднены до 76 для каждой группы в табл. 2). При небольших размерах выборки центральная предельная теорема не гарантирует приближения распределения средних к нормальному, даже если исходные данные имеют иную форму распределения.

В таких условиях t -критерий становится чувствительным к отклонениям от нормальности, что может вызвать систематические ошибки в оценке статистической значимости различий между вариантами раскроя (например, между четным и нечетным поставом в распиловке бруса или раскрое вразвал).

Для иллюстрации: если распределение признака (например, процента выхода пиломатериалов или объема отходов) характеризуется асимметрией или наличием выбросов, применение t -теста без проверки нормальности может привести к некорректным выводам.

Чтобы обеспечить соблюдение этого условия, необходимо предварительно провести тестирование на нормальность распределения графическим методом (рис. 1–6). В контексте нашего исследования по оптимизации раскроя древесины такая проверка особенно важна для выборок, сформированных на основе симуляций в Python, где вариативность входных параметров может усиливать ненормальное распределения.

Из графиков (рис. 1–6) можно сделать выводы о нормальности распределения данных, что повышает надежность статистических выводов и способствует интеграции эмпирических данных, минимизируя риски ошибочных интерпретаций эффективности алгоритмов раскря. Это подчеркивает необходимость комплексного подхода к анализу, сочетающего численные симуляции, статистическую валидацию и учет реальных условий лесопиления.

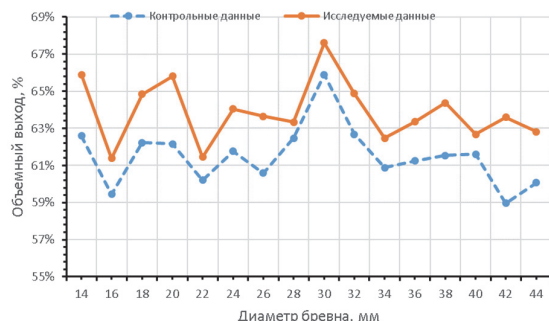


Рис. 1. График по выборке № 1

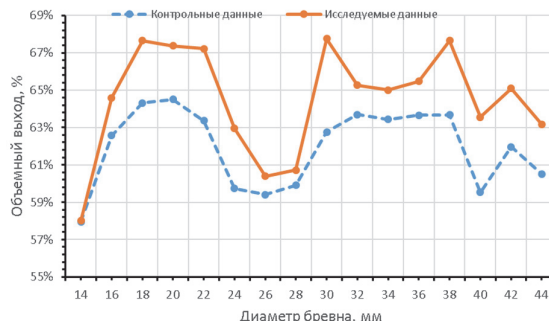


Рис. 2. График по выборке № 2

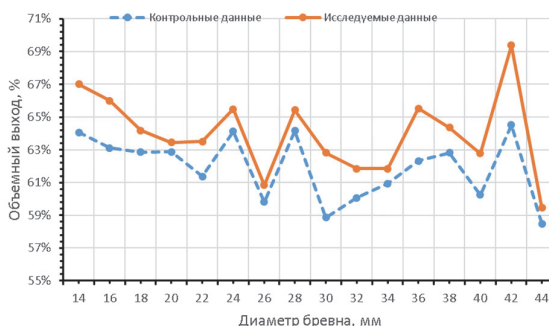


Рис. 3. График по выборке № 3



Рис. 4. График по выборке № 4

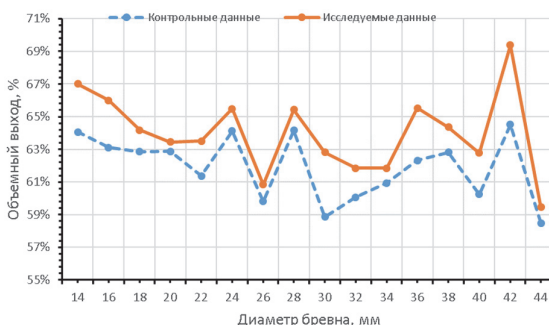


Рис. 5. График по выборке № 5

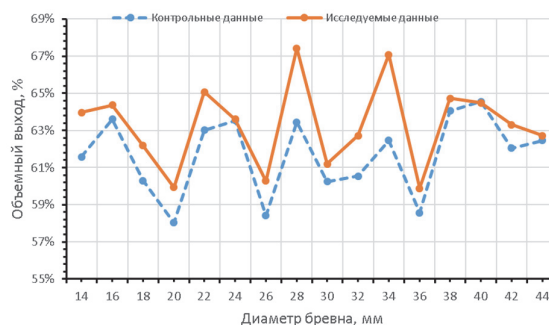


Рис. 6. График по выборке № 6

Одним из ключевых условий корректного применения параметрических статистических тестов, таких как t -критерий Стьюдента, является соблюдение предположения о равенстве дисперсий в сравниваемых выборках. В стандартном t -критерии Стьюдента необходимо, чтобы дисперсии двух независимых выборок не различались значимо. Это предположение критично, поскольку тест использует объединенную оценку дисперсии для расчета стандартной ошибки разности средних, что обеспечивает корректные степени свободы и доверительные интервалы [14].

В случае несоблюдения данного требования результаты могут быть искажены: например, заниженная мощность теста или повышенный риск ошибки первого, особенно в исследованиях с неравными размерами выборок или малым объемом данных (как в анализе выборок раскря древесины по табл. 1 и табл. 2, где количество наблюдений после приведения к среднему варьирует от 456 до 76).

Дисперсия выборки является мерой разброса данных вокруг среднего значения и рассчитывается как несмещенная оценка для конечных выборок. Дисперсию выборки можно найти по формуле

$$\sigma^2 = \frac{\sum (X_i - M_x)^2}{N - 1}, \quad (1)$$

где X_i – значение i -го наблюдения в выборке; M_x – выборочное среднее; N – объем выборки.

Эта формула применяется отдельно к каждой сравниваемой группе, например для четырех оптимальных видов раскроя в табл. 2, где X_i может представлять метрики эффективности, такие как процент выхода пиломатериалов.

Для расчета t -критерия Стьюдента необходимо перейти от дисперсии к среднеквадратическому отклонению, которое является квадратным корнем дисперсии и измеряется в тех же единицах, что и исходные данные.

Формула среднеквадратического отклонения выглядит следующим образом

$$\sigma = \sigma^2 = \sqrt{\frac{\sum (X_i - M_x)^2}{N - 1}}. \quad (2)$$

Среднеквадратическое отклонение используется для оценки вариабельности данных и входит в состав стандартной ошибки разности средних, что позволяет оценить точность сравнения.

t -Критерий Стьюдента для двух независимых выборок с равными дисперсиями рассчитывается по формуле

$$t = \frac{|M_1 - M_2|}{\sqrt{\frac{\sigma_1^2}{N_1} + \frac{\sigma_2^2}{N_2}}}. \quad (3)$$

Эта формула тестирует нулевую гипотезу (равенство математических ожиданий в генеральной совокупности) против альтернативной.

Полученное значение t сравнивается с критическим значением из распределения Стьюдента с $df = N_1 + N_2 - 2$ степенями свободы; если t превышает критическое значение или соответствующее p -значение $< 0,05$, нулевая гипотеза отвергается, указывая на статистически значимое различие [15].

В контексте оптимизации раскроя древесины по методам раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмического расчета при помощи программно-технологического модуля по оптимальному расчету раскроя и нормированию расхода лесопроизводства эта формула позволяет сравнивать эффективность, например четного и нечетного поставов в раскросе вразвал (табл. 3).

Таблица 3. Основные статистические характеристики

Название статистической характеристики	Исследуемые выборки					
	№ 1	№ 2	№ 3	№ 4	№ 5	№ 6
Контрольная выборка						
Дисперсия σ^2	0,00024	0,00040	0,00035	0,00039	0,00036	0,00044
Среднеквадратическое отклонение σ	0,015	0,020	0,019	0,020	0,019	0,021
Исследуемая выборка						
Дисперсия σ^2	0,00026	0,00079	0,00052	0,00054	0,00067	0,00053
Среднеквадратическое отклонение σ	0,016	0,028	0,023	0,025	0,026	0,023
Критерий Стьюдента t	1,250	1,013	1,088	1,049	1,049	1,056
Критическое значение критерия Стьюдента	1,976					

Таким образом, строгое соблюдение требования равенства дисперсий обеспечивает надежность статистических выводов, позволяя эффективно сравнивать алгоритмы обработки.

Закключение. В рамках данного исследования (оптимизация раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических подходов раскроя при помощи программно-технологического модуля и адаптированных для компьютерных симуляций на языке Python) статистический анализ играет ключевую роль в верификации эффективности предложенных алгоритмов.

Для подтверждения статистически значимых отличий между выборками необходимо рассчитать достигнутый уровень значимости p -value. Этот показатель представляет собой вероятность получения наблюдаемых или более экстремальных результатов при условии истинности нулевой гипотезы.

Далее для интерпретации результатов сравниваем эмпирическое значение t -критерия с теоретическим критическим значением, извлеченным из таблиц критических значений t -критерия Стьюдента.

Для данного анализа, с учетом объединенных степеней свободы $df = 150$ (что соответствует агрегированным выборкам после усреднения, варьирующимся от 76 до 456 наблюдений в табл. 2) и уровня значимости $\alpha = 0,05$, критическое значение $t_{\text{крит}} = 1,976$. Это значение отражает порог, при превышении которого нулевая гипотеза отвергается, указывая на статистически значимое различие между группами. Вычисленные значения t -статистики для шести сравниваемых выборок ($t_1 = 1,250$; $t_2 = 1,013$; $t_3 = 1,088$; $t_4 = 1,049$; $t_5 = 1,049$; $t_6 = 1,056$) не превышают $t_{\text{крит}} = 1,976$, а поэтому соответствующие p -value $< 0,05$. Следовательно, уровень значимости ниже порогового, что позволяет отвергнуть нулевую гипотезу и сделать вывод о наличии статистически значимых различий между группами. Этот результат подтверждается предварительными проверками на равенство дисперсий и нормальность распределений, что обеспечивает корректность применения t -критерия Стьюдента и повышает надежность выводов (табл. 3).

На основе проведенных исследований можно верифицировать алгоритм оптимизации раскроя круглых лесоматериалов, основанный на алгоритмических расчетах. В исследуемых выборках объемный выход пиломатериалов в среднем на 4–6% выше по сравнению с контрольными расчетами, что достигается за счет алгоритмов оптимизации и интеграции графическо-аналитических методов с компьютерными симуляциями. Это повышение эффективности напрямую способствует минимизации отходов в лесопилении, снижению себестоимости производства и улучшению устойчивости лесохозяйственной отрасли.

Таким образом, разработанный алгоритм оптимизации раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических расчетов является статистически верным и рекомендуется для практического применения в лесоперерабатывающей промышленности с дальнейшим использованием для прогнозирования расчетов с помощью ML-технологий.

Список литературы

1. Божко Д. В., Божелко И. К. Оптимизация раскроя круглых лесоматериалов с использованием языка программирования Python // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы междунар. 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. –17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 121–124.
2. Карпов Ю. Г. Model Checking. Верификация параллельных и распределенных программных систем. СПб.: БХВ-Петербург, 2010. 552 с.
3. Майерс Г., Сандлер К., Баджетт Т. Искусство тестирования программ. М.: Вильямс, 2012. 272 с.
4. Абрамов С. С. Методы верификации программ. М.: МЦНМО, 2001. 392 с.
5. Котляров В. П., Коликова Т. В. Основы тестирования программного обеспечения. М.: ИНТУИТ, 2009. 285 с.

6. Кобзарь А. И. Прикладная математическая статистика. Для инженеров и научных работников. М.: Физматлит, 2006. 816 с.
7. Айвазян С. А., Мхитарян В. С. Прикладная статистика и основы эконометрики. М.: ЮНИТИ, 1996. 1022 с.
8. Боровков А. А. Математическая статистика. М.: Физматлит, 2007. 704 с.
9. Плохинский Н. А. Биометрия. М.: Изд-во Моск. ун-та, 1970. 367 с.
10. Орлов А. И. Прикладная статистика. М.: Экзамен, 2006. 671 с.
11. Тюрин Ю. Н., Макаров А. А. Анализ данных на компьютере. М.: ИНФРА-М, 2003. 528 с.
12. Елисеева И. И. Статистика. М.: Юрайт, 2010. 565 с.
13. Хальд А. Математическая статистика с техническими приложениями. М.: Изд-во иностр. лит., 1956. 664 с.
14. Дрейпер Н., Смит Г. Прикладной регрессионный анализ. М.: Вильямс, 2007. 912 с.
15. Закс Л. Статистическое оценивание. М.: Статистика, 1976. 598 с.

References

1. Bazhko D. V., Bazhelka I. K. Optimizing Round Timber Cutting Using Python. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy mezhdunarodnoy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest Engineering, Materials Science and Design: materials of the interregional scientific and practical conference]. Minsk, 2023, pp. 121–124 (In Russian).
2. Karpov Yu. G. *Model Checking. Verifikatsiya parallel'nykh i raspredelennykh programmnykh system* [Model Checking. Verification of Parallel and Distributed Software Systems]. Saint Petersburg, BHV-Petersburg Publ., 2010. 552 p. (In Russian).
3. Myers G., Sandler K., Badgett T. *Iskusstvo testirovaniya programm* [The Art of Software Testing]. Moscow, Williams, 2012. 272 p. (In Russian).
4. Abramov S. S. *Metody verifikatsii programm* [Program Verification Methods]. Moscow, MTSNMO Publ., 2001. 392 p. (In Russian).
5. Kotlyarov V. P., Kolikova T. V. *Osnovy testirovaniya programmnoy obespecheniya* [Testing Computer Software]. Moscow, INTUIT Publ., 2009. 285 p. (In Russian).
6. Kobzar A. I. *Prikladnaya matematicheskaya statistika. Dlya inzhenerov i nauchnykh rabotnikov* [Applied Mathematical Statistics. For Engineers and Researchers]. Moscow, Fizmatlit, 2006. 816 p. (In Russian).
7. Ayvazyan S. A., Mkhitaryan V. S. *Prikladnaya statistika i osnovy ekonometriki* [Applied Statistics and Fundamentals of Econometrics]. Moscow, YUNITI Publ., 1998. 1022 p. (In Russian).
8. Borovkov A. A. *Matematicheskaya statistika* [Mathematical statistics]. Moscow, Fizmatlit, 2007. 704 p. (In Russian).
9. Plokhinsky N. A. *Biometriya* [Biometrics]. Moscow, Moscow University Publ., 1970. 367 p. (In Russian).
10. Orlov A. I. *Prikladnaya statistika* [Applied Statistics]. Moscow, Ekzamen, 2006. 671 p. (In Russian).
11. Tyurin Yu. N., Makarov A. A. *Analiz dannykh na komp'yutere* [Data Analysis on a Computer]. Moscow, INFRA-M Publ., 2003. 528 p. (In Russian).
12. Eliseeva I. I. *Statistika* [Statistics]. Moscow, Yurayt, 2010. 565 p. (In Russian).
13. Hald A. *Matematicheskaya statistika s tekhnicheskimi prilozheniyami* [Statistical Theory with Engineering Applications]. Moscow, Foreign Literature Publ., 1956. 669 p. (In Russian).
14. Dreyper N., Smit G. *Prikladnoy regressionnyy analiz* [Applied Regression Analysis]. Moscow, Vil'yams Publ., 2007. 912 p. (In Russian).
15. Zaks L. *Statisticheskoye otsenivaniye* [Applied Statistics]. Moscow, Statistika, 1976. 598 p. (In Russian).

Информация об авторах

Божко Данила Вячеславович – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bozhko.tdp@mail.ru.

Божелко Игорь Константинович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru. SPIN-код: 4668-7970. ResearcherID: 0000-0002-7599-6944.

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by.

Information about the authors

Bazhko Danila Vyachaslavavich – PhD student, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bozhko.tdp@mail.ru.

Bazhelka Ihar Kanstantinavich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru. SPIN code: 4668-7970. ResearcherID: 0000-0002-7599-6944.

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by.

Поступила 15.10.2025

УДК 684.4.05:658.512.4

В. В. Громов, Л. В. Игнатович

Белорусский государственный технологический университет

**ОСОБЕННОСТИ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА
ПРИ РАСКРОЕ ПЛИТНЫХ МАТЕРИАЛОВ КОНЦЕВЫМИ ФРЕЗАМИ
С ПРИМЕНЕНИЕМ АВТОМАТИЗАЦИИ НА РАЗЛИЧНЫХ ЭТАПАХ (ОБЗОР)**

Современное производство немыслимо без оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ). Не только крупные, но и средние предприятия, выпускающие мебель и столярно-строительные изделия, используют фрезерные обрабатывающие центры, оценив на опыте преимущества перестройки производства на цифровую основу.

Раскрой материалов как важная часть технологической подготовки производства в мебельной и деревообрабатывающей промышленности является началом большинства производственных процессов, оказывает существенное влияние на трудоемкость и экономичность изготовления деталей.

Для получения деталей сложной геометрической формы из листового материала широко применяются деревообрабатывающие центры с ЧПУ, в том числе работающие по технологии «Нестинг» и имеющие множество преимуществ: возможность обработки многих видов материалов различной толщины и формата, контуров различной сложности, адаптации к постоянным изменениям номенклатуры выпускаемой продукции и др.

В статье представлен обзор литературных данных о технологической подготовке производства при раскрое плитных материалов концевыми фрезами на оборудовании с ЧПУ, рассмотрены вопросы автоматизации указанных процессов и их значение для промышленных предприятий.

Ключевые слова: технологическая подготовка, раскрой плитных материалов, концевые фрезы, оборудование с ЧПУ, управляющая программа.

Для цитирования: Громов В. В., Игнатович Л. В. Особенности технологической подготовки производства при раскрое плитных материалов концевыми фрезами с применением автоматизации на различных этапах (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 90–102.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-8.

V. V. Gromov, L. V. Ignatovich

Belarusian State Technological University

**FEATURES OF TECHNOLOGICAL PREPARATION FOR PRODUCTION
IN CUTTING BOARD MATERIALS WITH END MILLS USING AUTOMATION
AT VARIOUS STAGES (REVIEW)**

Modern manufacturing is unthinkable without computer numerical control (CNC) equipment. Both large and medium-sized companies producing furniture and joinery use CNC machining centers, having experienced the benefits of digitalizing their production.

Cutting materials is an important part of the technological preparation of production in the furniture and woodworking industries, is the beginning of most production processes, and has a significant impact on the labor intensity and cost-effectiveness of manufacturing parts.

To produce parts with complex geometric shapes from sheet material, CNC woodworking centers are widely used, including those using Nesting technology, which has many advantages: the ability to process many types of materials of varying thickness and format, contours of varying complexity, adapt to constant changes in the range of manufactured products, etc.

The article presents a review of literary data on the technological preparation of production when cutting plate materials with end mills on CNC equipment, and examines the issues of automation of these processes and their significance for use in industrial enterprises.

Keywords: technological preparation, cutting of plate materials, end mills, CNC equipment, control program.

For citation: Gromov V. V., Ignatovich L. V. Features of technological preparation for production in cutting board materials with end mills using automation at various stages (review). *Proceedings of*

BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2026, no. 1 (300), pp. 90–102 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-8.

Введение. Практическая реализация технологии «Нестинг» основана на использовании обрабатывающего центра для раскроя плит полного формата на детали различной непрямоугольной формы с обеспечением максимальной готовности элементов, из которых собирается изделие.

Первым очевидным плюсом использования станков с ЧПУ является более высокий уровень автоматизации производства. Случаи вмешательства оператора станка в процесс изготовления детали сведены к минимуму.

Вторым преимуществом выступает производственная гибкость. Это значит, что для обработки разных деталей нужно всего лишь заменить управляющую программу (УП).

В качестве третьего плюса следует отметить высокую точность и повторяемость обработки.

Все перечисленные преимущества невозможно получить без соответствующего программного обеспечения [1, 2].

Технологическая подготовка является наиболее ответственной и трудоемкой частью производственного процесса выпуска новых изделий, удельный вес которой составляет от 30–40% общей трудоемкости технической подготовки в условиях мелкосерийного производства до 50–60% в условиях массового производства.

Трудоемкость технологического проектирования в большинстве случаев значительно превосходит трудозатраты во время проектирования изделий, при этом сам процесс значительно труднее формализуется, имеет большую вариантность проектных решений и сопровождается подготовкой большого объема документов [3].

Внедрение комплексных автоматизированных систем значительно повышает качество выполняемых проектов с одновременным сокращением затрат ресурсов и времени на проектирование и производство новых изделий. При этом учитывается, что согласно мировой практике только 20–25% качества и технического уровня новых изделий закладываются на стадии их изготовления, а 75–80% на стадии проектирования [4–6].

Автоматизация технологической подготовки производства имеет три основные цели:

- снижение трудоемкости процесса;
- сокращение сроков проектирования;
- повышение качества принимаемых решений и разрабатываемых технологических процессов [7–9].

Виды и характер работ по проектированию технологических процессов обработки деталей на станках с ЧПУ существенно отличаются от работ, проводимых при использовании обычного универсального и специального оборудования. Прежде всего значительно возрастает сложность технологических задач и трудоемкость проектирования технологического процесса. При использовании ЧПУ появляется принципиально новый элемент: УП, для разработки и отладки которой требуются дополнительные затраты средств и времени [10–14].

Раскрой выполняется, как правило, специальными концевыми цилиндрическими фрезами диаметром 10–25 мм или профильными, например при обработке деталей мебельных фасадов [15].

Вырезание непрямоугольных деталей при помощи концевых фрез широко используется практически всеми предприятиями, которые располагают обрабатывающими центрами. Нестинг позволяет максимально плотно разместить на раскраиваемой плите детали, имеющие непрямоугольную форму, которые все чаще встречаются в мебельных изделиях [16, 17].

Основные преимущества использования технологии «Нестинг» в следующем:

- выполнение большого количества технологических операций на небольшой производственной площади при минимальном использовании трудовых ресурсов, оборудования и производственного времени;

- выбор оптимальной схемы раскроя заготовок, в частности при обработке большого числа заготовок разных размеров и форм;
 - благодаря возможности криволинейного раскроя концевыми фрезами значительно снижаются отходы плитного материала по сравнению с форматно-раскроечными станками, где раскрой ведется круглыми пилами через весь раскраиваемый лист;
 - обработка плит производится на одном станке без перемещения плитного материала, что значительно увеличивает точность получаемых размеров деталей;
 - уменьшаются затраты на покупку и содержание других деревообрабатывающих станков (форматно-раскроечных, фрезерных, сверлильных), в том числе расходы, связанные с их настройкой, техническим обслуживанием и организацией технологического процесса.
- Несмотря на все достоинства технологии «Нестинг», следует отметить широкий ряд проблем и недостатков, возникающих при ее внедрении в производство мебели:
- характеризуется низкой скоростью раскроя по сравнению с использованием форматно-раскроечных станков и центров;
 - отсутствует возможность пакетного раскроя плитных материалов;
 - большой объем мягких отходов (стружки и опилок) требует дополнительных затрат для утилизации;
 - горизонтальное сверление глухих отверстий и фрезерование под фурнитуру с обратной стороны плиты невозможны (для этого необходимы дополнительные технологические операции);
 - после обработки ламинированной плиты с помощью концевых фрез могут быть сколы (например, из-за их затупления, неправильного выбора или снижения скорости подачи в этих зонах).

Для эффективного использования оборудования с ЧПУ, работающего по такой технологии, необходима автоматизированная подготовка исходных данных [18–20].

Программирование станков с ЧПУ достаточно сложная задача, требующая сбора большого количества информации: о применяемом оборудовании, его возможностях, технологическом оснащении и, самое важное, о технологическом процессе изготовления детали.

С появлением САМ-систем (англ. Computer Aided Manufacturing – средства автоматизации проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ) появилась возможность обрабатывать достаточно сложные профили деталей, уменьшать время на технологическую подготовку производства [20–22].

Основные функции современных САМ-систем сосредоточены в основном на автоматизации подготовки УП для станков с ЧПУ.

Входными данными САМ-системы является геометрическая модель, разработанная в САД-системе. В процессе работы в этой системе определяются траектории и скорость движения режущего инструмента, которые затем обрабатываются постпроцессором для получения программы управления конкретным станком [23–28].

Разработка УП – сложный и трудоемкий процесс, во многом определяющий эффективность использования оборудования с ЧПУ [29–31].

Основная часть. Исходными данными при составлении УП для станков с ЧПУ являются результаты конструкторского проектирования, поступающие из САД-системы. Однако возможно программирование и при наличии в качестве исходных данных лишь чертежа детали и параметров технологического процесса. В этом случае при программировании определяют и кодируют геометрию заготовки, траектории движения подвижных органов станка и параметры обработки [32].

Проектирование УП для оборудования с ЧПУ при раскрое плитных материалов концевыми фрезами – многоступенчатый процесс, в котором можно выделить следующие этапы [20, 33, 34].

1. *Геометрическое моделирование и кодирование геометрии деталей (заготовок).* Построение геометрических элементов (прямые, дуги, окружности) предназначено для описания

геометрии деталей – контура деталей, отверстий, пазов и т. п. Такие элементы являются основными инструментами при плоском проектировании (рис. 1).

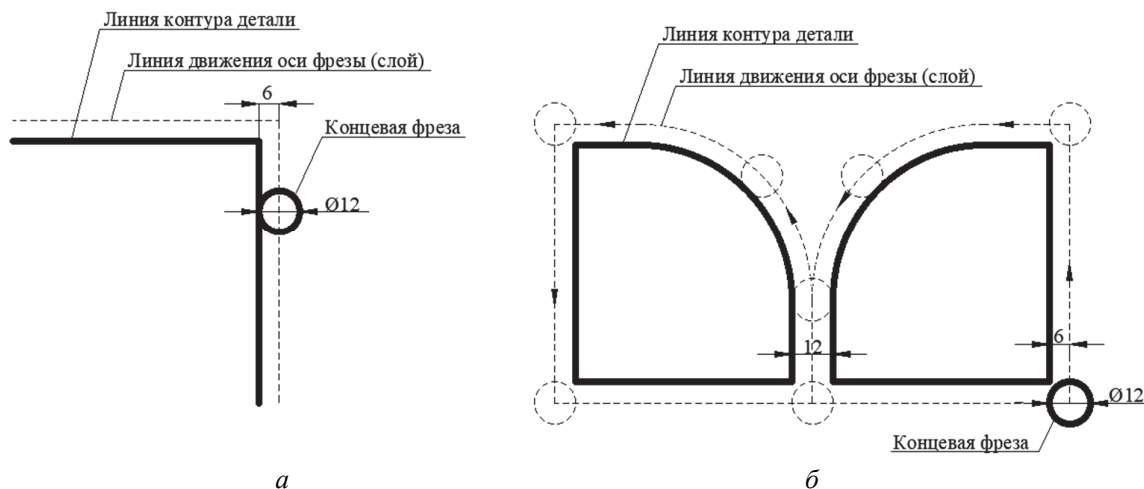


Рис. 1. Геометрическое моделирование деталей при обработке концевой фрезой диаметром 12 мм:

а – создание контура детали и траектории движения фрезы;

б – траектория движения инструмента при обработке деталей, расположенных на карте раскроя

Даже самая простая CAD-система для двумерного проектирования позволяет быстро создавать различные геометрические элементы. В CAD-системе создается электронный чертеж детали [23, 29, 35, 36].

К базовому (универсальному) программному обеспечению можно отнести пакет программы фирмы Autodesk (США) и ряд др. Графическая САПР AutoCAD этой фирмы относится к наиболее распространенным, что обусловлено наличием в ней большого количества инструментальных средств для построения проблемно ориентированных модулей.

Кроме того, обеспечивается высокая совместимость с графическими данными других систем (файлы сохраняются в формате DXF) [20, 37, 38].

Круг пользователей AutoCAD расширяется на основе обмена данными с системами SolidWorks, T-Flex CAD и интеграцией CAD/CAM/CAE [39–41].

Электронный чертеж деталей, для обработки которых будет создана УП, должен быть оформлен определенным образом. Для этого необходимо кодирование элементов деталей – присвоение имен элементам чертежа в AutoCAD (создание слоев), которые содержат информацию о выполняемой операции (фрезерование, сверление), инструменте (номер и диаметр фрезы, глубина фрезерования и др.).

Отдельные слои создаются для следующих типов объектов: эквидистантного контура (линии движения оси фрезы), сквозных и несквозных отверстий в пласти, пазов в пласти и др. Кроме того, при создании эквидистантного контура детали необходимо учитывать диаметр концевых фрез.

Указываются числовые значения параметров объектов слоя, например толщина материала, глубина отверстия, ширина и глубина паза. Также на этом этапе задаются параметры инструментов, используемых при обработке [29, 42, 43].

2. *Разработка оптимальных карт раскроя листового материала* (рис. 2). В структуре технологической подготовки производства мебели важным этапом является решение задачи раскроя листовых материалов на заготовки (детали). Суть ее заключается в оптимальном размещении геометрических объектов на листах материала.

Карты раскроя содержат информацию для расчета таких технико-экономических показателей эффективности производства, как материалоемкость изделий, полезный выход материала, трудозатраты.

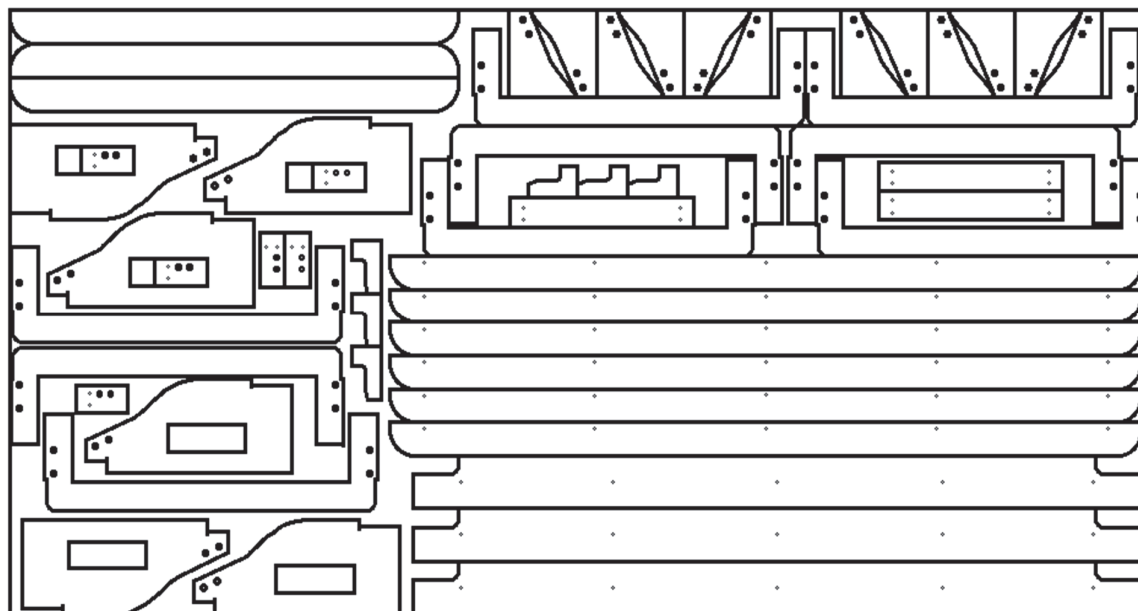


Рис. 2. Пример карты раскроя плитного материала (фанера, формат листа 2500×1250 мм), сформированной в автоматизированной программе WoodNest Basic от компании HOMAG Group

С помощью оптимизации раскроя листов решаются задачи экономного использования материала [20, 44, 45].

Кроме того, карта раскроя содержит и информацию о контурах вырезаемых деталей и об их положении на листе. При разработке карт раскроя часть деталей может быть размещена во внутренних контурах других деталей [46].

Работа программы автоматизированного раскроя заключается в формировании множества допустимых вариантов карт раскроя, их сравнительной оценке по заданной шкале критериев и выборе наиболее подходящего варианта.

Карты раскроя, формируемые в автоматическом режиме, в большинстве случаев оптимальны по всей совокупности заданных критериев и параметров раскроя и не требуют последующей доработки. Однако при небольшой глубине перебора и в некоторых других случаях может возникнуть необходимость ручного редактирования карт [47, 48].

Для совершенствования автоматизированного размещения деталей на карте раскроя необходимо: иметь возможность учитывать направление текстуры (для облицованных плит); размещать мелкие детали ближе к центру листа; настроить приоритет конкретного критерия (например, максимального значения коэффициента использования материала). Кроме того, после формирования варианта расположения деталей должна быть возможность перемещать и поворачивать их на определенный угол на карте раскроя.

3. *Проектирование маршрута движения режущего инструмента по раскройной карте.* На данном этапе проектирования УП осуществляется процесс назначения маршрута обработки – последовательности обработки деталей и траектории перемещения режущего инструмента. Здесь возникает задача оптимизации маршрута режущего инструмента [34, 49].

В процессе назначения маршрута необходимо иметь такие возможности, как выбор деталей, которые будут обрабатываться в первую очередь; определение последовательности обработки деталей, исключая смещение и образование запилы уже обработанных деталей; обработка в первую очередь пазов, углублений, отверстий, а затем контуров деталей; выбор режимов обработки и инструмента по отдельным операциям; объединение деталей в блоки (мультиконтурная обработка), объединение линий (траектории движения фрезы), формирующие последний рез деталей в общую линию (рис. 3) [20, 50].

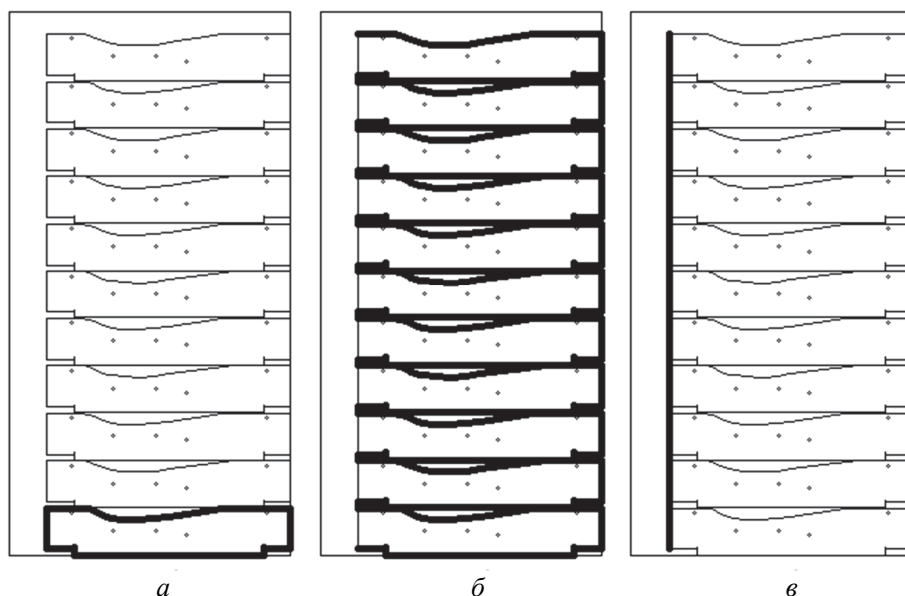


Рис. 3. Варианты обработки деталей на карте раскроя:

а – обработка последовательно каждой детали; *б* – обработка группы деталей, объединенной в блок; *в* – объединение траекторий движения инструмента в одну линию

4. *Генерирование УП для конкретного вида станка с ЧПУ.* Финальным продуктом САМ-системы является код УП, формируемый при помощи постпроцессора.

Постпроцессор – программный модуль для преобразования управляющей траектории (движения инструмента и технологических команд), сформированной CAD/CAM-системой, в УП для станка с ЧПУ.

Для того чтобы абстрагироваться от большого разнообразия станков, систем ЧПУ и языков программирования обработки, САМ-система генерирует промежуточный файл, содержащий информацию о траектории, об угле поворота инструмента, а также обобщенные команды управления станком. Далее в работу вступает постпроцессор, преобразующий этот промежуточный файл в программу обработки в строгом соответствии с форматом программирования конкретного станка с ЧПУ [20, 23, 26].

Важной особенностью современных САМ-систем являются встроенные средства проверки корректности сгенерированных программ. Универсальные постпроцессоры позволяют работать со многими известными CAD/CAM-системами [49, 51].

Заключение. Анализ литературных данных позволяет выделить основные особенности, связанные с применением технологии раскроя плитных материалов концевыми фрезами:

1) виды и характер работ по технологической подготовке производства в технологии раскроя плитных материалов концевыми фрезами на оборудовании с ЧПУ существенно отличаются от работ, проводимых при использовании обычного универсального и специального оборудования. Прежде всего значительно возрастает сложность технологических задач и трудоемкость технологической подготовки. Появляется принципиально новый элемент технологического процесса – УП, для разработки и отладки которой требуются дополнительные затраты средств и времени;

2) для эффективного использования оборудования с ЧПУ, работающего по такой технологии, необходима автоматизированная подготовка исходных данных;

3) разработка УП – сложный и трудоемкий процесс, во многом определяющий эффективность использования оборудования с ЧПУ и качество обрабатываемых деталей;

4) проектирование УП для оборудования с ЧПУ при раскрое плитных полноформатных материалов концевыми фрезами с применением автоматизации включает следующие основные этапы:

- геометрическое моделирование деталей (заготовок) и кодирование их геометрии с применением САД-систем;
- разработка оптимальных карт раскроя плитных материалов с применением автоматизированных программ;
- проектирование маршрута режущего инструмента по раскройной карте;
- генерирование УП для конкретного вида станка с ЧПУ с применением САМ-систем.

Таким образом, раскройные операции, являясь началом большинства производственных процессов, оказывают существенное влияние на трудоемкость и экономичность изготовления изделий.

Автоматизация технологической подготовки раскроя плитных материалов концевыми фрезами и ее совершенствование позволит сократить сроки внедрения в производство новых изделий, повысить качество подготовки УП и производительность труда технологов, а также усовершенствовать существующие технологические процессы.

Список литературы

1. Батырева И. М., Терёхин А. В. Проблемы технологической подготовки управляющих программ ЧПУ в производстве изделий из древесины. Цифровые технологии в лесном секторе: материалы II Всерос. науч.-техн. конф.-вебинара. Санкт-Петербург, 18–19 февр. 2021 г. СПб., 2021. С. 23–25.
2. Алексеев Н. С. Основы САПР технологических процессов: учеб. пособие. Рубцовск: РИО, 2023. 199 с.
3. Бунаков П. Ю., Рудин Ю. И., Стариков А. В. Основы автоматизированного проектирования изделий и технологических процессов: учебник. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2007. 194 с.
4. Акулович Л. М. Компьютерное проектирование и САПР технологических процессов: пособие. Минск: БГАТУ, 2009. 200 с.
5. Батырева И. М., Бунаков П. Ю. Автоматизация конструирования и технологической подготовки производства корпусной мебели: учеб. пособие. М.: МГУЛ, 2007. 392 с.
6. Бунаков П. Ю., Стариков А. В. Автоматизация проектирования корпусной мебели: основы, инструменты, практика. М.: ДМК Пресс, 2023. 852 с.
7. Бунаков П. Ю. Новые технологии автоматизированного раскроя материалов для мебельного производства. Коломна: МГОСГИ, 2013. 275 с.
8. Потылицын Д. А., Мелешко А. В., Романова С. С. Использование унифицированных технологических процессов деревообработки при автоматизированном проектировании // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2020. № 58. С. 191–196.
9. Шамов С. А. Автоматизация подготовки управляющих программ для станков с ЧПУ в условиях информационно-технологической среды: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 24.03.11. М., 2011. 23 с.
10. Технология машиностроения. Курсовое проектирование: учеб. пособие / М. М. Кане [и др.]. Минск: Выш. шк., 2013. 311 с.
11. Каштальян И. А. Программирование и наладка станков с числовым программным управлением: учеб.-метод. пособие. Минск: БНТУ, 2015. 136 с.
12. Технология деревообрабатывающей и мебельной промышленности. Термины и определения: ГОСТ 17743–2016. М.: Стандартинформ, 2017. 19 с.
13. Падерин В. А. Некоторые аспекты нестинга // ЛесПромИнформ. 2013. № 2 (92). С. 140–142.
14. Технология Nesting (Нестинг) // СтанкоТИМ. URL: <https://stankoteam.ru/info/articles/tekhnologiya-nesting-nesting/?ysclid=m845jk2ojf261484551> (дата обращения: 12.05.2025).
15. Громов В. В., Трофимов С. П. Особенности подготовки производства в технологии раскроя плитных материалов концевыми фрезами // Лесная инженерия, материаловедение

и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 29 янв. – 16 февр. 2024. г. Минск, 2024. С. 156–158.

16. Технология нестинг (nesting) в мебельном производстве // Международный Мебельный Консалтинговый Центр. URL: <https://mmkc.su/novichkam/nesting-mebelnoe-proizvodstvo/?ysclid=mjqse1obec553407558> (дата обращения: 11.03.2025).

17. Киллинг К. В., Бунаков П. Ю. К вопросу об автоматизации технологии нестинг в мебельном производстве // Евразийский Союз Ученых (ЕСУ). 2015. № 3 (12). С. 78–80.

18. Погружение в ЧПУ нестинг: как современные технологии меняют распиловку // T-tech. URL: <https://ttehspb.ru/articles/pogruzhenie-v-chpu-nesting-kak-sovremennye-tehnologii-menyayut-raspilovku/?ysclid=mg51dddp2n148810181> (дата обращения: 11.05.2025).

19. Технология Нестинг: плюсы и минусы // Green Tools. URL: <https://www.gt-tools.shop/blogs/blog/tehnologiya-nesting-plyusy-i-minusy?ysclid=mjqpg29u3p356155912> (дата обращения: 13.03.2025).

20. Громов В. В., Игнатович Л. В. Вопросы совершенствования автоматизированной технологической подготовки раскроя плитных материалов концевыми фрезами // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 89-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 3–16 февр. 2025 г. Минск, 2025. С. 151–155.

21. Основы разработки управляющих программ для станков с ЧПУ в системе Siemens NX: учеб. пособие / М. С. Аносов [и др.]. Н. Новгород: Нижегород. гос. техн. ун-т им. Р. Е. Алексеева, 2019. 110 с.

22. Грибанов А. А., Козельчук Д. О. Разработка управляющих программ для создания декоративных элементов мебели на станках с ЧПУ в SHEETCAM // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2, № 4–3 (9–3). С. 337–340.

23. Ловыгин А. А., Теверовский Л. В. Современный станок с ЧПУ и CAD/CAM-система. М.: ДМК Пресс, 2012. 279 с.

24. Самое популярное программное обеспечение CAD/CAM 2025 года для обработки на станках с ЧПУ // STYLECNC. URL: <https://www.stylecnc.ru/cnc-software/cad-cam-software.html?ysclid=mjqquudfj486196602> (дата обращения: 13.03.2025).

25. Красильникова Г. Автоматизация инженерно-графических работ. СПб.: Питер, 2000. 256 с.

26. Липин А. А. Системы автоматизированного проектирования: учеб. пособие. Иваново: Иван. гос. хим.-технол. ун-т, 2018. 108 с.

27. Оголь И. И. Создание управляющих программ с помощью САМ-систем. Томск: ТПУ, 2014. 46 с.

28. Казанцев М. С. Основные факторы, влияющие на трудоемкость разработки управляющих программ на современных САМ-системах // Национальная ассоциация ученых. 2015. № 3 (8). С. 63–66.

29. Система автоматизированного проектирования управляющих программ для станков с ЧПУ // Техтран. URL: https://tehtran.com/sites/default/files/pdf-files/multidrill_0.pdf (дата обращения: 13.03.2025).

30. Создание управляющих программ для станков с ЧПУ в системе «T-Flex ЧПУ 2D». Оренбург: ОГУ, 2008. 57 с.

31. Федоренко А. М., Жолобов А. А. Технология обработки на станках с ЧПУ: учеб. пособие. Минск: РИВШ, 2023. 440 с.

32. Брыкин А. С., Стариков А. В. Сквозная информационная поддержка позаказного промышленного производства корпусной мебели // Лесотехнический журнал. 2013. № 3 (11). С. 76–82.

33. Бунаков П. Ю. БАЗИС: методика автоматизированного раскроя материалов // САПР и графика. 2009. № 6 (152). С. 64–66.

34. Уколов С. С. Разработка алгоритмов оптимальной маршрутизации инструмента для САПР управляющих программ машин листовой резки с ЧПУ: дис. ... канд. техн. наук. Екатеринбург, 2022. 135 л.
35. Разработка управляющей программы для станков с ЧПУ: учеб.-метод. пособие / М. В. Моршилов [и др.]. М.: МАДИ, 2017. 48 с.
36. Полное руководство по файлам ЧПУ и форматам САПР // Pro. Lean. URL: <https://proleantech.com/ru/cnc-files-and-cad-formats> (дата обращения: 12.05.2025).
37. Трофимов С. П., Пардаев А. С. Конструирование и производство столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2011. 521 с.
38. БАЗИС-ЧПУ – эффективный подход к разработке управляющих программ // САПР и графика. URL: <https://sapr.ru/article/20114?ysclid=m8sbue8can127315859> (дата обращения: 13.03.2025).
39. Трофимов С. П., Пардаев А. С. Автоматизация конструирования и подготовки производства мебели: учеб. пособие. Минск: Колорград, 2021. 100 с.
40. Маркова М. И. Автоматизация конструкторского и технологического проектирования: учеб. пособие. Барнаул: АлтГТУ, 2013. 47 с.
41. Жарков Н. В., Финков М. В. AutoCAD 2020. Полное руководство. СПб.: Наука и техника, 2020. 640 с.
42. Модуль Базис-ЧПУ. Руководство пользователя // Центр Мебельных Программ. URL: https://cm-soft.ru/wp-content/themes/cmsoft/files/progs/manual_bazis-cpu.pdf (дата обращения: 13.03.2025).
43. DXF-Postprozessor 5.0 Basic // HOMAG. URL: https://www.homag.com/fileadmin/software/downloads/woodwop-dxf_import_basic.pdf (дата обращения: 12.05.2025).
44. Бунаков П. Ю. Технология оптимального раскроя материалов в САПР БАЗИС // САПР и графика. 2007. № 9. С. 18–21.
45. Федорина Е. В., Дьяков И. Ф. Применение САПР для автоматизации проектирования раскроя // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2023. № 1 (101). С. 29–34.
46. Бурылов А. В., Мурзакаев Р. Т., Приступов В. С. Автоматическое и интерактивное формирование маршрута режущего инструмента в программном комплексе раскроя // Приволжский научный вестник. 2016. № 1 (53). С. 32–37.
47. Бунаков П. Ю., Киллинг К. В. Новый модуль автоматизации раскроя материалов в системе БАЗИС // САПР и графика. 2020. № 4 (282). С. 58–63.
48. Петунин А. А. Методологические и теоретические основы автоматизации проектирования раскроя листовых материалов на машинах с числовым программным управлением: автореф. дис. ... д-ра техн. наук. Уфа, 2010. 32 с.
49. Аввакумов А. Постпроцессоры как эффективное средство повышения производительности оборудования // САПР и графика. 2011. № 5 (175). С. 44–46.
50. Бунаков П., Лопатин А., Федоров М. БАЗИС-ЧПУ: возможности и перспективы // САПР и графика. 2024. № 8 (336). С. 60–65.
51. Зинченко Д. Постпроцессоры и результат // САПР и графика. 2019. № 5 (271). С. 44–52.

References

1. Batyreva I. M., Terekhin A. V. Problems of Technological Preparation of CNC Control Programs in the Production of Wood Products. *Tsifrovyye tekhnologii v lesnom sektore: materialy II Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii-vebinara* [Digital Technologies in the Forestry Sector: Proceedings of the 2nd All-Russian Scientific and Technical Conference-Webinar]. St. Petersburg, 2021, pp. 23–25 (In Russian).

2. Aleksev N. S. *Osnovy SAPR tekhnologicheskikh protsessov: uchebnoe posobie* [Fundamentals of CAD of Technological Processes: a textbook]. Rubtsovsk: RIO Publ., 2023. 199 p. (In Russian).
3. Bunakov P. Yu., Rudin Yu. I., Starikov A. V. *Osnovy avtomatizirovannogo proyektirovaniya izdeliy i tekhnologicheskikh protsessov: uchebnik* [Fundamentals of Computer-Aided Design of Products and Technological Processes: Textbook]. Moscow, Bauman Moscow State Technical University Publ., 2007. 194 p. (In Russian).
4. Akulovich L. M. *Komp'yuternoye proyektirovaniye i SAPR tekhnologicheskikh protsessov: posobiye* [Computer-aided design and CAD of technological processes: manual]. Minsk, BGATU Publ., 2009. 200 p. (In Russian).
5. Batyreva I. M., Bunakov P. Yu. *Avtomatizatsiya konstruirovaniya i tekhnologicheskoy podgotovki proizvodstva korpusnoy mebeli: uchebnoye posobiye* [Automation of design and technological preparation for production of cabinet furniture: a textbook]. Moscow, State University of Forestry Publ., 2007. 392 p. (In Russian).
6. Bunakov P. Yu., Starikov A. V. *Avtomatizatsiya proyektirovaniya korpusnoy mebeli: osnovy, instrumenty, praktika* [Automation of cabinet furniture design: fundamentals, tools, practice]. Moscow, DMK Press Publ., 2023. 852 p. (In Russian).
7. Bunakov P. Yu. *Novyye tekhnologii avtomatizirovannogo raskroya materialov dlya mebel'nogo proizvodstva* [New technologies of automated cutting of materials for furniture production]. Kolomna, Moscow State Regional Social and Humanitarian Institut Publ., 2013. 275 p. (In Russian).
8. Potylitsyn D. A., Meleshko A. V., Romanova S. S. Using standardized technological processes of woodworking in automated design. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forestry complex], 2020, no. 58, pp. 191–196 (In Russian).
9. Shamov S. A. *Avtomatizatsiya podgotovki upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v usloviyakh informatsionno-tekhnologicheskoy sredy. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Automation of the preparation of control programs for CNC machines in the conditions of the information technology environment. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Moscow, 2011. 23 p. (In Russian).
10. Kane M. M., Medvedev A. A., Kashtal'yan I. A., Babuk I. M., Krivko G. P., Sheleg V. K., Skhirtladze A. G. *Tekhnologiya mashinostroyeniya. Kursovoye proyektirovaniye: uchebnoye posobiye* [Mechanical engineering technology. Course design: textbook]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 2013. 311 p. (In Russian).
11. Kashtalyan I. A. *Programmirovaniye i naladka stankov s chislovym programmnyim upravleniyem: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Programming and adjustment of machines with numerical program control: a training and methodological manual]. Minsk, BNTU Publ., 2015. 136 p. (In Russian).
12. GOST 17743–2016. Technology of woodworking and furniture industry. Terms and definitions. Moscow, Standartinform Publ., 2017. 19 p. (In Russian).
13. Paderin V. A. Some aspects of nesting. *LesPromInform* [LesPromInform], 2013, no. 2 (92), pp. 140–142 (In Russian).
14. Nesting technology. Available at: <https://stankoteam.ru/info/articles/tekhnologiya-nesting-nesting/?ysclid=m845jk2ojf261484551> (accessed 12.05.2025) (In Russian).
15. Gromov V. V., Trofimov S. P. Features of production preparation in the technology of cutting plate materials with end mills. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest engineering, materials science and design: proceedings of the 88th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2024, pp. 156–158 (In Russian).
16. Nesting Technology in Furniture Production. Available at: <https://mmkc.su/novichkam/nesting-mebelnoe-proizvodstvo/?ysclid=mjqse1obec553407558> (accessed 11.03.2025) (In Russian).

17. Killing K. V., Bunakov P. Yu. On the Issue of Automation of Nesting Technology in Furniture Production. *Evrasiyskiy Soyuz Uchenykh* (ESU) [Eurasian Union of Scientists (ESU)], 2015, no. 3 (12), pp. 78–80 (In Russian).
18. CNC Nesting: how modern technologies are changing sawing. Available at: <https://ttehsb.ru/articles/pogruzhenie-v-chpu-nesting-kak-sovremennye-texnologii-menyayut-raspilovku/?ysclid=mg51dddp2n148810181> (accessed 11.05.2025) (In Russian).
19. Nesting Technology: Pros and Cons. Available at: <https://www.gt-tools.shop/blogs/blog/tehnologiya-nesting-plyusy-i-minusy?ysclid=mjqpg29u3p356155912> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
20. Gromov V. V., Ignatovich L. V. Issues of improving automated technological preparation for cutting plate materials with end mills. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 89-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest engineering, materials science and design: proceedings of the 89th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2025, pp. 151–155 (In Russian).
21. Anosov M. S., Kanevskiy G. N., Mansurov R. Sh., Sorokin S. B. *Osnovy razrabotki upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v sisteme Siemens NX: uchebnoye posobiye* [Fundamentals of developing control programs for CNC machine tools in the Siemens NX system: a tutorial]. Nizhny Novgorod, Nizhny Novgorod State Technical University named after R. E. Alekseev Publ., 2019. 110 p. (In Russian).
22. Gribov A. A., Kozelchuk D. O. Developing Control Programs for Creating Decorative Furniture Elements on CNC Machine Tools in SHEETCAM. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current Research Trends in the 21st Century: Theory and Practice], 2014, Vol. 2, no. 4–3 (9–3), pp. 337–340 (In Russian).
23. Lovygin A. A., Teverovsky L. V. *Sovremennyy stanok s ChPU i CAD/CAM-Sistema* [Modern CNC Machine Tool and CAD/CAM System]. Moscow, DMK Press Publ., 2012. 279 p. (In Russian).
24. The most popular CAD/CAM software for CNC machining in 2025. Available at: <https://www.stylecnc.ru/cnc-software/cad-cam-software.html?ysclid=mjqquudfj486196602> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
25. Krasilnikova G. *Avtomatizatsiya inzhenerno-graficheskikh rabot* [Automation of Engineering and Graphic Work]. St. Petersburg, Piter Publ., 2000. 256 p. (In Russian).
26. Lipin A. A. *Sistemy avtomatizirovannogo proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Computer-aided design systems: textbook]. Ivanovo, Ivanovsk State Shemical-Technological University Publ., 2018. 108 p. (In Russian).
27. Ogol I. I. *Sozdaniye upravlyayushchikh programm s pomoshch'yu CAM-sistem* [Creating control programs using CAM systems]. Tomsk, TPU Publ., 2014. 46 p. (In Russian).
28. Kazantsev M. S. Main factors influencing the labor intensity of developing control programs on modern CAM systems. *Natsional'naya assotsiatsiya uchenykh* [National Association of Scientists], 2015, no. 3 (8), pp. 63–66 (In Russian).
29. Computer-aided design system for control programs for CNC machine tools. Available at: https://tehtran.com/sites/default/files/pdf-files/multidrill_0.pdf (accessed 13.03.2025) (In Russian).
30. *Sozdaniye upravlyayushchikh programm dlya stankov s ChPU v sisteme T-Flex ChPU 2D* [Creation of control programs for CNC machines in the T-Flex CNC 2D system]. Orenburg, Orenburg State University Publ., 2008. 57 p. (In Russian).
31. Fedorenko A. M., Zholobov A. A. *Tekhnologiya obrabotki na stankakh s ChPU: uchebnoye posobiye* [Machining technology on CNC machines: a tutorial]. Minsk, RIVSh Publ., 2023. 440 p. (In Russian).
32. Brykin A. S., Starikov A. V. End-to-end information support for custom-made industrial production of cabinet furniture. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Journal], 2013, no. 3 (11), pp. 76–82 (In Russian).

33. Bunakov P. Yu. BASIS: a methodology for automated cutting of materials. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2009, no. 6 (152), pp. 64–66 (In Russian).
34. Ukolov S. S. *Razrabotka algoritmov optimal'noy marshrutizatsii instrumenta dlya SAPR upravlyayushchikh programm mashin listovoy rezki s ChPU. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Development of algorithms for optimal tool routing for CAD control programs of CNC sheet metal cutting machines. Dissertation PhD (Engineering)]. Ekaterinburg, 2022. 135 p. (In Russian).
35. Morshhilov M. V., Aleksandrov V. D., Djomin P. E., Nigmatzjanov R. I. *Razrabotka upravlyayushchey programmy dlya stankov s ChPU: uchebno-metodicheskoye posobiye* [Development of a control program for CNC machine tools: a teaching aid]. Moscow, MADI Publ., 2017. 48 p. (In Russian).
36. A complete guide to CNC files and CAD formats. Available at: <https://proleantech.com/ru/cnc-files-and-cad-formats> (accessed 12.05.2025) (In Russian).
37. Trofimov S. P., Pardaev A. S. *Konstruirovaniye i proizvodstvo stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Design and production of joinery and construction products]. Minsk, BSTU Publ., 2011. 521 p. (In Russian).
38. BASIS-CNC: an effective approach to developing control programs. Available at: <https://sapr.ru/article/20114?ysclid=m8sbue8can127315859> (accessed 13.03.2025) (In Russian).
39. Trofimov S. P., Pardaev A. S. *Avtomatizatsiya konstruirovaniya i podgotovki proizvodstva mebeli: uchebnoye posobiye* [Automation of design and preparation for furniture production: a tutorial]. Minsk, Colorgrad Publ., 2021. 100 p. (In Russian).
40. Markova M. I. *Avtomatizatsiya konstruktorskogo i tekhnologicheskogo proyektirovaniya: uchebnoye posobiye* [Automation of design and technological engineering: a tutorial]. Barnaul, Altai State Technical University Publ., 2013. 47 p. (In Russian).
41. Zharkov N. V., Finkov M. V. *AutoCAD 2020. Polnoye rukovodstvo* [AutoCAD 2020. Complete Guide]. St. Petersburg, Nauka i Tekhnika Publ., 2020. 640 p. (In Russian).
42. Basis-CNC Module. User's Manual. Available at: https://cm-soft.ru/wp-content/themes/cmsoft/files/progs/manual_bazis-cpu.pdf (accessed 13.03.2025) (In Russian).
43. DXF-Postprozessor 5.0 Basic. Available at: https://www.homag.com/fileadmin/software/downloads/woodwop-dxf_import_basic.pdf (accessed 12.05.2025) (In Russian).
44. Bunakov P. Yu. Technology of Optimal Cutting of Materials in CAD System BASIS. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2007, no. 9, pp. 18–21 (In Russian).
45. Fedorina E. V., Dyakov I. F. Application of CAD Systems for Automation of Cutting Design. *Vestnik Ul'yanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta* [Bulletin of the Ulyanovsk State Technical University], 2023, no. 1 (101), pp. 29–34 (In Russian).
46. Burylov A. V., Murzakaev R. T., Pristupov V. S. Automatic and interactive formation of a cutting tool route in a cutting software package. *Privolzhskiy nauchnyy vestnik* [Privolzhsky Scientific Bulletin], 2016, no. 1 (53), pp. 32–37 (In Russian).
47. Bunakov P. Yu., Killing K. V. New module for automation of materials cutting in the BASIS system. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2020, no. 4 (282), pp. 58–63 (In Russian).
48. Petunin A. A. *Metodologicheskiye i teoreticheskiye osnovy avtomatizatsii proyektirovaniya raskroya listovykh materialov na mashinakh s chislovym programmnyy upravleniyem. Avtoreferat dissertatsii doktora tekhnicheskikh nauk* [Methodological and theoretical foundations of automation of design of cutting of sheet materials on machines with numerical control. Abstract of thesis DSc (Engineering)]. Ufa, 2010. 32 p. (In Russian).
49. Avvakumov A. Postprocessors as an effective means of increasing equipment productivity. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2011, no. 5 (175), pp. 44–46 (In Russian).
50. Bunakov P., Lopatin A., Fedorov M. BASIS-CNC: Possibilities and Prospects. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2024, no. 8 (336), pp. 60–65 (In Russian).
51. Zinchenko D. Postprocessors and the Result. *SAPR i grafika* [CAD and graphics], 2019, no. 5 (271), pp. 44–52 (In Russian).

Информация об авторах

Громов Василий Васильевич – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: GRVV06@gmail.com, GRV-6@tut.by.

Игнатович Людмила Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com.

Information about the author

Gromov Vasilij Vasilyevich – PhD student, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: GRVV06@gmail.com, GRV-6@tut.by.

Ignatovich Lyudmila Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ignatovich@belstu.by, lignatovich6@gmail.com.

Поступила 15.10.2025

УДК 674.032.3:630*812

Е. А. Лосик

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОГО
МОДИФИЦИРОВАНИЯ НА ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИЕ
ХАРАКТЕРИСТИКИ ШПОНА ДРЕВЕСИНЫ БЕРЕЗЫ**

В статье представлены результаты комплексного экспериментального исследования технологических факторов термомеханической модификации (уплотнения) шпона из древесины березы и их влияние на его физико-механические характеристики. Проанализированы изменения толщины и плотности материала, а также оценены характеристики истираемости и шероховатости уплотненного шпона. Установлено, что оптимальный режим уплотнения достигается при давлении пресса 17 МПа, температуре 80–90 °С и времени выдержки 1 мин, что способствует увеличению плотности шпона на 20% и снижению потери массы при истирании до 5% по сравнению с потерей около 20% у натурального шпона.

Разработанные математические модели, описывающие технологический процесс, подтверждены статистической проверкой с критериями Кохрена и Фишера, что свидетельствует о высокой надежности и стабильности характеристик.

Полученные результаты подчеркивают значительный потенциал уплотненного шпона как конструкционного и декоративного материала, устойчивого к механическим нагрузкам, истиранию и воздействию влаги. Это расширяет область его применения в строительстве, мебельной и отделочной промышленности. Далее рекомендуется продолжить исследование уплотненных древесных материалов для повышения качества продукции и оптимизации технологий обработки.

Ключевые слова: термомеханическое модифицирование, уплотнение, физико-механическая характеристика, шпон.

Для цитирования: Лосик Е. А. Влияние технологических факторов термомеханического модифицирования на физико-механические характеристики шпона древесины березы // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 103–113. DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-9.

Е. А. Losik

Belarusian State Technological University

**INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL FACTORS OF THERMOMECHANICAL
MODIFICATION ON THE PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS
OF BIRCH WOOD VENEER**

This article presents the results of a comprehensive experimental study of the process factors involved in the thermomechanical modification (compaction) of birch veneer and their impact on its physical and mechanical properties. Changes in the thickness and density of the material are analyzed, and the abrasion and roughness characteristics of the compacted veneer are assessed. It was found that optimal compaction is achieved at a press pressure of 17 MPa, a temperature of 80–90 °C, and a holding time of 1 minute. This results in a 20% increase in veneer density and a reduction in weight loss due to abrasion to 5%, compared to approximately 20% for natural veneer.

The developed mathematical models describing the technological process were validated by statistical testing using the Cochran and Fisher criteria, demonstrating high reliability and stability of the characteristics.

These results highlight the significant potential of densified veneer as a structural and decorative material resistant to mechanical stress, abrasion, and moisture. This expands its application in the construction, furniture, and finishing industries. Further research into densified wood materials is recommended to improve product quality and optimize processing technologies.

Keywords: thermomechanical modification, compaction, physical and mechanical characteristics, veneer.

For citation: Losik E. A. Influence of technological factors of thermomechanical modification on the physical and mechanical characteristics of birch wood veneer. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 103–113 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-9.

Введение. При разработке новых строительных и конструкционных материалов на древесной основе приоритет отдается, прежде всего, физико-механическим характеристикам, обеспечивающим долговечность и надежность изделий в различных условиях эксплуатации. Хотя такие критерии, как экологичность и энергоресурсоемкость, изначально могут отходить на второй план, в конечном итоге они оказывают значительное влияние на экономическую эффективность и конкурентоспособность материала на рынке. С учетом современных трендов в области устойчивого развития и возобновляемых ресурсов растет интерес к традиционным древесным материалам. Древесина и древесные материалы, в частности шпон, – классический пример материалов, обладающих высокой прочностью при относительно низком удельном весе. Новейшие технологические решения позволяют древесине и древесным материалам конкурировать по эксплуатационным характеристикам с металлами, полимерами и керамикой.

В контексте изложенного, актуальной задачей является разработка методов целенаправленного улучшения характеристик древесного материала (шпона), направленных на повышение его конструкционных и эксплуатационных свойств, что позволяет расширить применение шпона в производстве клееных композитных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий.

Целью настоящего исследования является изучение режимов уплотнения на физико-механические свойства модифицированного шпона березы в производстве высококачественных материалов и изделий.

Основная часть. Улучшение физико-механических и технологических характеристик древесины достигается посредством термомеханического уплотнения, обеспечивающего повышение плотности и прочности материала без разрушения волокнистой структуры. Исследования в этой области установили количественные зависимости между такими параметрами уплотнения, как давление, температура прессования, время выдержки, и конечными физико-механическими показателями [1–4]. Основываясь на современных технологических требованиях и анализе рынка строительных материалов, можно сказать, что прессование является наиболее эффективным и экономичным способом уплотнения шпона.

С физической точки зрения древесина представляет собой сложный биоматериал с многокомпонентной структурой, характеризующейся широким диапазоном пористости, достигающей до 50% объема. Технология термомеханического модифицирования шпона, включающая уплотнение под действием давления и температуры, позволяет значительно повысить его твердость, прочность, а также устойчивость к деформациям и изменениям геометрических параметров, расширяя область применения материала в конструкционных решениях [1, 2].

В процессе исследований для установления зависимостей между технологическими параметрами и физико-механическими характеристиками использовались методы планирования экспериментов полного факторного типа и *В*-план второго порядка [5].

В качестве факторов, влияющих на физико-механические характеристики древесины, были исследованы:

- $x_1 (P)$ – давление плит пресса, МПа;
- $x_2 (T)$ – температура плит пресса, °С;
- $x_3 (t)$ – время прессования, мин.

Диапазоны изменения каждого параметра рассчитываются на основании предварительных опытных данных и соответствуют требованиям ГОСТ 16483.0–93 [6–11] и рекомендациям по древесным материалам (табл. 1).

Таблица 1. Условия проведения эксперимента
по термомеханическому модифицированию древесины и березы

Уровни варьирования	Параметры		
	P	T	t
Основной уровень (x_j^0)	16,7	90	1,0
Интервал варьирования (x_j)	3,0	20	0,5
Верхний уровень +1 ($x_j^{\max}$)	19,6	100	1,5
Нижний уровень –1 ($x_j^{\min}$)	14,7	80	0,5

Уровни параметров обозначают границы исследуемой области для каждого технологического показателя.

Основной уровень находили по формуле (1):

$$x_j^0 = \frac{x_j^{\max} - x_j^{\min}}{2}. \quad (1)$$

Интервал варьирования определили по формуле (2):

$$\Delta x_j^0 = \frac{x_j^{\max} - x_j^{\min}}{2}. \quad (2)$$

Статистическая обработка результатов определения показателей физико-механических свойств древесины выполнялась согласно методике, описанной в работе А. А. Пижурина [5].

Математические модели оценивались с применением следующих критериев:

- изменчивость выходного показателя в сериях (по критерию Кохрена G);
- значимость коэффициентов регрессии (по критерию Стьюдента t);
- адекватность модели (с использованием критерия Фишера F).

Математические модели допускались к дальнейшему использованию исключительно после подтверждения их адекватности посредством F -критерия и положительного результата проверки дисперсии по критерию Кохрена.

В B -план, состоящий из точек полного факторного плана (ПФП), было добавлено $2k$ звездных точек, таким образом общее число опытов стало 3:

$$N = 2^k + 2k = 14. \quad (3)$$

где k – количество факторов.

Матрица планирования B -плана для $k = 3$ представлена в табл. 2.

Таблица 2. Матрица планирования эксперимента по термомеханическому модифицированию древесины ольхи и березы

План	Номер опыта	Факторы						y_{ji}
		x_1	x_2	x_3	P	T	t	
ПФП	1	+	+	+	19,6	100	1,5	y_1
	2	–	+	+	14,7	100	1,5	y_2
	3	+	–	+	19,6	80	1,5	y_3
	4	–	–	+	14,7	80	1,5	y_4
	5	+	+	–	19,6	100	0,5	y_5
	6	–	+	–	14,7	100	0,5	y_6
	7	+	–	–	19,6	80	0,5	y_7
	8	–	–	–	14,7	80	0,5	y_8
Звездные точки	9	+	0	0	19,6	90	1,0	y_9
	10	–	0	0	14,7	90	1,0	y_{10}
	11	0	+	0	17,5	100	1,0	y_{11}
	12	0	–	0	17,5	80	1,0	y_{12}
	13	0	0	+	17,5	90	1,5	y_{13}
	14	0	0	–	17,5	90	0,5	y_{14}

Матрица планирования позволяет систематически и эффективно организовать эксперимент, обеспечивая всестороннее влияние всех факторов и их взаимодействий на исследуемые параметры. Это дает возможность получить независимую и точную оценку эффектов факторов, минимизируя количество необходимых опытов и повышая надежность моделирования.

Экспериментальные данные обрабатывались и анализировались с применением современных программных средств, в частности MS Excel, что обеспечивало высокую точность и математическую достоверность регрессионного моделирования.

Выбор количества повторов опыта, обозначенного как n , основывался на критериях нормальности распределения данных, постоянстве дисперсии и допустимой относительной ошибке ε , не превышающей 5%. Для исключения выбросов применялся критерий Стьюдента с уровнем значимости 0,05, обеспечивающий статистическую стабильность результатов.

Такой подход позволяет обеспечить достаточную точность результатов, не требуя при этом чрезмерного увеличения объема выборки. После проведения экспериментов были вычислены ключевые статистические параметры. Определено выборочное среднее $\bar{Y}$, которое представляет собой среднее значение всех наблюдений в выборке. Рассчитана дисперсия S^2 , которая показывает, насколько сильно значения отклоняются от выборочного среднего. Вычислено среднеквадратическое отклонение S , которое является корнем из дисперсии. Рассчитан коэффициент вариации v , представляющий собой отношение среднеквадратического отклонения к выборочному среднему, выраженному в процентах. Этот коэффициент позволяет сравнивать степень вариации между различными наборами данных, даже если они имеют разные средние значения формулы (4–7).

$$\bar{Y} = \frac{(Y_1 + Y_2 + \dots + Y_n)}{n}; \quad (4)$$

$$S^2 = \frac{(Y_1 - \bar{Y})^2 + (Y_2 - \bar{Y})^2 + \dots + (Y_n - \bar{Y})^2}{n - 1}; \quad (5)$$

$$S = \sqrt{S^2}; \quad (6)$$

$$V = (S / Y) \cdot 100\%. \quad (7)$$

Далее было определено число повторов каждой серии опытов (формула (8)):

$$n = \frac{(t^2 \cdot v^2)}{\varepsilon^2}, \quad (8)$$

где t – табличное значение критерия Стьюдента, определяемое по предварительно заданному уровню значимости q и числу степеней свободы f .

Величина q во всех экспериментах принимается 0,05, а f находится из выражения, где n – количество значений в выборке [3] (формула (9)):

$$f = n - 1. \quad (9)$$

В ходе проведенного исследования, каждая серия экспериментов, включающая в себя множество отдельных измерений, подвергалась тщательному статистическому анализу. Для обработки данных использовались формулы (8) и (9).

Для обнаружения выбросов в выборке применялся критерий Стьюдента (Y_i), классический метод, предполагающий нормальное распределение данных и позволяющий определить, насколько сильно отдельное измерение отклоняется от остальных значений выборки. Если расчетное значение t -статистики для данного измерения превышало критическое значение, то это измерение считалось выбросом и временно исключалось из дальнейшей обработки. После исключения выбросов на основе оставшихся данных рассчитывались основные статистические характеристики: среднее арифметическое $\bar{Y}$ и выборочная дисперсия S^2 .

В итоге такой многоступенчатый подход гарантировал надежность и достоверность полученных результатов с минимальным влиянием случайных ошибок и выбросов. Далее вычислялась величина $t_{\text{расч}}$ (формула (10)):

$$t_{\text{расч}} = \frac{|Y_i - \bar{Y}|}{S}. \quad (10)$$

Из таблиц распределения Стьюдента [5] по выбранному уровню значимости q и числу степеней свободы f , связанному с дисперсией S^2 , находили табличное значение t -критерия ($t_{\text{табл}}$). Если соблюдалось условие $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$, то подозреваемый результат считался промахом и исключался из выборки.

Количество параллельных измерений по каждому из параметров, который определялся в ходе исследований, принимался равным 3.

Для проверки однородности нескольких дисперсий при равных объемах всех рассматриваемых выборок $n_1 = n_2 = n_3 = \dots = n_m$ использовали критерий Кохрена. Расчетное количество G вычисляли по формуле (11):

$$G_{\text{расч}} = \frac{S_{\text{max}}^2}{S_1^2 + S_2^2 + \dots + S_m^2}, \quad (11)$$

где S_{max}^2 – наибольшая из рассматриваемых дисперсий; $S_1^2, S_2^2, \dots, S_m^2$ – дисперсии, однородность которых проверяется; m – количество выборок.

Выбрав уровень значимости q , число степеней свободы f и количество выборок m , определялась величина $G_{\text{табл}}$. При выполнении условия $G_{\text{расч}} < G_{\text{табл}}$ принималась гипотеза об однородности дисперсий.

В результате экспериментов было установлено, что оптимальные условия для обработки древесины березы следующие: влажность 6–8%, температура прессования 80–90 °С, усилие прессования 17 МПа, время выдержки 1 мин. Эти параметры обеспечивали максимальное сжатие микроструктуры древесины и улучшали ее свойства.

Расчет однородности дисперсий опытов по исследованию степени уплотнения древесины березы показал, что: расчетный G -критерий Кохрена $G_p < G_{\text{табл}}$ ($0,000575 < 0,26$) при уровне значимости $q = 0,05$ [5].

Адекватность полученных уравнений была проверена по F -критерию Фишера, $F_p < F_{\text{табл}}$ ($1,00 < 4,46$) уравнение регрессии адекватно [5].

Таким образом, проведенный статистический анализ не только подтвердил нормальность распределения и постоянство дисперсии, но и обеспечил надежные оценки ключевых характеристик исследуемых данных. Это, в свою очередь, позволило сделать обоснованные выводы и рекомендации на основе полученных результатов.

После выявления оптимальных условий уплотнения проведена серия сравнительных испытаний, направленных на детальное исследование характеристик уплотненного шпона в сравнении с его неуплотненным аналогом. Одним из первых исследуемых параметров стала плотность материала, поскольку она является одним из ключевых показателей, напрямую влияющих на физико-механические свойства древесного материала.

Для оценки этого показателя использовался метод, описанный в ГОСТ 20800–75 [12], включающий измерение массы образца и его линейных размеров с последующим вычислением плотности по формуле, определяющей отношение массы к объему материала. Таким образом, плотность рассчитывалась как частное массы на объем:

$$\rho = \frac{m}{V}, \quad (12)$$

где ρ – плотность материала, г/см³; m – масса образца, г; V – объем материала, см³.

Подготовка испытуемых образцов шпона включала изготовление образцов с точными стандартными габаритами 100×100 мм для обеспечения соизмеримости результатов. Масса каждого образца измерялась с допуском точности $\pm 0,01$ г, линейные размеры – с точностью $\pm 0,1$ мм, а толщина – с максимальной точностью $\pm 0,01$ мм [12, 13].

Линейные параметры (длина и ширина) измерялись в двух точках с учетом ориентации, параллельной долевой и продольной кромкам, толщину образца измеряли в 5 заданных точках (по углам и в центре) согласно рис. 1. Для последующей обработки результатов использовалось среднее арифметическое 5 измерений толщины образца, проведенных в 5 заранее определенных точках: в центре и в четырех углах образца согласно ГОСТ 20800–75, что позволило учесть неоднородность структуры и минимизировать погрешности [12].

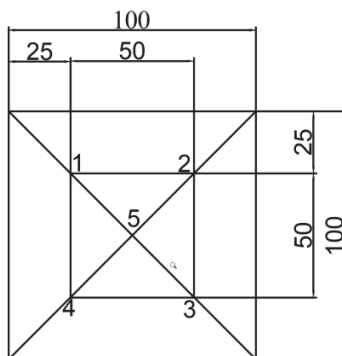


Рис. 1. Образец шпона с указанием линейных размеров и точек измерения толщины

Для каждого образца осуществлялось повторное серийное измерение параметров с целью получения репрезентативных усредненных значений, на основе которых рассчитывались достоверные и репрезентативные результаты. По ГОСТ 20800–75 рекомендуется использовать не менее трех образцов на каждый вид испытаний [12]. Однако чтобы повысить точность оценки и учесть возможную неоднородность материала, было решено взять большее число образцов – 5. Это обеспечило более надежное статистическое представление и минимизацию погрешностей при расчетах, а также повысило надежность полученных данных за счет вариаций внутри образца. Результаты по плотности и показателям уплотнения представлены в табл. 3.

Таблица 3. Данные плотности натурального и модифицированного шпона

Номер образца	Натуральный шпон	Уплотненный шпон
1	576,44	718,81
2	536,48	682,72
3	496,10	593,81
4	503,10	598,64
5	501,09	598,18
Среднее значение	522,64	651,10

Полученные данные однозначно демонстрируют увеличение плотности уплотненного шпона по сравнению с натуральным на 20 %, что свидетельствует о существенном снижении пористости и формировании более однородной и компактной волокнистой структуры. Увеличение плотности является определяющим фактором для последующих исследований прочностных и эксплуатационных параметров материала.

Исследование изменения толщины шпона проводилось по ранее описанной в ГОСТ 20800–75 [12] методике. Толщина определялась с точностью 0,01 мм в пяти фиксированных точках поверхностного профиля каждого образца. Среднее арифметическое значений толщины представлено в табл. 4.

Таблица 4. Результаты измерения толщины натурального и уплотненного шпона

Номер образца	Натуральный шпон	Уплотненный шпон
1	1,68	1,45
2	1,74	1,54
3	1,57	1,40
4	1,47	1,36
5	1,31	1,16
Среднее значение	1,56	1,18

Снижение толщины уплотненного шпона более чем на 20% обусловлено механическим воздействием давления и температуры, что способствует более плотному скреплению древесных волокон и уменьшению общей пористости. Корреляция между сокращением толщины и увеличением плотности подтверждает эффективность выбранного технологического режима уплотнения и положительное воздействие на структурную целостность материала.

Износостойкость образцов уплотненного и натурального шпона определялась весовым методом, реализованным на абразиметре Табера, который имитировал длительный механический износ материала, что и позволило оценить его сопротивление истиранию [14].

Для проведения испытаний были изготовлены стандартизированные образцы шпона двух типов – уплотненного и натурального – с одинаковыми геометрическими параметрами. Для обеспечения сопоставимости результатов давление абразивных дисков установлено одинаковым для всех образцов ($5,0 \pm 0,1$ Н). Это значение позволяет достаточно точно контролировать силы воздействия и оценивать износостойкость материалов, включая шпон.

Перед испытаниями каждый образец взвешивался с точностью до $\pm 0,001$ г, что позволило фиксировать малейшие изменения массы вследствие износа [13].

Испытания включали выполнение 5 циклов, каждый из которых представлял собой 200 оборотов рабочего стола абразиметра. После каждого цикла образцы подвергались повторному взвешиванию. 200 оборотов в испытаниях по истираемости на абразиметре Taber – это как минимальное количество циклов, достаточное для выявления начальных изменений поверхности материала и позволяющее оценить его износостойкость без чрезмерного износа образца. Режим в 1000 оборотов является стандартным испытательным режимом для получения устойчивых и репрезентативных данных об износостойкости. Этот параметр обеспечивал длительное воздействие абразивных кругов на материал, что позволило выявить механизмы изнашивания и сравнить различные материалы по способности сохранять свои свойства при эксплуатации [14].

Износостойкость I , г/1000 об., вычислялась по формуле (13):

$$I = m_1 - m_2, \quad (13)$$

где m_1 – масса образца перед испытанием, г; m_2 – масса образца после испытания, г.

За результат испытаний принималось среднее арифметическое всех измерений, представленных в таб. 5.

Таблица 5. Изменение массы натурального и уплотненного шпона при исследовании на износостойкость

Номер образца	Натуральный шпон		Уплотненный шпон	
	До истирания	После истирания	До истирания	После истирания
1	6,612	6,083	8,083	7,760
2	8,454	7,947	10,666	10,133
3	8,810	8,281	8,261	8,013
4	7,646	7,264	10,425	9,904
5	9,359	8,704	7,018	6,808
Среднее значение	9,869	7,656	8,890	8,524

Результаты испытаний демонстрируют, что более высокую устойчивость к механическому износу имеет уплотненный шпон. Потеря его массы была менее 5% (4,1%). Обычный шпон показал большую степень износа – масса образцов уменьшилась более чем на 20% (22,4%).

Результаты испытаний ясно указывают на существенно лучшие показатели износостойкости уплотненного шпона по сравнению с обычным. Технологический процесс уплотнения значительно улучшает физико-механические свойства шпона, повышая его плотность и снижая пористость, что делает уплотненный шпон предпочтительным материалом для областей с высоким уровнем механических воздействий и требований к стойкости покрытия. Натуральный шпон, напротив, из-за меньшей твердости проявляет высокую восприимчивость к механическому воздействию, что ограничивает его применение в условиях агрессивной эксплуатации.

Оценка параметров шероховатости поверхности – один из ключевых этапов исследования уплотненного и натурального шпона. Шероховатость поверхности существенно влияет на адгезионные свойства материалов, а также на их эстетические качества, что особенно важно в мебельной промышленности и декоративной отделке.

Измерение шероховатости поверхности уплотненного и натурального шпона проводится с использованием профилографа Mitutoyo Surftest SJ-210 согласно ГОСТ 19300–86 [15, 16]. Методика включает ряд последовательных операций, направленных на определение комплексных параметров шероховатости, таких как среднее арифметическое отклонение профиля (R_a), максимальная высота шероховатости (R_z), квадратичное среднее отклонение (R_q) и другие показатели, являющиеся критически важными для оценки качества шпона [15–16].

Перед проведением измерений задаются параметры: базовая длина измерения, количество отрезков профиля и единицы измерения с учетом требований для древесных материалов согласно нормативам и современным стандартам.

Для обеспечения репрезентативности результатов по поверхности шпона выбирались несколько характерных точек, которые охватывают участок с разной топографией, включающей гладкие поверхности и зоны с выраженной древесной текстурой и узорами.

Образцы шпона жестко фиксировались на выровненной и устойчивой опоре, предотвращая возможное смещение в процессе съемки профиля. Профилограф устанавливался с точным позиционированием измерительного зонда под углом, обеспечивающим надежный контакт без локальных деформаций поверхности. Оборудование предварительно калибровалось на эталонной поверхности для обеспечения максимальной точности и воспроизводимости данных.

В ходе измерений зонд двигался с запрограммированной скоростью по выбранной линии профиля, собирая информацию о микрорельефе поверхности шпона. Направления движения зонда выбирались как вдоль волокон шпона (продольное), так и поперек них, что обеспечивает полную характеристику топографии. На рис. 2 и 3 представлены профильные графики шероховатости уплотненного и натурального шпона соответственно.



Рис. 2. Профилограмма шероховатости модифицированного шпона



Рис. 3. Профилограмма шероховатости натурального шпона

Для уплотненного шпона характерны более низкие показатели шероховатости: $R_a = 7,819$ мкм, $R_q = 10,408$ мкм, $R_z = 50,369$ мкм, что обусловлено дополнительной обработкой, снижающей амплитуду микронеровностей поверхности. В противоположность этому, натуральный шпон демонстрирует более высокие значения параметров шероховатости ($R_a = 10,243$ мкм, $R_q = 12,711$ мкм, $R_z = 55,285$ мкм), вызванные естественной структурной неоднородностью древесной поверхности.

Таким образом, использование профилографа Mitutoyo Surftest SJ-210 для измерения шероховатости поверхности шпона обеспечивает высокоточную и эффективную методику контроля качества, позволяющую объективно оценивать влияние технологических процессов на конечное состояние материала.

Заключение. В результате комплексных исследований влияния технологических факторов термомеханического модифицирования шпона древесины березы на физико-механические характеристики установлено:

- оптимальный режим уплотнения шпона достигается при давлении прессы 17 МПа, температуре плит прессы 80–90 °С и времени выдержки 1 мин, что позволяет значительно повысить качественные показатели материала;

- применение уплотненного шпона способствует существенному улучшению технических характеристик конечной продукции (композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий), что объективно подтверждается увеличением плотности на 20%, а также улучшением устойчивости к истиранию: потеря массы образцов уплотненного шпона составляет около 5%, тогда как для натурального этот показатель порядка 20%;

- разработанные математические модели, описывающие технологический процесс производства, демонстрируют адекватность регрессионных уравнений при статистической проверке на уровне значимости $q = 0,05$: критерий Кохрена $G = 0,000575$, что значительно меньше табличного значения, а критерий Фишера $F = 1$ и находится ниже порогового уровня, что свидетельствует о нормальности распределения и гомогенности дисперсий.

С учетом полученных результатов можно заключить, что уплотненный шпон обладает значительным потенциалом как конструкционный и декоративный материал, способный эффективно функционировать в условиях повышенных механических нагрузок, абразивного износа и воздействия влаги. Это открывает новые перспективы его применения в строительстве, мебельной индустрии и отделочных технологиях.

Список литературы

1. Твердость древесины // Ptechnology.ru. URL: <http://www.ptechology.ru/MainPart/Resourse/Resourse2.html> (дата обращения: 05.10.2024).

2. Лосик Е. А., Игнатович Л. В. Особенность влияния структуры древесины мягколиственных пород на степень уплотнения при термомеханическом модифицировании // Лесная

инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв. – 16 февр. 2024 г. Минск, 2024. С. 196–200.

3. Игнатович Л. В., Утгоф С. С. Особенности структурных изменений при термомеханическом модифицировании древесины сосны и ольхи // Труды БГТУ. 2016. № 2: Лесная и деревообрабатывающая промышленность. С. 192–195.

4. Утгоф С. С. Влияние технологических факторов на физико-механические характеристики уплотненной древесины мягких лиственных пород // Наука и технология строительных материалов: состояние и перспективы их развития: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 27–29 нояб. 2013 г. Минск, 2013. С. 173–176.

5. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.

6. Методы отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях: ГОСТ 16483.0–93. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1993. 4 с.

7. Свойства древесины // Лесоматериалы. Деревянное строительство. Novosibdom. URL: [https://les.novosibdom.ru /book/export](https://les.novosibdom.ru/book/export) (дата обращения: 05.10.2025).

8. Антоник А. Ю., Леонович О. К. Исследование свойств термомодифицированной древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 58–63.

9. Исследование особенностей структурных изменений уплотненной древесины ольхи для изготовления столярно-строительных изделий и конструктивных элементов мебели / С. В. Шетько [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 1. С. 158–163.

10. Технология производства мебели: учеб. пособие / С. В. Шетько [и др.]. Минск, БГТУ, 2021. 191 с.

11. Игнатович Л. В. Изготовление многослойных паркетных досок с лицевым слоем из уплотненного шпона // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: труды X Международного евразийского симпозиума. Екатеринбург, 22–24 сент. 2015 г. Екатеринбург, 2015. С. 41–46.

12. Шпон лущеный. Методы испытаний: ГОСТ 20800–75. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1989. 7 с.

13. Методы отбора образцов и общие требования при физико-механических испытаниях: ГОСТ 16483.0–93. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1975. 7 с.

14. Taber Rotary Platform Abrasion Tester Model 5135/5155. Operating Instructions. Germany: Erichsen, 2008. 56 p.

15. Профилометр // Науч.-Техн. Центр Эксперт. URL: <https://www.ntcexpert.ru/m82> (дата обращения: 05.10.2025).

16. Средства измерений шероховатости поверхности профильным методом: ГОСТ 19300–86. М.: Госстандарт СССР: Изд-во стандартов, 1987. 7 с.

References

1. Wood hardness. Available at: <http://www.ptechology.ru/MainPart/Resource/Resource2.html> (accessed 05.10.2025) (In Russian).

2. Losik E. A., Ignatovich L. V. Peculiarities of the influence of the structure of softwood deciduous trees on the degree of compaction during thermomechanical modification. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forest Engineering, Materials Science and Design: proceedings of the 88th scientific and technical conference of faculty, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2024, pp. 196–200 (In Russian).

3. Ignatovich L. V., Utgof S. S. Features of structural changes during thermomechanical modification of pine and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2016, no. 1: Forestry and Woodworking Industry, pp. 192–195 (In Russian).
4. Utgof S. S. The influence of technological factors on the physical and mechanical characteristics of compacted softwood deciduous trees. *Nauka i tekhnologiya stroitel'nykh materialov: sostoyaniye i perspektivy ikh razvitiya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Science and technology of building materials: status and development prospects: materials of the International scientific and technical conference]. Minsk, 2013, pp. 173–176 (In Russian).
5. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Research into woodworking processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 232 p. (In Russian).
6. GOST 16483.0–93. Methods of sampling and general requirements for physical and mechanical testing. Moscow, Gosstandart USSR Publ., Izdatel'stvo standartov Publ., 1983. 4 p. (In Russian).
7. Properties of wood. Available at: <https://les.novosibdom.ru/book/export> (accessed 05.10.2025) (In Russian).
8. Antonik A. Yu., Leonovich O. K. Study of the properties of thermally modified wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 1 (204), pp. 58–63 (In Russian).
9. Shetko S. V., Ignatovich L. V., Prohorchik S. A., Chuikov A. S. Study of the features of structural changes in compacted alder wood for the manufacture of joinery and construction products and structural elements of furniture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1, pp. 158–163 (In Russian).
10. Shetko S. V., Ignatovich L. V., Chuikov A. S., Uthof S. S. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Minsk, BSTU Publ., 2021. 355 p. (In Russian).
11. Ignatovich L. V. Production of multilayer parquet boards with a front layer of compacted veneer. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka: trudy X Mezhdunarodnogo evraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the XXI century: proceedings of the X International Eurasian Symposium]. Ekaterinburg, 2015, pp. 41–46 (In Russian).
12. GOST 20800–75. Peeled veneer. Test methods. Moscow, Gosstandart USSR Publ., Izdatel'stvo standartov Publ., 1975. 7 p. (In Russian).
13. GOST 16483.0–93. Methods of sampling and general requirements for physical and mechanical testing. Moscow, Gosstandart USSR Publ., Izdatel'stvo standartov Publ., 1993. 7 p. (In Russian).
14. Taber Rotary Platform Abrasion Tester Model 5135/5155. Operating Instructions. – Germany. Erichsen, 2008. 56 p.
15. Profilometer. Available at: <https://www.ntcexpert.ru/m82> (accessed 05.10.2025) (In Russian).
16. GOST 19300–86. Surface roughness measuring instruments using the profile method. Moscow, Gosstandart USSR Publ., Izdatel'stvo standartov Publ., 1987. 7 p. (In Russian).

Информация об авторе

Лосик Екатерина Анатольевна – ассистент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: katerinalosik17@gmail.com.

Information about the author

Losik Ekaterina Anatol'evna – assistant lecturer, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: katerinalosik17@gmail.com.

Поступила 15.10.2025

УДК 658.5

В. Э. Расолько, Е. В. Дубоделова

Белорусский государственный технологический университет

**МОДЕЛИРОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ
В ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ДЕРЕВООБРАБОТКИ**

В условиях развития экспортно ориентированной и импортозамещающей политики Республики Беларусь деревообрабатывающая отрасль демонстрирует устойчивое развитие. Однако для сохранения конкурентоспособности на международном рынке требуется не просто увеличение объемов выпуска продукции, а переход к повышению операционной эффективности производства. На основе официальных данных Белстата, Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь и концерна «Беллесбумпром» за 2020–2024 гг. выявлены ключевые тенденции развития отрасли и рассчитана зависимость между уровнем управленческой зрелости предприятий и их финансовыми результатами. С использованием экономико-математического моделирования показано, что повышение «индекса управленческой зрелости» на 20% может привести к росту рентабельности продаж в среднем на 2,5–3,5 п. п., а при оптимистичном сценарии – до 4,5 п. п. Дополнительно установлено, что внедрение систем управления технологическими процессами способствует сокращению производственных потерь на 5–7%, повышению коэффициента использования древесины и производительности труда. Научная новизна работы заключается в формировании количественной модели, отражающей влияние организационно-технологических факторов на результаты деятельности предприятий. Практическая ценность исследования подтверждают целесообразность развития корпоративных и государственных программ, направленных на цифровизацию, стандартизацию и интеграцию управленческих систем в деревообрабатывающей промышленности.

Ключевые слова: деревообрабатывающая промышленность, технологический процесс, системы управления, эффективность использования древесины, экономико-математическое моделирование.

Для цитирования: Расолько В. Э., Дубоделова Е. В. Моделирование эффективности внедрения систем управления в технологические процессы деревообработки // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2026. № 1 (300). С. 114–120.

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-10.

V. E. Rasolko, E. V. Dubodelova

Belarusian State Technological University

**MODELING THE EFFICIENCY OF MANAGEMENT SYSTEMS
IN WOODWORKING PROCESSES**

In the context of the development of export-oriented and import substitution policies of the Republic of Belarus, the woodworking industry demonstrates stable growth. However, to maintain competitiveness in the international market, it is necessary not only to increase production volumes but also to improve operational efficiency. Based on official data from Belstat, the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, and the Bellesbumprom concern for the period 2020–2024, key development trends of the industry were identified, and the relationship between the level of management maturity of enterprises and their financial performance was determined. Using economic and mathematical modeling, it was shown that a 20% increase in the “management maturity index” can lead to an average growth in sales profitability by 2.5–3.5 percentage points, and up to 4.5 percentage points in the optimistic scenario. In addition, the implementation of process management systems contributes to a 5–7% reduction in production losses, an increase in the wood utilization rate, and an improvement in labor productivity. The scientific novelty of the work lies in the development of a quantitative model that reflects the influence of organizational and technological factors on enterprise performance. The practical value of the study confirms the feasibility of developing corporate and state programs aimed at digitalization, standardization, and integration of management systems within the woodworking industry.

Keywords: woodworking industry, technological process, management systems, wood utilization efficiency, economic and mathematical modeling.

For citation: Rasolko V. E., Dubodelova E. V. Modeling the efficiency of management systems in woodworking processes. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2026, no. 1 (300), pp. 114–120 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2026-300-10.

Введение. Деревообрабатывающая промышленность – одна из стратегических отраслей экономики Республики Беларусь, обеспечивающая занятость населения в регионах и формирующая значительную часть экспортного потенциала страны. На долю отрасли приходится около 70% лесопромышленного комплекса, а уровень экспортной ориентации достигает 72% от общего объема производства [1–3]. В 2023 г. общий объем промышленного производства в Беларуси составил порядка 187,8 млрд руб., а доля промышленности в ВВП достигла 27,5% [4].

В структуре концерна «Беллесбумпром» объединено 61 предприятие, а объем реализованной продукции превысил 4,5 млрд руб. при средней рентабельности продаж около 10% [5]. Несмотря на рост физических объемов выпуска и экспорта (в 2020–2023 гг. рост составил более 50%), финансовая отдача остается ниже оптимальной для устойчивого развития отрасли: средняя рентабельность продаж по стране в 2024 г. составила лишь 6,4%, а по реализованной продукции – 7,7% [6]. Это говорит о том, что потенциал экстенсивного роста практически исчерпан и отрасли требуется переход к развитию. Известно, что для этого необходима оптимизация внутренних процессов, снижение издержек, повышение производительности труда и стандартизация операций.

В мировой практике отмечают особое значение внедрения систем менеджмента качества и бережливого производства (Lean Manufacturing), направленных на минимизацию потерь и повышение стабильности технологических процессов. К данным подходам относятся: стандартизация и документирование операций, управление на основе данных (SPC, MES), методы анализа дефектов и несоответствий, визуальное управление, вовлечение персонала в улучшения (Kaizen), организация рабочих мест по принципам 5S, сокращение потерь времени и сырья, а также развитие культуры качества и ответственности на всех уровнях управления [7].

Перечисленные элементы важно рассмотреть в условиях роста цен на сырье и энергоносители, к тому же следует отметить, что даже незначительное сокращение потерь древесины или времени простоев может привести к ощутимому экономическому эффекту. Для деревообрабатывающих предприятий Республики Беларусь это особенно актуально, поскольку значительная часть оборудования функционирует с высокой нагрузкой и требует четкого контроля режимов работы. По элементам цифровизации в последние годы на предприятиях концерна «Беллесбумпром» активно внедряются следующие проекты: создаются электронные системы учета сырья и готовой продукции, автоматизируются процессы планирования. Однако несмотря на позитивные результаты, существует недостаточная проработанность количественных методов оценки эффективности таких инициатив. Многие управленческие решения принимаются интуитивно или на основе локальных показателей, что снижает возможность объективного прогнозирования и масштабирования успешных практик.

В этой связи особую актуальность приобретает моделирование экономической и технологической эффективности внедрения систем управления, позволяющее оценить влияние управленческой зрелости предприятия на конечные показатели его деятельности [8]. Под управленческой зрелостью предприятия понимается совокупность характеристик, отражающих степень развития его управленческих процессов. Термин показывает, насколько системно выстроено управление предприятия – есть ли стандарты, цифровой контроль, анализ дефектов, обучение сотрудников.

Применение данного метода делает возможным формирование научно обоснованных прогнозов, необходимых для стратегического управления отраслью и выработки решений на уровне концернов и государственных программ.

Основная часть. В качестве исходной базы исследования использовались как официальные статистические данные, так и результаты отраслевых наблюдений. Основными источниками послужили официальные статистические сборники Белстата, отчеты Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, публикации и аналитические материалы концерна «Беллесбумпром», а также результаты выборочных исследований мебельных и пиломатериальных предприятий различных регионов страны. Анализ проводился за 2020–2023 гг., что позволило охватить динамику изменений в отрасли на фоне активной цифровизации процессов. Для достижения поставленной цели был применен комплекс взаимосвязанных методов исследования. Производственно-технологический анализ был направлен на определение структуры производственных потерь, коэффициента использования древесного сырья, уровня загрузки оборудования и степени влияния технологических простоев на выпуск готовой продукции (табл. 1). Такой анализ позволил выявить ключевые зоны неэффективности в производственном цикле и определить потенциал оптимизации при переходе к управлению на основе данных. Статистический и сравнительный анализ обеспечили количественную оценку динамики основных показателей деревообрабатывающей промышленности [9–11]. В частности, сопоставлялись показатели белорусских предприятий с аналогичными данными компаний стран Центральной и Восточной Европы. Это позволило установить, что уровень технологической эффективности белорусских предприятий в среднем на 10–15% ниже по сравнению с предприятиями, активно внедряющими цифровые системы управления производством. Моделирование применялось для построения зависимости между уровнем управленческой зрелости предприятия и ключевыми показателями технологической эффективности. В качестве результирующих переменных (Y) рассматривались коэффициент выхода готовой продукции, производительность труда и рентабельность продаж.

Таблица 1. Показатели за 2020–2023 гг.

Показатель	Год				Изменение, %
	2020	2021	2022	2023	
Объем производства, млн руб.	4500	5200	6100	6800	+51,1
Экспорт, млн долл. США	1200	1450	1750	2050	+70,8
Производительность труда, тыс. руб./чел.	85,0	95,5	108,0	115,5	+35,9
Коэффициент использования древесины	0,78	0,80	0,81	0,83	+6,4
Уровень брака, %	4,2	3,8	3,4	3,2	–23,8

В качестве факторного признака (X) использовался синтетический показатель – индекс управленческой зрелости, отражающий степень внедрения современных методов управления и цифровых инструментов [12].

Данный индекс включает следующие составляющие:

- степень стандартизации технологических операций, отражающую наличие регламентов, инструкций и процедур контроля качества;
- уровень цифровизации процессов, оцениваемый через использование автоматизированных систем мониторинга (MES, SCADA), ERP-платформ и систем учета ресурсов;
- систему внутреннего контроля и анализа дефектов с применением методов статистического управления процессами (SPC, карты Шухарта);
- подготовку персонала, особенно мастеров и операторов, ответственных за технологические участки [13–15].

Комплексное сочетание этих факторов позволяет оценить управленческую зрелость предприятия и определить ее влияние на технологическую и экономическую результативность.

Анализ табл. 1 показывает, что в отрасли наблюдается положительная динамика по большинству показателей: объем производства увеличился на 51, экспорт – почти на 71, а производительность труда выросла на 35,9. При этом коэффициент использования древесины повысился незначительно, всего на 6,4%, что свидетельствует о наличии неиспользованных

резервов эффективности. Несмотря на модернизацию оборудования, на ряде предприятий до 10–12% сырья по-прежнему теряется из-за ошибок при раскросе и несбалансированной загрузке линий.

На основе анализа производственных данных и экспертных оценок установлено, что повышение управленческой зрелости на 1% приводит к сокращению технологических потерь на 0,25%, росту коэффициента использования древесины на 0,1% и увеличению производительности труда на 0,15%. Для базового расчета типового предприятия примем: рентабельность продаж – 10%, себестоимость – 90%, коэффициент использования древесины – 0,83 и повышение индекса зрелости – 20.

Расчет:

- 1) снижение издержек: $20 \cdot 0,15\% = 3\%$;
- 2) новая себестоимость: $90 \cdot (1 - 0,03) = 87,3\%$;
- 3) новая рентабельность: 12,7% (+2,7 п. п.);
- 4) рост выхода готовой продукции: $\approx 2\%$;
- 5) снижение потерь древесины: $\approx 5\text{--}7\%$.

Таким образом, из табл. 2 следует, что внедрение стандартизированной системы управления технологическим процессом обеспечивает двойной эффект: технологический – за счет снижения потерь и повышения стабильности процессов, а также экономический – за счет увеличения прибыльности без необходимости капитальных инвестиций. Результаты исследования имеют прикладное значение для предприятий, стремящихся повысить конкурентоспособность и устойчивость. Ключевыми направлениями совершенствования управления являются:

- внедрение цифровых систем мониторинга оборудования (MES, SCADA), обеспечивающих сбор и анализ данных в реальном времени;
- автоматизация расчета оптимального раскроса и норм расхода сырья для повышения коэффициента использования древесины;
- применение стандартов статистического контроля качества (SPC) и систем визуального управления для снижения дефектов;
- использование инструментов бережливого производства (Lean) – 5S, SMED, VSM – для оптимизации потоков и сокращения простоев;
- развитие компетенций персонала и формирование цифрового рабочего места мастера и оператора.

Таблица 2. Расчет прогнозируемых изменений рентабельности и технологических показателей при различных сценариях развития

Сценарий	Повышение зрелости, %	Снижение потерь, %	Рост выхода продукции, %	Рентабельность продаж, %	Прирост, п. п.
Консервативный	20	4	2	12,2	+2,2
Базовый	20	5	2,5	12,7	+2,7
Оптимистичный	20	7	3	13,4	+3,4

Анализ показал, что даже частичное внедрение этих мер может сократить технологические потери до 7% и увеличить выпуск годной продукции на 3%, что обеспечивает прирост рентабельности продаж на 2,5–3,5 п. п. в среднем по отрасли.

Заключение. Проведенное исследование подтвердило наличие прямой зависимости между уровнем управленческой зрелости и эффективностью производственных процессов на деревообрабатывающих предприятиях. Даже частичное внедрение цифровых и стандартизированных систем управления позволяет достичь ощутимых результатов без значительных капитальных вложений.

Повышение управленческой зрелости на 15–20% приводит к снижению потерь сырья на 5–7%, росту производительности труда на 4–6% и увеличению рентабельности продаж

на 2,5–3,5 п. п. Это демонстрирует высокую чувствительность технологической эффективности к управленческим факторам и подчеркивает необходимость системного подхода к развитию производственных систем.

Таким образом, совершенствование управления технологическими процессами является одним из ключевых резервов повышения конкурентоспособности деревообрабатывающей отрасли Республики Беларусь. Полученные результаты могут быть использованы при разработке отраслевых программ цифровизации, стандартизации и повышения эффективности производств в составе концерна «Беллесбумпром» и других предприятий лесопромышленного комплекса.

Список литературы

1. Концерн «Беллесбумпром» [сайт]. URL: <https://bellesbumprom.by/> (дата обращения 22.09.2025).
2. Деревообработка в Беларуси // Нац. агентство инвестиций и приватизации Респ. Беларусь. URL: <https://investinbelarus.by/> (дата обращения: 10.05.2025).
3. Программа развития деревообрабатывающего и мебельного производства концерна «Беллесбумпром» до 2025 года. Минск: Беллесбумпром, 2020. 70 с.
4. Промышленность Республики Беларусь: стат. сб. Минск: Белстат, 2024. 32 с.
5. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь [сайт]. URL: <http://www.mlh.by/> (дата обращения: 09.10.2025).
6. The Impact of Lean Manufacturing Practices on Operational and Business Performance at SMES in the Wooden Furniture Industry / A. Susanty [et al.] // International Journal of Lean Six Sigma. 2022. Vol. 13 (1). P. 203–231. DOI: 10.1108/IJLSS-08-2020-0124.
7. Santos P. S., Figueira J. M. R. ISO 9001 and organizational performance: A meta-analysis // Total Quality Management & Business Excellence. 2019. Vol. 30 (5-6). P. 1–20. DOI: 10.1080/14783363.2020.1829969.
8. Добровольский А. А. Технологические инновации в деревообработке: пути повышения эффективности. СПб.: СПбГЛТУ, 2021. 128 с.
9. Карпучин А. В. Повышение производительности деревообрабатывающих линий за счет оптимизации режимов резания // Лесной журнал. 2023. № 4. С. 56–63.
10. Ледницкий А. В., Рузметова И. А., Лукьяненко И. А. Цифровые технологии и автоматизация производства в лесном комплексе // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: сб. ст. II Междунар. науч.-техн. конф., Минск, 6–9 дек. 2022 г. Минск, 2022. С. 167–170.
11. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Перспективное лесоуправление. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2023. 125 с.
12. Improvements to the Production Management System of Wood-Processing in Small and Medium Enterprises in Southeast Europe / M. Dušák [et al.] // BioResources. 2017. Vol. 12, no. 2. P. 3303–3315. DOI: 10.15376/biores.12.2.3303-3315.
13. Генератова Т. М., Матросова А. В. Применение цифровых технологий в области лесозаготовительного производства // Научно-техническая конференция профессорско-преподавательского состава, аспирантов и студентов мытищинского филиала МГТУ им. Н. Э. Баумана по итогам научно-исследовательских работ за 2022 г., Мытищи, 30 янв. – 1 фев. 2023 г. Мытищи, 2023. С. 80–81.
14. Кравченко П. П. Цифровые технологии в лесной промышленности // 51-я науч. и учеб.-метод. конф. ун-та ИТМО, Санкт-Петербург, 2–5 фев. 2022 г. СПб., 2022. № 2. С. 33–39.
15. Mikkonen E., Salonen H. Digital transformation in the wood industry: From traditional processing to smart manufacturing // Journal of Manufacturing Systems. 2023. Vol. 68. P. 210–222.

References

1. Bellesbumprom Concern. Available at: <https://bellesbumprom.by/> (accessed 22.09.2025) (In Russian).
2. Wood Processing in Belarus. Available at: <https://investinbelarus.by/> (accessed 10.05.2025) (In Russian).
3. *Programma razvitiya derevoobrabatyvayushchego i mebel'nogo proizvodstva kontserna "Bellesbumprom"* [Development Program of the Woodworking and Furniture Industry of the Bellesbumprom Concern until 2025]. Minsk, Bellesbumprom Publ., 2020. 70 p. (In Russian).
4. *Promyshlennost' Respubliki Belarus': statisticheskiy sbornik* [Industry of the Republic of Belarus: Statistical Yearbook]. Minsk, Belstat Publ., 2024. 32 p. (In Russian).
5. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus. Available at: <http://www.mlh.by/> (accessed 9.10.2025) (In Russian).
6. Susanty A., Sumiyati L. S., Syaiful S., Nihlah Z. The Impact of Lean Manufacturing Practices on Operational and Business Performance at SMES in the Wooden Furniture Industry. *International Journal of Lean Six Sigma*, 2022, vol. 13 (1), pp. 203–231. DOI: 10.1108/IJLSS-08-2020-0124.
7. Santos P. S., Figueira J. M. R. ISO 9001 and organizational performance: A meta-analysis. *Total Quality Management & Business Excellence*, 2019, vol. 30 (5-6), pp. 1–20. DOI: 10.1080/14783363.2020.1829969.
8. Dobrovolsky A. A. *Tekhnologicheskiye innovatsii v derevoobrabotke: puti povysheniya effektivnosti* [Technological Innovations in Wood Processing: Ways to Improve Efficiency]. St. Petersburg, SPbSFTU Publ., 2021. 128 p. (In Russian).
9. Karpukhin A. V. Increasing Productivity of Woodworking Lines by Optimizing Cutting Modes. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2023, no. 4, pp. 56–63 (In Russian).
10. Lednitsky A. V., Ruzmetova I. A., Lukyanenko I. A. Digital Technologies and Automation of Production in the Forest Sector. *Sostoyaniye i perspektivy lesnogo kompleksa v stranakh SNG: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The State and Prospects of the forest complex in the CIS countries: proceedings of the 2nd International scientific and technical conference], Minsk, 2022, pp. 167–170 (In Russian).
11. Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. *Perspektivnoye lesoupravleniye* [Advanced Forest Management]. Gomel, Francisk Skorina Gomel State University Publ., 2023. 125 p. (In Russian).
12. Dušak M., Jelačić D., Pirc Barčič A., Novakova R. Improvements to the Production Management System of Wood-Processing in Small and Medium Enterprises in Southeast Europe. *BioResources*, 2017, vol. 12, no. 2, pp. 3303–3315. DOI: 10.15376/biores.12.2.3303-3315.
13. Generatova T. M., Matrosova A. V. Application of Digital Technologies in the Field of Logging Production. *Nauchno-tekhnicheskaya konferentsiya professorsko-prepodavatel'skogo sostava, aspirantov i studentov mytishchinskogo filiala MGTU imeny N. E. Baumana po itogam nauchno-issledovatel'skikh rabot za 2022 god* [Annual national scientific and technical conference (with international participation) of faculty and students of the Mytishchi branch of Bauman Moscow State Technical University]. Mytishchi, 2023, pp. 80–81 (In Russian).
14. Kravchenko P. P. Digital Technologies in the Forest Industry. *51-ya nauchnaya i uchebno-metodicheskaya konferentsiya universiteta ITMO* [The 51st scientific and educational-methodological conference of ITMO University]. St. Petersburg, 2022, no. 2, pp. 33–39 (In Russian).
15. Mikkonen E., Salonen H. Digital transformation in the wood industry: From traditional processing to smart manufacturing. *Journal of Manufacturing Systems*, 2023, vol. 68, pp. 210–222.

Информация об авторах

Расолько Вероника Эдуардовна – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный

технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: grigorovichveron@gmail.com. ORCID: 0009-0001-5658-9315. ResearcherID: PGU-1900-2026.

Дубоделова Екатерина Владимировна – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dubodelovaev@belstu.by. SPIN-код: 2410-1467.

Information about the authors

Rasolko Veronika Eduardovna – PhD student, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: grigorovichveron@gmail.com. ORCID: 0009-0001-5658-9315. ResearcherID: PGU-1900-2026.

Dubodelova Ekaterina Vladimirovna – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology, Eco-Housing, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dubodelovaev@belstu.by. SPIN code: 2410-1467.

Поступила 15.10.2025

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ	5
Севко О. А., Коцан В. В. Исследование таксационных показателей и пространственной структуры древостоев на постоянных пробных площадях.....	5
ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО	16
Domnenkova A. V., Kukhta V. N., Yermak I. T., Garmaza A. K. Dynamics of forest fund lands of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus in areas of radioactive contamination	16
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО	27
Кухта В. Н., Сазонов А. А., Козел А. В., Федорович П. А., Домненкова А. В. Опыт применения ловчих деревьев для регулирования численности популяции синей сосновой златки (<i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1775)) в Беларуси	27
Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Поврежденность дуба черешчатого (<i>Quercus robur</i> L.) галлоформирующими и минерирующими насекомыми в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский»	41
Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Оценка вредоносности тератформирующих членистоногих для декоративных древесных растений в зеленых насаждениях и рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский»	52
ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО	69
Подошвелев Д. А., Митренков А. М., Гуринович А. В. Определение плодовитости самок видов семейства оленых по анализу репродуктивных органов.....	69
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	80
Божко Д. В., Божелко И. К., Игнатович Л. В. Статистический анализ верификации алгоритма раскроя круглых лесоматериалов на основе алгоритмических расчетов	80
Громов В. В., Игнатович Л. В. Особенности технологической подготовки производства при раскрое плитных материалов концевыми фрезами с применением автоматизации на различных этапах (обзор).....	90
Лосик Е. А. Влияние технологических факторов термомеханического модифицирования на физико-механические характеристики шпона древесины березы	103
Расолько В. Э., Дубоделова Е. В. Моделирование эффективности внедрения систем управления в технологические процессы деревообработки	114

CONTENTS

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY	5
Sevko O. A., Kotsan V. V. Study of taxacin indicators and the spatial structure of forest stands in permanent sample plots	5
FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE.....	16
Домненкова А. В., Кухта В. Н., Ермак И. Т., Гармаза А. К. Динамика земель лесного фонда Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь в зонах радио- активного загрязнения	16
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING.....	27
Kukhta V. N., Sazonov A. A., Kozel A. V., Fedorovich P. A., Domnenkova A. V. Experience of using trap trees to regulate the population size of the steelblue jewel beetle (<i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1775)) in Belarus.....	27
Yakouchyk F., Buga S. Damage to English oak (<i>Quercus robur</i> L.) by gall-forming and mining insects in the recreational forests of Narach National Park.....	41
Yakouchyk F., Buga S. Assessment of the pestfulness of gall-forming arthropods to or- namental woody plants in green stands and recreational forests of the Narach National Park	52
TOURISM AND FOREST HUNTING	69
Podoshvelev D. A., Mitrenkov A. M., Gurinovich A. V. Determination of female fertility of deer family species by analysis of reproductive organs	69
WOODWORKING INDUSTRY	80
Bazhko D. V., Bazhelka I. K., Ignatovich L. V. Statistical analysis and verification of an optimization algorithm for cutting round timber based on algorithmic calculations	80
Gromov V. V., Ignatovich L. V. Features of technological preparation for production in cutting board materials with end mills using automation at various stages (review).....	90
Losik E. A. Influence of technological factors of thermomechanical modification on the physical and mechanical characteristics of birch wood veneer	103
Rasolko V. E., Dubodelova E. V. Modeling the efficiency of management systems in woodworking processing.....	114

Редактор *Т. Е. Самсанович*
Компьютерная верстка *Е. А. Матейко, В. А. Маркушевская*
Корректор *Т. Е. Самсанович*

Подписано в печать 15.01.2026. Формат 60×84¹/₈.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 14,3. Уч.-изд. л. 12,8.
Тираж 28 экз. Заказ .

Издатель и полиграфическое исполнение:
УО «Белорусский государственный технологический университет».
Свидетельство о государственной регистрации издателя,
изготовителя, распространителя печатных изданий
№ 1/227 от 20.03.2014.
ЛП № 38200000001984.
Ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск.