

ISSN 2519-402X



ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ
И ПЕРЕРАБОТКА
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 2 (294) 2025 год

Рубрики номера:

Управление лесами, лесоустройство
и информационные системы в лесном хозяйстве

Лесная экология и лесоводство

Лесовосстановление и лесоразведение

Лесозащита и садово-парковое строительство

Туризм и лесохозяйственное хозяйство

Лесопромышленный комплекс.

Транспортно-технологические вопросы

Деревообрабатывающая промышленность



Минск 2025

Учреждение образования
«Белорусский государственный
технологический университет»

ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал

Издается с июля 1993 года

Серия 1

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

№ 2 (294) 2025 год

Выходит два раза в год

Минск 2025

Учредитель – учреждение образования «Белорусский государственный технологический университет»

Главный редактор журнала – Войтов Игорь Витальевич, доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь

Редакционная коллегия журнала:

Флейшер В. Л., кандидат 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., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Щекин А. К., член-корреспондент РАН, доктор физико-математических наук, профессор, Российская Федерация;
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;
Босак В. Н., доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Республика Беларусь;
Вавилов А. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Коробко Е. В., доктор технических наук, профессор, Республика Беларусь;
Саевич К. Ф., доктор биологических наук, профессор, Республика Беларусь;
Торчик В. И., доктор биологических наук, Республика Беларусь;
Башкиров В. Н., доктор технических наук, профессор, Российская Федерация;
Богданович Н. И., 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. 2 (294) 2025

Published biannually

Minsk 2025

Publisher – educational institution “Belarusian State Technological University”

Editor-in-chief – Voitau Ihar Vital’evich, DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus

Editorial (Journal):

Fleisher V. L., PhD (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;
Kulikovich V. I., PhD (Philology), Associate Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Shchekin A. K., Corresponding Member of the Russian Academy of Sciences, DSc (Physics and Mathematics), Professor, Russian Federation;
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;
Bosak V. N., DSc (Agriculture), Professor, Republic of Belarus;
Vavilov A. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Korobko E. V., DSc (Engineering), Professor, Republic of Belarus;
Saevich K. F., DSc (Biology), Professor, Republic of Belarus;
Torchik V. I., DSc (Biology), Republic of Belarus;
Bashkirov V. N., DSc (Engineering), Professor, Russian Federation;
Bogdanovich N. I., 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*232:528.88

С. С. Цай¹, М. А. Ильючик², И. В. Толкач¹, Е. А. Шульга¹

¹Белорусский государственный технологический университет

²РУП «Белгослес»

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ОПТИКО-ЭЛЕКТРОННЫХ МАТЕРИАЛОВ СЪЕМКИ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ ДЛЯ КОНТРОЛЯ КАЧЕСТВА НЕСОМКНУВШИХСЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР ХВОЙНЫХ ПОРОД

Специалистами РУП «Белгослес» в 2022 г. выполнялась оптико-электронная съемка участков несомкнувшихся лесных культур хвойных пород с использованием беспилотных летательных аппаратов (БЛА). Целью работ являлось выявление возможностей использования материалов съемки, получаемых с БЛА, для определения качества лесных культур хвойных древесных видов. Съемка участков лесных культур проводилась на территории Минского и Червенского лесхозов. Программа опытных работ по съемке участков предусматривала следующие этапы: подбор объектов съемки и предварительное формирование полетного задания; определение оптимальных параметров оптико-электронной съемки участков лесных культур; непосредственное выполнение оптико-электронной съемки участков лесных культур хвойных пород с использованием БЛА; предварительную обработку полученных мультиспектральных материалов съемки и формирование цифровых ортофотопланов, а также индексных изображений на объекты съемок; формирование в ГИС-приложении цифрового проекта, включающего обработанные материалы мультиспектральных съемок, векторные границы лесотаксационных выделов; визуальное дешифрирование хвойных деревьев оператором в ГИС-приложении и определение процента приживаемости растений хвойных пород. В работе обсуждаются преимущества и недостатки данной технологии, рассматриваются возможности ее применения в практике лесного хозяйства.

Ключевые слова: дистанционное зондирование, оптико-электронная съемка, беспилотный летательный аппарат, БЛА, съемка лесных культур с БЛА, контроль качества лесных культур.

Для цитирования: Цай С. С., Ильючик М. А., Толкач И. В., Шульга Е. А. Использование оптико-электронных материалов съемки с беспилотных летательных аппаратов для контроля качества несомкнувшихся лесных культур хвойных пород // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 5–13.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-1.

S. S. Tsai¹, M. A. Ilyuchik², I. V. Tolkach¹, E. A. Shulga¹

¹Belarusian State Technological University

²RUE “Belgosles”

USING OPTICAL-ELECTRONIC MATERIALS FROM UNMANNED AERIAL VEHICLES FOR QUALITY CONTROL OF UNCLOSED CONIFEROUS FOREST CROPS

In 2022, specialists from RUE “Belgosles” carried out optical-electronic surveys of areas of coniferous forest crops using unmanned aerial vehicles (UAVs). The aim of the work was to identify the possibilities of using survey materials obtained from UAVs to determine the quality of forest crops of coniferous tree species. The survey of forest plantations was carried out on the territory of the Minsk and

Cherven forestry enterprises. The experimental survey program included the following stages: selection of objects for shooting and preliminary preparation of the flight mission; determination of optimal parameters for optical-electronic survey of forest crop areas; performing optical-electronic surveys of areas of coniferous forest plantations using UAVs; processing of the obtained multispectral survey materials and the formation of digital orthophotomaps as well as vegetation index images of the survey objects; visual interpretation of coniferous trees by the operator in the GIS application and determination of the survival rate of coniferous plants. In the paper are examined the advantages and disadvantages of this technology and possibilities of its application in forestry.

Keywords: remote sensing, optical-electronic survey, unmanned aerial vehicle, UAV, drone, survey of forest crops with UAV, quality control of forest crops.

For citation: Tsai S. S., Ilyuchik M. A., Tolkach I. V., Shulga E. A. Using optical-electronic materials from unmanned aerial vehicles for quality control of unclosed coniferous forest crops. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 5–13 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-1.

Введение. В настоящее время практика применения беспилотных летательных аппаратов достаточно обширна и востребована многими отраслями экономики. Не является исключением и лесохозяйственная отрасль [1, 2]. Практически в каждом лесхозе нашей республики имеются беспилотные летательные аппараты (БЛА), которые широко используются при обнаружении и уточнении границ очагов пожаров, повреждений леса, при выявлении нарушителей лесного законодательства и браконьеров, при учете диких животных [3, 4] и т. д.

В данной статье рассматриваются вопросы использования оптико-электронных материалов съемки, выполненных с использованием БЛА, для целей контроля качества несомкнувшихся лесных культур хвойных пород.

В последнее время качество несомкнувшихся лесных культур определяют в процессе их инвентаризации на 1-м и 3-м году их создания. В случае успешного проведения лесокультурных работ и по достижении семилетнего возраста лесные культуры переводятся в покрытые лесом земли, что также сопровождается проведением учетных работ [5].

В процессе инвентаризации лесных культур определяется не только процент приживаемости высаженных древесных видов, но и выполняется проверка на соответствие требованиям, указанным в проекте лесных культур: соответствие схеме посадки, схеме смешения древесных видов и ряду других [6].

В процессе выполнения работ по инвентаризации лесных культур учет деревьев, как правило, выполняется не на всем участке, а на нескольких пробных площадках, которые равномерно расположены по всему участку лесных культур. Поэтому от месторасположения пробных площадок существенно зависит конечный результат приживаемости древесных видов на всем участке. В случае размещения пробных площадок в «удачных» местах с высокой прижи-

ваемостью конечный результат для всего участка лесных культур также будет высоким, что далеко не всегда соответствует реальному положению дел.

Использование материалов съемки с БЛА для целей контроля качества лесных культур позволило бы анализировать приживаемость деревьев на всем участке и, следовательно, способствовало бы решению следующих проблем:

- установлению границ и площади «островков» внутри участка лесных культур, где высаженные деревца хвойных пород имеют низкую приживаемость либо полностью погибли;
- наиболее репрезентативному определению мест расположения пробных площадок;
- на основе обработанных материалов съемки ведению подсчета высаженных деревьев, а также определению их высоты в камеральных условиях.

Все это можно сделать только лишь в случае достоверного дешифрирования на материалах съемки отдельных высаженных деревьев. Опыт российских исследователей показал возможность решения данной задачи [7].

Для апробирования возможностей использования мультиспектральной съемки с БЛА для целей дешифрирования деревьев хвойных пород (высаженных в качестве лесных культур) специалистами РУП «Белгослес» в 2022 г. проводилась мультиспектральная съемка участков лесных культур хвойных пород.

Объектами исследования для выполнения настоящей работы выступали несомкнувшиеся лесные культуры хвойных пород (ель европейская, сосна обыкновенная), располагающиеся на территории Дзержинского лесничества (кв. 26) Минского лесхоза, Хуторского лесничества (кв. 18, 34) Червенского лесхоза.

Указанные участки лесных культур на момент съемки имели возраст от 2 до 6 лет, характеризовались мшистыми, орляковыми и черничными типами леса.

В процессе исследования использовалось следующее оборудование. Оптико-электронная съемка участков лесных культур проводилась с использованием БЛА DJI Phantom 4 Multispectral (рис. 1). Данный беспилотный комплекс позволяет генерировать как оптические, так и мультиспектральные изображения для применения в технологиях точного земледелия и мониторинга окружающей среды [8].



Рис. 1. БЛА DJI Phantom 4 Multispectral

Беспилотник оборудован подвесом с 3-осевой стабилизацией, на котором крепится одна RGB-камера, а также мультиспектральный комплекс из 5 камер, охватывающий синий, зеленый, красный, крайне-красный и ближний инфракрасный каналы спектра (разрешение – 2 мегапикселя) [8] (рис. 2). Весь съемочный комплекс обеспечивается глобальным затвором, что позволяет получать более качественные изображения в движении.

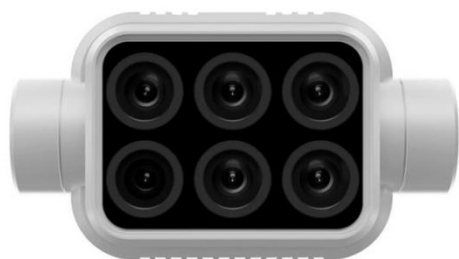


Рис. 2. Съемочная система БЛА DJI Phantom 4 Multispectral (мультиспектральный комплекс из 5 камер и RGB-камеры)

Дополнительно для некоторых участков выполнялась оптическая съемка в режиме RGB с использованием БЛА DJI Matrice 300 RTK (рис. 3) на камеру Zenmuse H20T (рис. 4).



Рис. 3. БЛА DJI Matrice 300 RTK

Данная камера имеет значительно лучшие характеристики, поскольку укомплектована двумя оптическими сенсорами – широкоформатным с матрицей в 12 мегапикселей и основным с матрицей в 20 мегапикселей, которые предназначены для выполнения съемки только в RGB-режиме.

Камера крепится на 3-осевом подвесе, что позволяет ориентировать ее не только по азимуту, но и в вертикальном направлении [9]. Материалы съемки с камеры Zenmuse H20T использовались для построения ортофотопланов (в естественных цветах) на участки лесных культур.

Технические характеристики квадрокоптера DJI Matrice 300 RTK значительно превосходят БЛА DJI Phantom 4 Multispectral, в особенности это касается продолжительности полетного времени, что существенно влияет на производительность выполнения съемочных работ [10].



Рис. 4. Камера Zenmuse H20T, установленная на БЛА DJI Matrice 300 RTK

Обработка материалов съемки выполнялась на ПЭВМ (под управлением ОС Windows 10) следующей комплектации: материнская плата на базе AMD X570, ATX; процессор AMD Ryzen 7 3700X; видеокарта NVIDIA GeForce GTX 1660 Super 6GB; ОЗУ 64 Гб, жесткий диск объемом 4 Тб.

Период съемки лесных культур хвойных пород определялся следующими соображениями. В процессе выращивания хвойных пород в лесных культурах с богатыми условиями местопроизрастания часто имеет место затенение последних мелколиственными древесными видами (береза, осина, ива). Вследствие этого период проведения съемки был выбран в момент полного отсутствия листьев на лиственных породах и снежного покрова. В этом случае на материалах съемки достаточно хорошо заметны деревья хвойных пород.

В нашем случае съемка проводилась в первой половине марта 2022 г. методом площадной съемки: продольное перекрытие 80%; поперечное перекрытие 70%; высота съемки 80–90 м. В процессе формирования полетного задания при

построении полигона съемки обязательно предусматривалась буферная зона вокруг участка лесных культур (с целью получения ортофотоплана с минимальными искажениями на краях). Съемка участков лесных культур с использованием БЛА DJI Phantom 4 Multispectral проводилась во всех доступных диапазонах:

- в мультиспектральном диапазоне, задействовавшем все 5 каналов спектра (синий, зеленый, красный, крайне-красный и ближний инфракрасный);

- в оптическом диапазоне (естественные цвета).

Съемка участков лесных культур с использованием БЛА DJI Matrice 300 RTK проводилась только в оптическом диапазоне (обычное RGB-изображение).

Основная часть. Работы по съемке лесных культур выполнялись в следующем порядке.

В камеральных условиях в геоинформационную систему ArcMap были загружены векторные лесоустроительные картографические материалы (сетка кварталов и выделов) с целью уточнения расположения участков лесных культур. Далее в этой же геоинформационной системе выполнялось построение границ полигонов для съемочных работ, которые конвертировались в географический формат Google Earth (kml/kmz) для загрузки в контроллер БЛА с целью формирования полетных заданий. Кроме того, в полетном задании также указывались и параметры съемки, приведенные выше.

После формирования полетных заданий выполнялась съемка участков лесных культур в соответствии с ранее сформированным полетным заданием и при минимальном участии оператора. При необходимости оператор может скорректировать параметры съемки в натуре.

После окончания съемочных работ выполнялись операции по обработке данных, полученных в процессе съемки. При камеральной обработке материалов съемки использовались следующие программные продукты: программные комплексы DJI Terra и Agisoft Metashape, программное обеспечение Global Mapper. В процессе обработки материалов съемки были сформированы следующие цифровые продукты:

- ортофотопланы участков лесных культур в RGB-диапазоне по данным БЛА DJI Phantom 4 Multispectral;

- геопривязанные индексные изображения участков лесных культур (по мультиспектральным данным БЛА DJI Phantom 4 Multispectral);

- ортофотопланы участков лесных культур в RGB-диапазоне по материалам съемки с БЛА DJI Matrice 300 RTK;

- цифровые модели полога лесных культур, полученные по материалам съемки с БЛА DJI Matrice 300 RTK.

Для формирования индексных изображений участков лесных культур использовались мультиспектральные данные (5 каналов), полученные с БЛА DJI Phantom 4 Multispectral. В процессе обработки этих данных в программном комплексе DJI Terra были сформированы следующие геопривязанные растровые индексные изображения:

- индексное изображение на основе вегетационного индекса NDVI (индекс хорошо определяет фотосинтетическую активность растения, используется для разделения фотосинтезирующей растительности с другими объектами) [11, 12];

- индексное изображение на основе вегетационного индекса GNDVI (данный индекс измеряет содержание хлорофилла в растениях точнее, чем NDVI, используется для мониторинга вегетации с высокой плотностью покрова либо при оценке угнетенной растительности) [13];

- индексное изображение на основе вегетационного индекса LCI (данный индекс предназначен для определения содержания хлорофилла в листьях растений) [14];

- индексное изображение на основе вегетационного индекса NDRE (аналог NDVI, только при расчете вместо красного спектрального канала используется крайне-красный спектр; применяются для мониторинга участков с высокой плотностью вегетационного покрова) [13];

- индексное изображение на основе вегетационного индекса OSAVI (индекс предназначен для обследования молодой растительности с учетом сильного влияния почвы до смыкания рядов) (рис. 5, а) [14].

Анализ индексных изображений показал, что древесца хвойных пород наиболее качественно отображались на индексных изображениях, полученных на основе вегетационного индекса OSAVI (рис. 5, а).

Сравнительный анализ индексного изображения (OSAVI) с ортофотопланом (рис. 5, б), полученным в естественных цветах (RGB-изображение), показал, что индексное изображение обладает лучшими дешифровочными свойствами для выявления деревьев хвойных пород. Поэтому подсчет количества деревьев в пределах пробных площадей выполнялся именно на этих материалах.

Тем не менее ортофотопланы, сформированные по результатам съемки с БЛА (RGB-съемка), в большинстве случаев также оказались пригодными для выполнения подсчета количества растущих деревьев.

Еще одним видом цифровых материалов, полученным на основе материалов съемки с БЛА, была цифровая модель (DEM) полога лесных культур. Данный вид цифровых материалов необходим для определения высоты лесных культур [15].

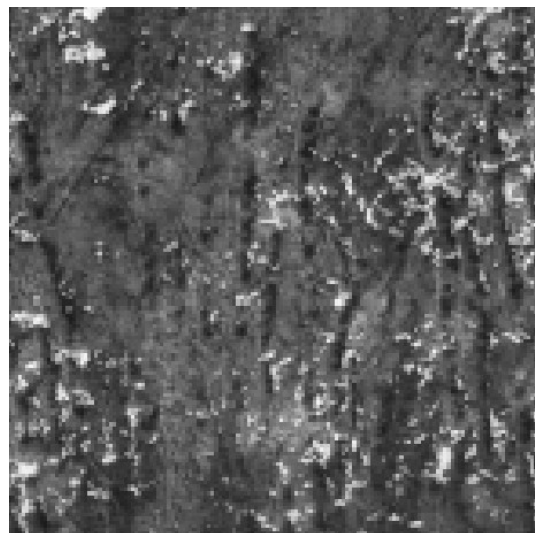
*а**б*

Рис. 5. Изображения участка лесных культур, полученные при различных режимах съемки с БЛА:
а – индексное изображение на основе вегетационного индекса OSAVI;
б – изображение, полученное в естественных цветах (RGB-диапазон)

Формирование цифровой модели полога лесных культур выполнялось с использованием программного комплекса DJI Terra на основе материалов оптической съемки с БЛА DJI Matrice 300 RTK.

С целью лучшей визуализации на цифровую модель полога накладывалось совмещенное растровое RGB-изображение участка лесных культур (ортофотоплан участка) (рис. 6).

Определение высот деревьев на основе цифровой модели полога лесных культур проводилось с использованием программного обеспечения Global Mapper. Затем на основании этих данных несложно рассчитать среднюю высоту лесных культур.

Также возможно использование цифровых моделей и для подсчета растений хвойных по-

род. В ряде случаев близкорасположенные растения могут сливаться в один массив, что несколько усложняет дешифрирование (рис. 6), но не является критичным.

Формирование цифровых моделей полога целесообразно проводить для уже сформировавшихся лесных культур хвойных пород в возрасте от 3 лет и старше. Для культур более младшего возраста цифровая модель полога будет практически неотличима от цифровой модели рельефа и, следовательно, будет малоинформативной.

Альтернативный вариант построения цифровой модели полога лесных культур основывается на использовании данных лидарного сканирования с БЛА [16].



Рис. 6. Цифровая модель полога лесных культур с наложенным растровым изображением

После формирования вышеуказанных цифровых материалов выполнялся их анализ с целью определения качества лесных культур хвойных пород. Для этого в ГИС ArcMap создавался проект, в который были загружены цифровые ортофотопланы, индексные изображения, а также векторные лесоустроительные картографические материалы (сетка кварталов и выделов) на участок лесных культур.

Поскольку все цифровые материалы являются геопривязанными, процесс их взаимного совмещения не вызывает сложностей. В среде этой геоинформационной системы определяются границы участка лесных культур, выполняется визуальный осмотр участка на наличие и густоту хвойных деревьев (в удобном масштабе, который можно регулировать средствами ГИС). В случае если густота прижившихся хвойных растений в пределах участка лесных культур приблизительно одинакова, а области с погибшими растениями отсутствуют, то «виртуальные» пробные площади (формирующиеся на экране монитора для подсчета густоты деревьев) в нужном количестве (в соответствии с нормативными документами) закладываются равномерно по всему участку (рис. 7). После подсчета растений на каждой из проб густота всего участка определяется стандартным образом.

В случае если на участке с лесными культурами обнаруживаются области (значительные по площади), в которых густота лесных культур существенно меньше, чем положено в соответствии с проектом культур, то тогда такой участок разбивается на зоны с приблизительно одинаковой густотой деревьев. Границы зон векторизуются, определяется площадь каждой из зон.

Закладка пробных площадей осуществляется внутри каждой из зон в количестве, пропорциональном площади зоны. Определяется средняя густота каждой такой зоны. Общая густота всего участка рассчитывается как средневзвешенная густота зон по площади.

Если на участке с лесными культурами обнаруживаются области, в которых лесные культуры полностью погибли, то такие области должны векторизоваться, а их площадь определяться средствами ГИС. В зависимости от величины этой площади принимается решение о дополнении или списании лесных культур.

Для определения густоты хвойных деревьев на участке лесных культур применялись «виртуальные» пробные площади, которые закладывались на экране монитора в геоинформационной системе ArcMap. Местоположение пробных площадей определял оператор исходя из указанных выше соображений. Количество пробных площадей устанавливается нормативными документами [5, 6].

Построение этих пробных площадей выполнялось с использованием инструментов ГИС ArcMap путем формирования векторного полигонального объекта в форме прямоугольника на экране монитора, расположенного в нужном месте участка лесных культур и имеющего размерные характеристики, соответствующие требованиям нормативов к пробным площадям. В пределах такой пробной площади (построенного прямоугольника) выполнялся подсчет живых хвойных деревьев (рис. 7). Площадь пробы определялась средствами ГИС. Расчет густоты лесных культур на такой пробной площади стандартный.

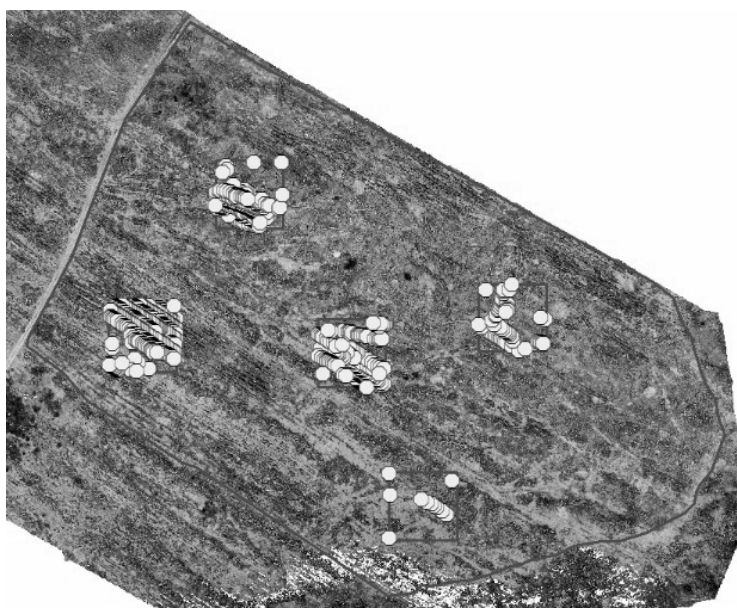


Рис. 7. Определение густоты лесных культур хвойных пород на экране монитора в геоинформационной системе ArcGIS

Определение средней высоты лесных культур, как уже указывалось выше, может быть получено на основе цифровой модели полога лесных культур с использованием программного обеспечения Global Mapper [15].

Таким образом, основные показатели, необходимые для принятия решения об инвентаризации лесных культур хвойных пород, а также о переводе таких культур в покрытые лесом земли, могут определяться на основе материалов съемки с БЛА. Важным преимуществом использования рассматриваемой технологии является максимальная достоверность получаемых данных о густоте лесных культур хвойных пород. Кроме того, все цифровые материалы съемки лесных культур могут храниться в электронной форме длительное время и при необходимости быть востребованы для контрольной проверки в любой момент.

Преимуществом данной технологии также является снижение трудоемкости полевых работ вследствие замены измерительных работ в поле на камеральные измерительные работы перед монитором компьютера, а также незначительное увеличение производительности в сравнении с традиционным методом инвентаризации лесных культур.

Анализ полученных результатов свидетельствует о том, что материалы оптической и оптико-электронной съемки с БЛА могут использоваться для определения густоты лесных культур хвойных пород. Однако у данного метода также имеется и ряд недостатков, которые представлены ниже.

Важным недостатком является ограниченный временной период выполнения летно-съемочных работ с использованием БЛА. Поскольку съемочные работы должны выполняться в период, когда одновременно имеет место отсутствие листвы на лиственных породах и отсутствие снежного покрова (до 5 см допустимо), то количество месяцев (позднеосенних и ранневесенних), пригодных для выполнения съемки, в среднем составляет около 2–3. Возможно, что с потеплением климата период съемки может увеличиться. Кроме того, для этого периода года характерен короткий световой день и неблагоприятная для полетов погода с частыми осадками, туманами, сильными ветрами. Все это еще более уменьшает и так небольшой период летно-съемочных работ.

Еще один важный недостаток – отсутствие возможности проводить инвентаризацию лиственных пород одновременно с хвойными породами. В случае если лесные культуры имеют в составе два древесных вида, один из которых хвойный, а другой – лиственный, то выполнение контроля приживаемости только хвойных деревьев не позволит сделать полноценное заключение

о всем участке лесных культур. В связи с необходимостью выполнения требований по сохранению биоразнообразия и устойчивому лесопользованию, создание смешанных лесных культур является приоритетным направлением в настоящее время. Как правило, при создании лесных культур, где в качестве главной породы проектируется хвойный древесный вид, доля мелколиственной породы составляет около 2–3 единиц в составе [6]. Величина незначительная, тем не менее проигнорировать ее нельзя. Отсюда следует невозможность полноценного проведения инвентаризации лесных культур смешанного состава путем использования материалов съемки с БЛА. Исключение составляют лесные культуры, в которых хвойные породы не находятся в затенении и могут дешифрироваться наряду с лиственными.

К недостаткам рассматриваемой технологии нужно отнести высокую стоимость используемого оборудования и программного обеспечения. Для проведения съемки лесных культур с использованием БЛА и ее последующей обработки необходим комплекс специализированного дорогостоящего оборудования, включающего непосредственно сам БЛА с RTK-модулем и двойным запасом аккумуляторных батарей, автономную зарядную станцию для подзарядки батарей в полевых условиях, съемочную аппаратуру, позволяющую выполнять мультиспектральную съемку, современную рабочую станцию (ПЭВМ) для последующей обработки больших объемов съемки и недорогое программное обеспечение, включающее ГИС, фотограмметрические программные комплексы. Общая стоимость полного комплекта оборудования может в 3–4 раза превышать стоимость самого БЛА. Работы по инвентаризации лесных культур, выполняющиеся по традиционной технологии, обойдутся значительно дешевле, даже с учетом меньшей производительности.

Следующий недостаток заключается в необходимости наличия высококвалифицированных специалистов для проведения как летно-съемочных работ, так и последующей обработки отснятого материала.

Заключение. Результаты исследования показали практическую пригодность и перспективность использования материалов съемки с БЛА для целей контроля качества лесных культур хвойных пород. Но с учетом приведенных недостатков говорить о массовом внедрении в практику лесного хозяйства данной технологии в настоящее время преждевременно. Ее использование целесообразно для выборочного или повторного контроля качества лесных культур хвойных пород, проводимого специалистами ГПЛХО или РУП «Белгослес» по заказу Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь.

Список литературы

1. Возможности обработки и анализа данных сверхлегкого БПЛА Sensefly ebee в лесном хозяйстве / Г. А. Галецкая [и др.] // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2015. Т. 3, № 4. С. 11–18.
2. Ралдугин А. М., Калита Г. А. Применение беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2024. № 66. С. 42–47.
3. Кононова С. А., Перепичаев А. А., Рыжова Н. А. Применение беспилотных летательных аппаратов (БПЛА) в лесном хозяйстве // Актуальные проблемы лесного комплекса. 2023. № 64. С. 58–60.
4. Звягинцев В. Б., Малашевич Д. Г., Жданович С. А. Перспективы использования беспилотных летательных аппаратов в лесном хозяйстве для проведения лесозащитных мероприятий // Труды БГТУ. Сер. 5, Экономика и управление. 2023. № 2 (274). С. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6.
5. Положение о порядке лесовосстановления и лесоразведения: утв. постановлением М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19.12.2016 г., № 80 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578> (дата обращения: 14.03.2025).
6. Правила лесовосстановления и лесоразведения. Технический кодекс установившейся практики Республики Беларусь: ТКП 667–2022 (33090) // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W02441127p> (дата обращения: 14.03.2025).
7. Денисов С. А., Домрачев А. А., Елсуков А. С. Опыт применения квадрокоптера для мониторинга возобновления леса // Вестн. Поволжск. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016. № 4 (32). С. 34–46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34.
8. Phantom 4 Multispectral // Авторизованный магазин DJI. URL: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/phantom-4-kvadrokopter/phantom-4-multispectral> (дата обращения: 14.03.2025).
9. Подвес с камерой и лазерным дальномером DJI Zenmuse H20 // Хобби Парк. URL: https://hobbypark.by/catalog/stedikamy_i_podvesy_dji/podves_s_kameroy_i_lazernym_dalnomerom_dji_zenmuse_h20/ (дата обращения: 14.03.2025).
10. Платформа DJI Matrice 300 RTK // Хобби Парк. URL: https://hobbypark.by/catalog/kvadrokoptery_dji/platforma_dji_matrice_300_rtk/ (дата обращения: 14.03.2025).
11. Оплетев А. С., Жигулин Е. В., Косов В. А. Использование вегетационного индекса NDVI для оценки состояния лесных насаждений на нарушенных землях // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 3 (70). С. 15–23.
12. Талыпов К. К., Аманова Н. Т. Использование вегетационных индексов для улучшения дешифровочных свойств снимка // Физика. 2020. № 1-1. С. 43–47.
13. Аманова Н. Т., Талыпов К. К. Обзорный анализ вегетационных индексов растительности // Физика. 2022. № 1. С. 25–29.
14. Вегетационные индексы для сельского хозяйства // EOS Data Analytics. URL: <https://eos.com/ru/blog/vegetacionnye-indeksy/> (дата обращения: 14.03.2025).
15. Цай С. С., Гормаш М. С. Использование материалов лидарной съемки для целей определения высот насаждений // Лесное хоз-во: материалы 86-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. Минск, 2022. С. 351–352.
16. Цай С. С. Использование материалов лидарной съемки участков лесного фонда, полученных с беспилотных летательных аппаратов, для определения углов наклона местности // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 27–30. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4.

References

1. Galetskaya G. A., Vyunov M. V., Zhelezova S. V., Zavalishin S. I. Acilites of processing and analysis of ultralight UAV Sensefly ebee data in the field of forestry. *Interexpo Geo-Sibir* [Interexpo Geo-Siberia], 2015, vol. 3, no. 4, pp. 11–18 (In Russian).
2. Raldugin A. M., Kalita G. A. Application of unmanned aerial vehicles in forestry. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of forest complex], 2024, no. 66, pp. 42–47 (In Russian).
3. Kononova S. A., Perepichaev A. A., Ryzhova N. A. The use of unmanned aerial vehicles (UAVS) in forestry. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of forest complex], 2023, no. 64, pp. 58–60 (In Russian).
4. Zvyaginцев V. B., Malashevich D. G., Zhdanovich S. A. Prospects for the use of unmanned aerial vehicles in forestry for forest protection measures. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 5, Economics and Management, 2023, no. 2 (274), pp. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6 (In Russian).
5. Regulation on the procedure for reforestation and afforestation: Approved by the Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 19.12.2016, no. 80. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W21631578> (accessed 14.03.2025) (In Russian).

6. ТКР 667–2022 (33090). Rules of reforestation and afforestation. Technical code of established practice of the Republic of Belarus. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W02441127p> (accessed 14.03.2025) (In Russian).
7. Denisov S. A., Domrachev A. A., Elsukov A. S. Quadrocopter Practical Application for Forest Regeneration Monitoring. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of Volga State University of Technology], Series Forest. Ecology. Nature Management, 2016, no. 4 (32), pp. 34–46. DOI: 10.15350/2306-2827.2016.4.34 (In Russian).
8. Phantom 4 Multispectral. Available at: <https://coptermarket.by/dji-shop/drones/phantom-4-kvadrokopter/phantom-4-multispectral> (accessed 14.03.2025) (In Russian).
9. DJI Zenmuse H20 gimbal with camera and laser rangefinder. Available at: https://hobbypark.by/catalog/stedikamy_i_podvesy_dji/podves_s_kameroj_i_lazernym_dalnomerom_dji_zenmuse_h20/ (accessed 14.03.2025) (In Russian).
10. DJI Matrice 300 RTK platform. Available at: https://hobbypark.by/catalog/kvadrokopty_dji/platforma_dji_matrice_300_rtk/ (accessed 14.03.2025) (In Russian).
11. Opletaev A., Zhigulin E., Kosov V. Using the NDVI vegetation index to assess the state of forest plantations on disturbed land. *Les Rossii i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and their management], 2019, no. 3 (70), pp. 15–23 (In Russian).
12. Talypov K. K., Amanova N. T. Using vegetation indices to improve deciphering properties of the image. *Fizika* [Physics], 2020, no. 1-1, pp. 43–47 (In Russian).
13. Amanova N. T., Talypov K. K. Survey analysis of vegetation indices. *Fizika* [Physics], 2022, no. 1, pp. 25–29 (In Russian).
14. *Vegetatsionnyye indeksy dlya sel'skogo khozyaystva* [Vegetation indices for agriculture]. Available at: <https://eos.com/ru/blog/vegetatsionnyye-indeksy/> (accessed 14.03.2025) (In Russian).
15. Tsai S. S., Gormash M. S. Using lidar surveying materials to determine the heights of forest stands. *Lesnoe khozyaystvo: materialy 86-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: materials of 86th scientific and technical conference of the teaching staff, research workers and postgraduate students (with international participation)]. Minsk, 2022, pp. 351–352 (In Russian).
16. Tsai S. S. Using lidar data of forest areas received from drone for detecting the angle of the terrain. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (282), pp. 27–30. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4 (In Russian).

Информация об авторах

Цай Сергей Сергеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tsai@belstu.by

Ильючик Михаил Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, заместитель генерального директора по информационным технологиям РУП «Белгослес» (ул. Железнодорожная, 27/1, 220089, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: info@belgosles.by

Толкач Игорь Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: i.tolkach@belstu.by

Шульга Екатерина Александровна – аспирант кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shulga@belstu.by

Information about the authors

Tsai Siarhey Siarheevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tsai@belstu.by

Ilyuchik Mikhail Aleksandrovich – PhD (Agriculture), Deputy Director General for Information Technology. RUE “Belgosles” (27/1 Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: info@belgosles.by

Tolkach Igor Vladimirovich – 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: i.tolkach@belstu.by

Shulga Ekaterina Alexandrovna – PhD student, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shulga@belstu.by

Поступила 15.03.2025

УДК 630*522:630*587.5

Е. А. Шульга, И. В. Толкач, С. С. Цай

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА СОСТОЯНИЯ НЕСОМКНУВШИХСЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР
ПО МАТЕРИАЛАМ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ**

В Республике Беларусь леса играют важную роль, поэтому лесовосстановление является приоритетной задачей. Для контроля качества лесных культур проводятся обследования, требующие финансовых и трудовых затрат. В связи с этим актуальны исследования по определению состояния лесных культур с использованием новых методов. Целью исследования является оценка эффективности лидарной съемки для мониторинга несомкнувшихся лесных культур ели. Использовались материалы зимней лидарной съемки участка площадью 1,5 га, выполненной лидаром Zenmuse L2, установленным на дроне DJI Matrice 300 RTK. Для обработки данных использовано программное обеспечение SAGA GIS. Этапы обработки включали удаление шумов, классификацию точек, построение цифровых моделей земли и полога культур, определение количества вершин деревьев. Количество деревьев оценивалось автоматизировано и методом визуального анализа. Точность определения количества деревьев составила около 93%. Анализ высот проводился разными способами. Разница между сглаженными и несглаженными моделями высот составила 0,67 м. В связи с этим требуется проведение дальнейших исследований, которые смогут повысить точность определения высот деревьев. Лидарная съемка позволяет определять высоту и густоту насаждения, выявлять проблемные участки и оценивать влияние различных факторов на развитие лесных культур. Применение лидарной съемки является перспективным способом повышения эффективности лесохозяйственной деятельности.

Ключевые слова: лидарная съемка, лесные культуры, высота деревьев, густота деревьев, облако точек, цифровая модель высот.

Для цитирования: Шульга Е. А., Толкач И. В., Цай С. С. Оценка состояния несомкнувшихся лесных культур по материалам лидарной съемки // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 14–19.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-2.

E. A. Shulga, I. V. Tolkach, S. S. Tsai

Belarusian State Technological University

**ASSESSMENT OF THE CONDITION OF UNCLOSED FOREST
CROPS BASED ON LIDAR SURVEY DATA**

Forests play an important role in the Republic of Belarus, so reforestation is a priority. In order to control the quality of forest crops, surveys are carried out, which require financial and labor costs. In this regard, the research on determining the condition of forest crops using new methods is relevant. The aim of the study is to assess the effectiveness of lidar survey for monitoring of unbroken spruce forest crops. The materials of winter lidar survey of 1.5 ha area were used. The survey was carried out by Zenmuse L2 lidar mounted on DJI Matrice 300 RTK drone. SAGA GIS software was used for data processing. Processing stages included noise removal, point classification, construction of digital models of land and crop canopy, and determination of the number of tree tops. The estimation of the number of trees was controlled automatically and by visual analysis. The accuracy of tree number estimation was about 93%. Elevations were analyzed in different ways. The difference between smoothed and non-smoothed height models was 0.67 meters. Therefore, further research is required to improve the accuracy of tree height determination. Lidar survey allows to determine height, density, identify problem areas and assess the influence of various factors on the development of forest crops. The use of lidar imagery is a promising way to improve the efficiency of forest management.

Keywords: lidar survey, forest crops, tree height, tree density, point cloud, digital elevation model.

For citation: Shulga E. A., Tolkach I. V., Tsai S. S. Assessment of the condition of unclosed forest crops based on lidar survey data. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 14–19 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-2.

Введение. В Республике Беларусь леса являются одним из важнейших национальных богатств и основных возобновляемых ресурсов. Леса занимают значительную часть территории Беларуси и играют важную экологическую и социально-экономическую роль в развитии страны.

Одной из главных задач лесного хозяйства является своевременное и качественное воспроизводство лесов на землях лесного фонда. В связи с этим в Республике Беларусь проводятся большие лесовосстановительные работы, в основе которых производство лесных культур. Лесные культуры представляют собой лесные насаждения, созданные посевом или посадкой. За последние 5 лет в Республике Беларусь было создано около 182 тыс. га лесных культур. В стране имеются все условия для выращивания качественных лесов, начиная с заготовки и переработки лесосеменного сырья, хранения семян лесных растений, выращивания стандартного посадочного материала, проведения мероприятий по лесовосстановлению и лесоразведению, заканчивая уходом за лесными насаждениями и вводом их в категорию ценных лесных насаждений [1–3].

В соответствии с требованиями действующих нормативов для осуществления контроля качества выполненных работ по созданию лесных культур, оценки состояния созданных насаждений и принятия своевременных мер по устранению недостатков проводится обследование лесных культур. Обследования включают в себя техническую приемку работ по созданию лесных культур и оказанию мер содействия естественному возобновлению, а также инвентаризацию лесных культур первого и третьего года выращивания, инвентаризацию участков лесных культур с целью перевода их в покрытые лесом земли [4].

При проведении обследований на участках лесных культур закладываются пробные площади в форме прямоугольника или учетных отрезков с целью контроля приживаемости, а также других важных таксационных показателей, которые в совокупности характеризуют их состояние и качество. Учет деревьев производят отдельно по породам и происхождению.

При проведении технической приемки работ по созданию лесных культур на пробных площадях устанавливаются такие показатели, как площадь, на которой осуществлялась посадка лесных растений, и количество высаженных лесных растений. Количество высаженных лесных растений на пробной площади определяется путем сплошного перечета растений. При инвентаризации лесных культур на первом и третьем году их выращивания основными показателями являются приживаемость и количество естественного возобновления культивируемых пород при их наличии. Также при установлении

приживаемости производят сплошной перечень посадочных мест с сохранившимися лесными растениями в рядах лесных культур.

При проведении работ по инвентаризации участков лесных культур с целью перевода их в покрытые лесом земли основными показателями являются средняя высота деревьев главной породы, количество деревьев и состав лесного насаждения. Количество деревьев и состав лесного насаждения определяют по результатам сплошного перечета на пробной площади. Среднюю высоту устанавливают по результатам измерения высоты каждого десятого дерева. Также допускается вариант определения средней высоты главной породы на пробной площади путем измерения высоты каждого дерева [4].

В ходе лесоустроительных работ выполняется обследование лесных культур, созданных после предыдущего лесоустройства, с охватом до 10% их площади (но не менее 30 га лесных культур на лесничество при их наличии). Пробные площади закладываются в местах, наиболее характерных для всего участка лесных культур, с учетом доли по площади участка. Однако это не позволяет охватить всю территорию созданных лесных культур, что может приводить к ошибкам в оценке показателей их качества [5–7].

Обследования по оценке качества лесных культур могут проводиться на любом этапе выращивания. Лесные культуры до перевода в покрытые лесом земли, а зачастую и некоторое время после этого в большинстве случаев обладают только потенциальным качеством. Основным показателем, определяющим качество лесных культур, является приживаемость (сохранность) или количество жизнеспособных растений главной породы [8].

Мониторинг состояния лесных культур – важный вопрос для устойчивого управления лесами, который требует финансовых и трудовых затрат. Поэтому исследования по определению состояния лесных культур с использованием новых методов имеют весомое значение для эффективного управления лесами.

Оценка состояния несомкнувшихся лесных культур по материалам лидарной съемки представляет собой перспективное направление в лесном хозяйстве. Лидарная съемка дает возможность получать высокоточные трехмерные данные о структуре лесных насаждений, что позволяет оценивать состояние и развитие молодых лесных культур.

Основная часть. Целью исследования является оценка эффективности применения лидарной съемки для мониторинга состояния несомкнувшихся лесных культур, определения основных показателей, которые можно получить по материалам лазерного сканирования, а также их точности.

Объектами исследования выбраны несомкнувшиеся лесные культуры ели на территории

Червенского лесхоза. При создании лесных культур ширина междурядий составляла 2,0 м, шаг посадки соблюдался 1,5 м. Густота созданных лесных культур составляла 3333 тыс. шт./га.

В исследовании использованы материалы зимней лидарной съемки несомкнувшихся лесных культур ели на площади 5,9 га (квартал 1, выдел 54 Гребенецкого лесничества Червенского лесхоза). Высота съемки составила 90 м. Съемка выполнена лидаром Zenmuse L2, установленным на дроне DJI Matrice 300 RTK. Максимальная высота съемки Zenmuse L2 достигает 120 м. Также лидар поддерживает пять возвратов, захватывает больше точек на поверхности и проникает сквозь более густую растительность [9]. В результате было получено облако точек с плотностью около 920 точек на 1 м². С целью сокращения объема работ исследование производили на участке площадью 1,5 га. Облако точек лазерного сканирования участка несомкнувшихся лесных культур Червенского лесхоза представлено на рис. 1.

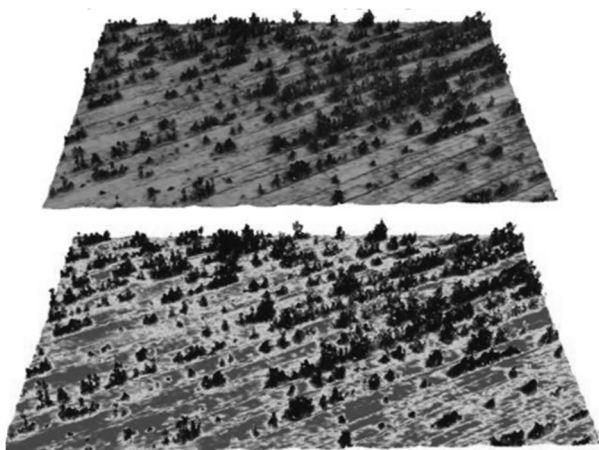


Рис. 1. Облако точек лазерного сканирования участка несомкнувшихся лесных культур

В качестве программного обеспечения для обработки данных лазерного сканирования использована географическая информационная система SAGA (System for Automated Geo-Scientific Analysis), являющаяся свободно распространяемым программным обеспечением (ПО) с открытым исходным кодом и обеспечивающая возможность редактирования пространственных данных. Благодаря совместной с Laserdata GmbH разработке, SAGA позволяет не только визуализировать, но и анализировать данные облака точек. Есть возможности для проведения классификации без обучения, выборки данных по заданному признаку, интерполяции с учетом количества зарегистрированных импульсов и диапазонов их значений [10]. Обработка данных лазерной съемки выполнена в несколько этапов.

На первом этапе удалены имеющиеся шумы и выбросы, находящиеся высоко над по-

логом леса или глубоко под землей, путем селектирования точек, имеющих высоты, значительно отличающиеся от средних высот поверхности земли и полога древостоя. Оставшиеся точки классифицировались средствами программного обеспечения SAGA GIS по поверхности земли [11–13].

На следующем этапе была построена цифровая модель поверхности земли с размером ячеек 0,2×0,2 м с бороздами, образовавшимися при создании лесных культур (рис. 2). Цифровая модель земли была сглажена с использованием фильтра Гаусса.



Рис. 2. Формирование растровой цифровой модели рельефа

Формирование растровой цифровой модели поверхности полога культур произведена аналогичным способом (рис. 3). Данные также были сглажены фильтром Гаусса с целью удаления лишних пикселей, попавших на отдельные ветви [14, 15].

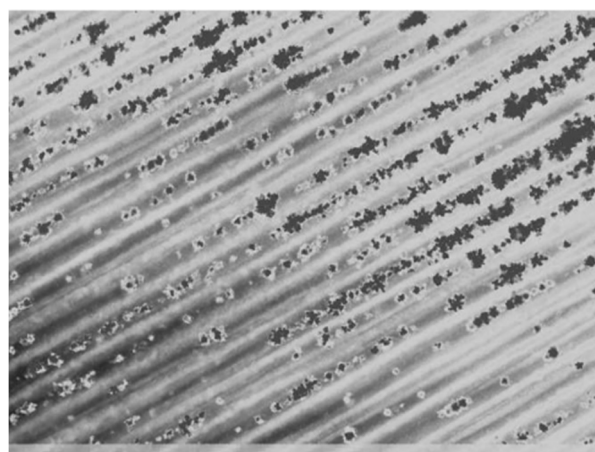


Рис. 3. Формирование растровой цифровой модели поверхности полога древостоя

После формирования цифровых моделей было определено количество вершин деревьев культур методом локальных максимумов. В результате некоторые точки попали на отвалы

борозд. С целью уменьшения ошибки произведена неконтролируемая классификация изображения на основе атрибутивных данных яркостей спектральных каналов и высотных отметок. Результат классификации представлен на рис. 4.

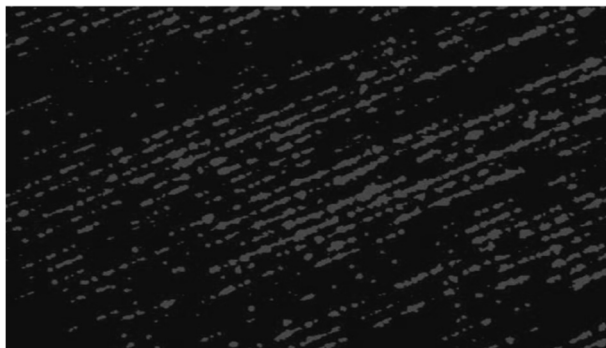


Рис. 4. Результат классификации

По результатам классификации был построен векторный полигональный слой с буферной зоной в 1 пиксель. По границам данных зон вырезаны точки, попадающие на вершины крон (рис. 5). Полученный векторный точечный слой позволяет выявить отдельные деревья лесных культур, что является важным показателем их приживаемости и роста.

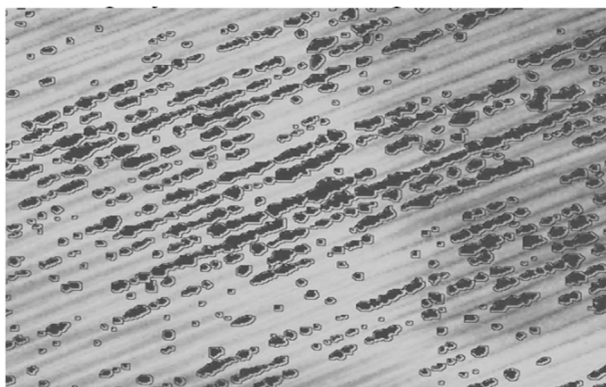


Рис. 5. Формирование векторного слоя культур

Для контроля автоматизированной оценки количества деревьев по цифровой модели произведен визуальный подсчет количества деревьев на исходном облаке точек.

Анализ результатов показал, что автоматизированным способом всего получено 2195 вершин деревьев, не попали на вершину кроны 239 точек, ошибочно определена 71 точка. Это составило примерно 10,9% неучтенных и около 3,2% ошибочных значений от общего числа. В среднем ошибка составила около 7%. Несмотря на выявленные погрешности, общая точность определения количества деревьев с использованием предложенной методики является достаточно высокой и составляет 93%.

При оценке высот было апробировано несколько вариантов определения данного показателя с последующим сравнением результатов. В первом варианте высота была определена по цифровой модели высот, полученной как разность цифровой модели полого древостоя и цифровой модели рельефа, сглаженной фильтром Гаусса с размером ячеек 0,2×0,2 м. Распределение деревьев по высотам, полученным по данной цифровой модели, приведено на рис. 6.

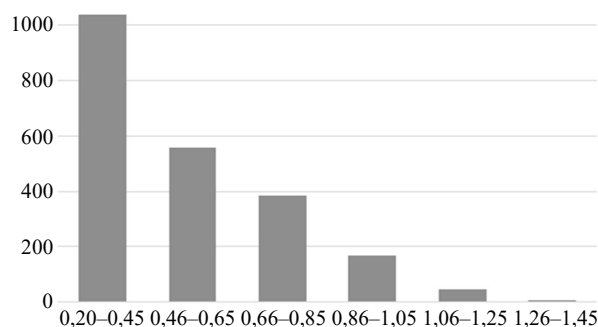


Рис. 6. Распределение деревьев по высоте

При определении высот по сглаженным моделям наблюдалось значительное занижение значений. В связи с этим был рассмотрен вариант определения высот без сглаживания. Для этого была построена цифровая модель высот с размером ячеек 0,05×0,05 м без сглаживания.

При сравнении высот, полученных по сглаженной цифровой модели с размером ячеек 0,2×0,2 м и несглаженной с размером 0,05×0,05 м, наблюдались значительные расхождения, в среднем 0,67 м. График зависимости высот представлен на рис. 7.

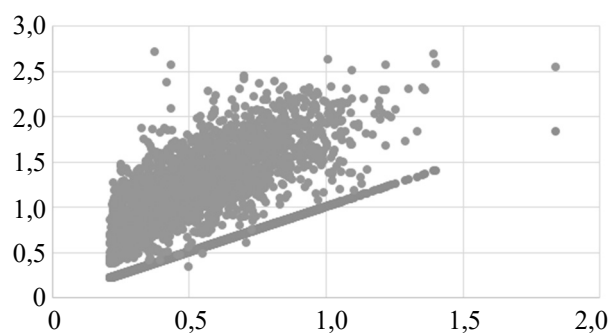


Рис. 7. График зависимости высот

Анализ результатов определения высот несомкнувшихся лесных культур по материалам лидарной съемки показал значительные отклонения оценки данного показателя. В связи с этим требуется проведение дальнейших исследований и усовершенствование методики оценки высот деревьев с использованием растровой цифровой модели.

Заключение. Согласно результатам проведенного исследования можно сделать следующие выводы:

1) по материалам лидарной съемки можно определить такие параметры, как высоту культур, густоту, что позволяет выявить участки с неудовлетворительным ростом, угнетенные растения, а также оценить влияние различных факторов (почвенных, климатических) на приживаемость и развитие лесных культур;

2) несмотря на некоторую погрешность при определении количества деревьев по данным лидарной съемки, связанную с неучтенными и ошибочно определенными деревьями, общая точность оценки густоты несомкнувшихся лесных культур достаточно высокая и составляет 93%;

3) определение высот с использованием растровой цифровой модели с различными ячейками раstra дает значительное отклонение. В связи с этим требуется проведение дальнейших исследований, которые смогут повысить точность определения высот деревьев.

Использование лидарной съемки для оценки состояния несомкнувшихся лесных культур позволяет повысить эффективность лесохозяйственных мероприятий, своевременно выявить проблемные участки и принять меры по улучшению их состояния, что в конечном итоге способствует повышению продуктивности лесов и снижению экономических потерь. Важным аспектом является возможность объединения материалов лидарной съемки с другими источниками информации, такими как данные дистанционного зондирования Земли. Это позволяет проводить комплексный анализ факторов, влияющих на состояние лесных культур.

В заключение можно сказать, что использование лидарной съемки для оценки состояния несомкнувшихся лесных культур является инновационным и перспективным подходом, который обеспечивает снижение экономических и временных затрат, повышение эффективности обследования лесных культур и улучшение их состояния.

Список литературы

1. Лесные культуры: метод. указания / сост.: Н. И. Якимов, В. К. Гвоздев. Минск: БГТУ, 2019. 58 с.
2. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Носников В. В. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие. В 2 ч. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2019. 145 с.
3. Лесовосстановление // М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь. URL: <https://mlh.gov.by/ministry/our-main-activities/lesnoe-khozyaystvo/lesovosstanovlenie/> (дата обращения: 11.03.2025).
4. Правила лесовосстановления и лесоразведения: ТКП 7667–2022 (33090). М.: Стандарты, 2022. 25 с.
5. Инструкция о порядке организации и содержании лесоустроительных работ, составе лесоустроительной документации и авторском надзоре за реализацией лесоустроительных проектов. Минск, 2017. 32 с.
6. Штукин С. С. Совершенствование организации работ по созданию лесов в Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 2004. Вып. XII. С. 88–96.
7. Цай С. С., Ильчук М. А. Использование беспилотных летательных аппаратов для целей лесного хозяйства // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. Минск, 2023. С. 448–450.
8. Оценка качества несомкнувшихся лесных культур в подзоне дубово-темнохвойных лесов / Е. В. Чурило [и др.] // Лесное хозяйство: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв. – 16 фев. 2024 г. Минск, 2024. С. 536–539.
9. Подвес с камерой DJI Zenmuse-12 // DJI-Минск. URL: <https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves-s-kameroy-dji-zenmuse-12/> (дата обращения: 11.03.2025).
10. Толкач И. В., Шульга Е. А. Определение высот и диаметров крон деревьев по данным лидарной съемки // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 15–21. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-2.
11. Шульга Е. А. Построение цифровой модели высот по данным лазерного сканирования // Сб. науч. работ 74-й науч.-техн. конф. учащихся, студентов и магистрантов, Минск, 17–22 апр. 2023 г. Минск, 2023. С. 22–24.
12. Шульга Е. А., Толкач И. В. Распределение облака точек лидарной съемки в пологе и под пологом древостоев // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. Минск, 2023. С. 478–481.
13. Открытая настольная ГИС SAGA – общая характеристика // GIS-Lab. URL: <https://gis-lab.info/qa/saga-intro.html> (дата обращения: 11.03.2025).
14. Jain Ramesh, Kasturi Rangachar, Brian G. Schunck. Machinevision. Tampa: McGraw-Hill Inc., 1995. 549 p.
15. Shih Frank Y. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques. NY: WILEY, 2010. 537 p.

References

1. *Lesnyye kul'tury* [Forest crops]. Comp.: N. I. Yakimov, V. K. Gvozdev. Minsk, BSTU Publ., 2019. 58 p. (In Russian).

2. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Nosnikov V. V. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest crops and protective afforestation]. In 2 parts. Part 1. Minsk, BSTU Publ., 2019. 145 p. (In Russian).
3. Reforestation. Available at: <https://mlh.gov.by/ministry/our-main-activities/lesnoe-khozyaystvo/leso-voستانovlenie/> (accessed 11.03.2025) (In Russian).
4. ТКР 7667–2022 (33090). Forest restoration and afforestation rules. Moscow, Standarty Publ., 2022. 25 p. (In Russian).
5. Instruksiya o poryadke organizatsii i sodержanii lesoustroitel'nykh rabot, sostave lesoustroitel'noy dokumentatsii i avtorskom nadzore za realizatsiyey lesoustroitel'nykh proyektov [Instructions on the procedure for organizing and maintaining forest management works, the composition of forest management documentation and author's supervision of the implementation of forest management projects]. Minsk, 2017. 32 p. (In Russian).
6. Shtukin S. S. Improving the organization of forest creation works in Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 2004, issue XII, pp. 88–96 (In Russian).
7. Tsai S. S., Ilyuchik M. A. Use of unmanned aerial vehicles for forestry purposes. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: materials of the 87th scientific and technical conference of professors, research workers and graduate students]. Minsk, 2023, pp. 448–450 (In Russian).
8. Churilo E. V., Kib E. K., Pimenova Zh. Yu., Teglenkov E. A., Pomaz G. M. Assessment of the quality of open forest plantations in the oak-dark coniferous forest subzone. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: materials of the 88th scientific and technical conference of professors, research workers and graduate students]. Minsk, 2024, pp. 536–539 (In Russian).
9. DJI Zenmuse-12 camera gimbal. Available at: <https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves-s-kameroy-dji-zenmuse-12/> (accessed 11.03.2025) (In Russian).
10. Tolkach I. V., Shulga E. A. Determination of heights and diameters of tree crowns based on lidar survey data. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 1 (276), pp. 15–21. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-2 (In Russian).
11. Shulga E. A. Construction of a digital elevation model based on laser scanning data. *Sbornik nauchnykh rabot 74-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii uchashchikhsya, studentov i magistrantov* [Collection of scientific works of the 74th scientific and technical conference of students, undergraduates and graduate students]. Minsk, 2023, pp. 22–24 (In Russian).
12. Shulga E. A., Tolkach I. V. Distribution of the lidar survey point cloud in the canopy and under the canopy of tree stands. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: materials of the 87th scientific and technical conference of professors, research workers and graduate students]. Minsk, 2023, pp. 478–481 (In Russian).
13. Open desktop GIS SAGA – general characteristics. Available at: <https://gis-lab.info/qa/saga-intro.html> (accessed 11.03.2025) (In Russian).
14. Jain Ramesh, Kasturi Rangachar, Brian G. Schunck. Machinevision. Tampa, McGraw-Hill Publ., 1995. 549 p.
15. Shih Frank Y. Image processing and pattern recognition: fundamentals and techniques. NY, WILEY Publ., 2010. 537 p.

Информация об авторах

Шульга Екатерина Александровна – аспирант кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: shulga@belstu.by

Толкач Игорь Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: i.tolkach@belstu.by

Цай Сергей Сергеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tsai@belstu.by

Information about the authors

Shulga Ekaterina Alexandrovna – PhD student, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: shulga@belstu.by

Tolkach Igor Vladimirovich – 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: i.tolkach@belstu.by

Tsai Siarhey Siarheevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tsai@belstu.by

Поступила 15.03.2025

УДК 630*587.6

А. А. Пушкин, В. В. Коцан, П. В. Севрук, О. С. Ожич
Белорусский государственный технологический университет

АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ДЕШИФРИРОВАНИЕ ПОВРЕЖДЕННЫХ ХВОЙНЫХ НАСАЖДЕНИЙ ПО РАЗНОВРЕМЕННЫМ МАТЕРИАЛАМ КОСМИЧЕСКОЙ СЪЕМКИ

В статье описан алгоритм определения поврежденных хвойных насаждений на основании обработки разновременных космических снимков спутника Sentinel. Алгоритм разработан по результатам анализа динамики спектрального индекса SWVI (Short-Wave Vegetation Index) в поврежденных хвойных древостоях. Объектом исследований являются сосновые и еловые древостои с коэффициентом участия в составе от пяти единиц, произрастающие на территории Минского ГПЛХО. Все древостои разделены на 6 учетных категорий. Разработанный алгоритм строится на проверке следующих условий: насколько отличается значение индекса исследуемого участка от среднего значения категории, какая разница значений индекса исследуемого участка анализируемого и предыдущего месяца, каково отношение разностей средних значений индексов учетной категории и исследуемого участка в анализируемом месяце к этим же показателям в прошлом месяце. Полевая проверка результатов, полученных с использованием разработанного алгоритма, показывает высокую точность обнаружения поврежденных хвойных древостоев. Использование инструментов, позволяющих получать актуальную информацию о наличии повреждений в лесном фонде на основе автоматизированной обработки оперативно поступающих материалов космической съемки, существенно облегчает работу по мониторингу состояния лесов и помогает минимизировать потери древесины.

Ключевые слова: дешифрирование, хвойные насаждения, спектральные индексы, разновременные данные дистанционного зондирования Земли, коэффициент состава, усыхания, буреломные и ветровальные повреждения, геоинформационная система.

Для цитирования: Пушкин А. А., Коцан В. В., Севрук П. В., Ожич О. С. Автоматизированное дешифрирование поврежденных хвойных насаждений по разновременным материалам космической съемки // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 20–28.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-3.

A. A. Pushkin, V. V. Kotsan, P. V. Sevruck, O. S. Ozhich
Belarusian State Technological University

AUTOMATED INTERPRETATION OF DAMAGED CONIFEROUS STANDS BASED ON MULTI-TEMPORAL SATELLITE IMAGERY

The article presents an algorithm for detecting damaged coniferous stands based on the processing of multi-temporal satellite imagery from the Sentinel satellite. The algorithm was developed through an analysis of the dynamics of the Short-Wave Vegetation Index (SWVI) in affected coniferous stands. The study focuses on pine and spruce stands with a participation coefficient of at least five units, located within the territory of the Minsk Forestry. All stands are classified into 6 accounting categories. The proposed algorithm is based on the evaluation of the following conditions: the deviation of the index value of the investigated area from the mean index value within its category, the difference in index values for the investigated area between the analyzed month and the preceding month, and the ratio of the difference between the mean category index and the investigated area's in the analyzed month to the to the same indicators in the previous month. Field validation of the results obtained using the proposed algorithm demonstrated a high level of accuracy in detecting damaged coniferous stands. The implementation of tools that enable real-time detection of forest damage through automated processing of satellite imagery is expected to significantly enhance forest condition monitoring and contribute to minimizing timber losses.

Keywords: image interpretation, coniferous stands, spectral indices, multi-temporal remote sensing data, participation coefficient, forest stand dieback, windthrow and windbreak damage, Geographic Information System (GIS).

For citation: Pushkin A. A., Kotsan V. V., Sevruck P. V., Ozhich O. S. Automated interpretation of damaged coniferous stands based on multi-temporal satellite imagery. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 20–28 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-3.

Введение. В современных условиях лесное хозяйство сталкивается с серьезными вызовами, обусловленными глобальными климатическими и экологическими изменениями [1, 2], которые приводят к снижению устойчивости лесных экосистем. Согласно данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, вследствие произошедших на территории только Гомельской области летом 2024 г. неблагоприятных погодных условий было повреждено 5 000 000 м³ древесины [3]. Наличие методик и инструментов, позволяющих получать актуальную информацию о поврежденных лесных насаждениях на основе автоматизированной обработки оперативно поступающих материалов космической съемки, существенно облегчит работу по мониторингу состояния лесов и недопущению потерь древесины.

Для создания инструментов, предназначенных выявлять поврежденные хвойные насаждения по данным космической съемки, был проведен ряд исследований, целью которых была оценка информативности различных спектральных индексов и методов математической обработки создаваемых тематических карт, а также полевые обследования поврежденных лесных участков [4–6]. Результатом исследований стал алгоритм выявления повреждений хвойных лесов на основании спектрального индекса SWVI (Short-Wave Vegetation Index) [7, 8], рассчитанного по разновременным данным спутников Sentinel [9, 10]. Анализ значений индекса и его динамики производится по сетке квадратов размером 30×30 м, наложенной на земли лесного фонда, находящиеся в ведении Минского ГПЛХО [11]. Разработка алгоритма и проведение экспериментальных расчетов осуществлялись в геоинформационной системе QGIS [12].

Основная часть. Интенсивность усыхания и повреждения лесных насаждений тесно связана с их лесоводственно-таксационными показателями. Например, молодняки обычно более устойчивы к повреждениям, чем спелые древостои. Предыдущие исследования показали, что состав насаждения, особенно доля участия главной породы в составе древостоя, оказывает существенное влияние на биологическую устойчивость хвойных лесов и интенсивность их усыхания [13, 14]. Кроме того, доля главной породы

является ключевым фактором, определяющим динамику спектрального индекса SWVI, рассчитанного по данным Sentinel для хвойных насаждений на разных стадиях усыхания. На основе этих данных и статистического анализа [15] разработана шкала классификации хвойных лесов, позволяющая выделять категории для оценки повреждений в зависимости от доли хвойной породы в составе насаждения (таблица).

Для каждой из категорий, представленных в таблице, динамика изменения спектральных индексов в процессе усыхания уникальна. Поэтому оценивать, является ли данный участок насаждения (квадрат) усыхающим, необходимо отдельно в пределах каждой категории.

Алгоритм определения поврежденных хвойных насаждений состоит из последовательности операций, представленных на рис. 1 в виде функциональной схемы, и включает нижеследующие основные этапы.

1. Определение среднего арифметического значения индекса SWVI для каждой ячейки (30×30 м) сетки на дату анализируемого месяца выполняется по следующей формуле:

$$\overline{SWVI}_m = \frac{\sum SWVI_{m_i}}{n_{ja}}, \quad (1)$$

где $\overline{SWVI}_m$ – среднее арифметическое значение индекса SWVI ячейки сетки в анализируемый месяц; $\sum SWVI_{m_i}$ – сумма значений индекса SWVI всех пикселей в ячейке сетки в анализируемый месяц; n_{ja} – количество пикселей, попавших в ячейку, шт.

2. Определение среднего значения индекса SWVI для каждой учетной категории на дату анализируемого месяца выполняется по формуле

$$\overline{SWVI}_{m_{sr}} = \frac{\sum SWVI_{m_i}}{n_{kat}}, \quad (2)$$

где $\overline{SWVI}_{m_{sr}}$ – среднее арифметическое значение индекса SWVI учетной категории; $\sum SWVI_{m_i}$ – сумма значений индекса SWVI всех пикселей в учетной категории; n_{kat} – количество пикселей в учетной категории, шт.

Учетные категории оценки повреждений

Название категории	Таксационная характеристика насаждения
Категория 1	Древостой с участием в составе 10–9 единиц сосны
Категория 2	Древостой с участием в составе 8–7 единиц сосны
Категория 3	Древостой с участием в составе 6–5 единиц сосны
Категория 4	Древостой с участием в составе 10–9 единиц ели
Категория 5	Древостой с участием в составе 8–7 единиц ели
Категория 6	Древостой с участием в составе 6–5 единиц ели

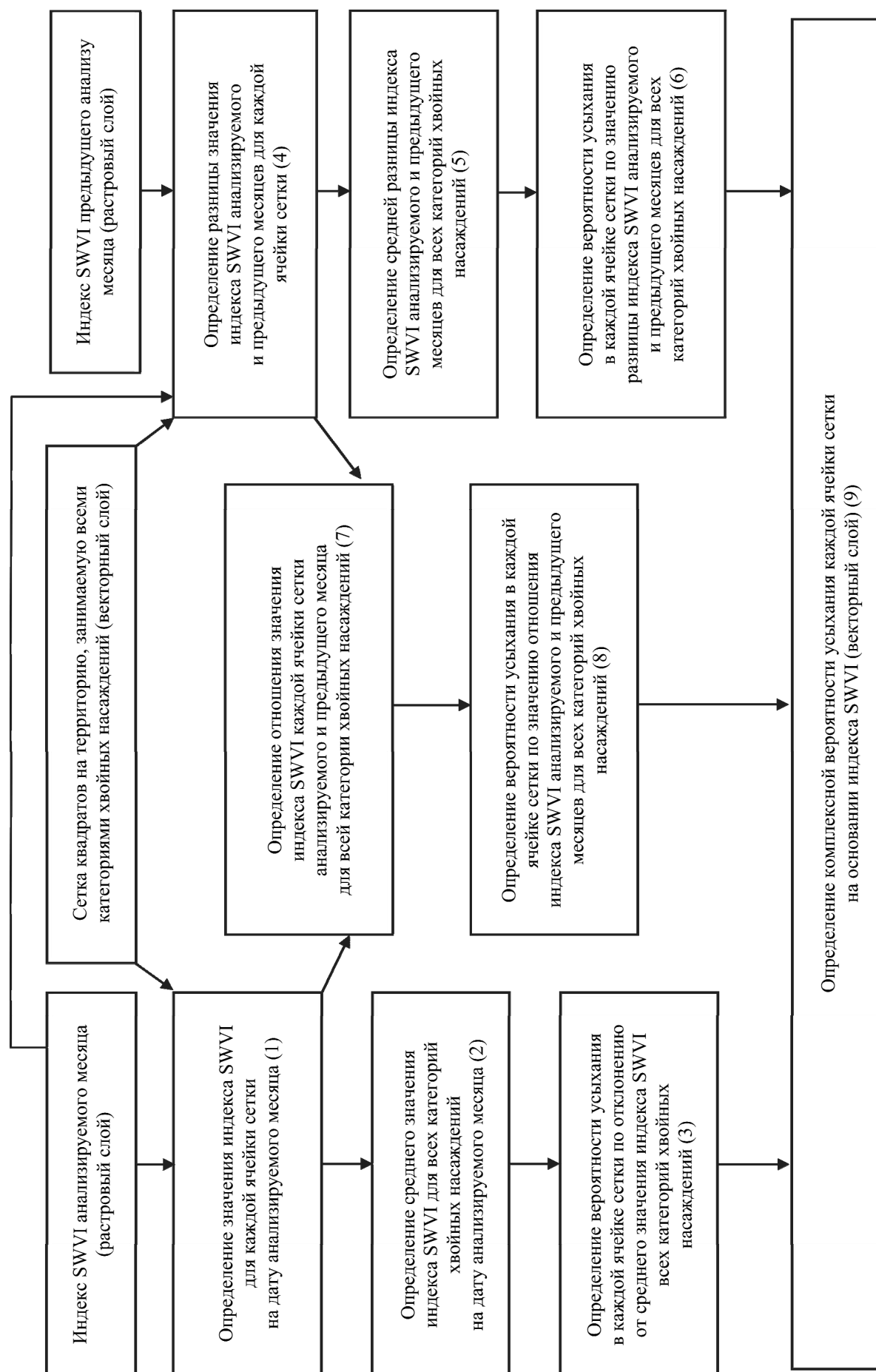


Рис. 1. Функциональная схема алгоритма определения поврежденных хвойных насаждений

3. Определение среднеквадратического отклонения среднего значения индекса SWVI ячейки от среднего значения категории на дату анализируемого месяца.

Среднеквадратическое отклонение индекса SWVI для учетной категории определяется по формуле

$$\sigma_{\text{SWVI}_m} = \sqrt{\frac{\sum \text{SWVI}_{m_i}^2 \frac{(\sum \text{SWVI}_{m_i})^2}{n_{\text{kat}}}}{n_{\text{kat}} - 1}}, \quad (3)$$

где σ_{SWVI_m} – среднеквадратическое отклонение индекса SWVI для учетной категории; $\sum \text{SWVI}_{m_i}$ – сумма значений индекса SWVI всех пикселей учетной категории на дату анализируемого месяца.

Определение значения спектрального индекса SWVI, соответствующего границе первой вероятности повреждения, выполняется по формуле

$$\text{SWVI}_{gr1} = \overline{\text{SWVI}_{m_{sr}}} - \sigma_{\text{SWVI}_m}, \quad (4)$$

где SWVI_{gr1} – значение спектрального индекса SWVI, соответствующего границе первой вероятности повреждения.

Если значение спектрального индекса ячейки меньше границы первой вероятности повреждения, то ячейка принимает значение «первая вероятность повреждения присутствует»:

$$\begin{aligned} &\text{если } \overline{\text{SWVI}_m} < \text{SWVI}_{gr1}, \\ &\text{то } \text{POV}_1 = 1. \end{aligned} \quad (5)$$

Если значение спектрального индекса ячейки больше или равно границе первой вероятности повреждения, то ячейка принимает значение «первая вероятность повреждения отсутствует»:

$$\begin{aligned} &\text{если } \overline{\text{SWVI}_m} \geq \text{SWVI}_{gr1}, \\ &\text{то } \text{POV}_1 = 0. \end{aligned} \quad (6)$$

4. Определение разницы значений индексов SWVI для каждого пикселя на дату анализируемого и предыдущего месяцев:

$$\Delta \text{SWVI}_i = \text{SWVI}_{m_i} - \text{SWVI}_{m-1_i}, \quad (7)$$

где ΔSWVI_i – разница значений индексов SWVI для каждого пикселя на дату анализируемого и предыдущего месяцев.

Определение среднего арифметического значения индекса SWVI для каждой ячейки сетки на дату предыдущего месяца:

$$\overline{\text{SWVI}_{m-1}} = \frac{\sum \text{SWVI}_{m-1_i}}{n_{ja}}, \quad (8)$$

где $\overline{\text{SWVI}_{m-1}}$ – среднее значение индекса SWVI для ячейки сетки на дату предыдущего месяца; $\sum \text{SWVI}_{m-1_i}$ – сумма значений индекса SWVI всех пикселей в ячейке сетки на дату предыдущего месяца.

5. Определение среднего значения разницы индексов SWVI для ячейки на дату анализируемого и предыдущего месяцев:

$$\overline{\Delta \text{SWVI}_{ja}} = \frac{\sum \Delta \text{SWVI}_i}{n_{ja}}, \quad (9)$$

где $\overline{\Delta \text{SWVI}_{ja}}$ – расчетное среднее значение разницы индексов SWVI для ячейки на дату анализируемого и предыдущего месяцев; $\sum \Delta \text{SWVI}_i$ – сумма разниц значений индексов SWVI для каждого пикселя ячейки на дату анализируемого и предыдущего месяцев.

Определение среднего значения разницы индексов SWVI для учетной категории на дату анализируемого и предыдущего месяцев:

$$\overline{\Delta \text{SWVI}_{sr}} = \frac{\sum \Delta \text{SWVI}_i}{n_{\text{kat}}}, \quad (10)$$

где $\overline{\Delta \text{SWVI}_{sr}}$ – расчетное среднее значение разницы индексов SWVI для категории на дату анализируемого и предыдущего месяцев; $\sum \Delta \text{SWVI}_i$ – сумма разниц значений индексов SWVI для каждого пикселя учетной категории на дату анализируемого и предыдущего месяцев.

6. Определение среднеквадратического отклонения разницы индексов SWVI на дату анализируемого и предыдущего месяцев для учетной категории:

$$\sigma_{\Delta \text{SWVI}} = \sqrt{\frac{\sum \Delta \text{SWVI}_i^2 - \frac{(\sum \Delta \text{SWVI}_i)^2}{n_{ja}}}{n_{ja} - 1}}, \quad (11)$$

где $\sigma_{\Delta \text{SWVI}}$ – среднеквадратическое отклонение разницы индексов SWVI на дату анализируемого и предыдущего месяцев для учетной категории; $\sum \Delta \text{SWVI}_i$ – сумма значений разниц индексов SWVI на дату анализируемого и предыдущего месяцев для всех пикселей учетной категории.

Определение значения спектрального индекса SWVI, соответствующего границе второй вероятности повреждения:

$$SWVI_{gr2} = \overline{\Delta SWVI}_{sr} + \sigma_{\Delta SWVI}, \quad (12)$$

где $SWVI_{gr2}$ – значение спектрального индекса SWVI, соответствующего границе второй вероятности повреждения.

Если разница для ячейки больше величины границы второй вероятности повреждения, то ячейка принимает значение «вторая вероятность повреждения присутствует», т. е.

$$\begin{aligned} \text{если } \overline{\Delta SWVI}_{ja} > SWVI_{gr2}, \\ \text{то } POV_2 = 1. \end{aligned} \quad (13)$$

Если значение ячейки меньше или равно границе второй вероятности повреждения, то ячейка принимает значение «вторая вероятность повреждения отсутствует»:

$$\begin{aligned} \text{если } \overline{\Delta SWVI}_{ja} \leq SWVI_{gr2}, \\ \text{то } POV_2 = 0. \end{aligned} \quad (14)$$

7. Определение отношения разности значений индексов SWVI для учетной категории и ячейки на дату анализируемого месяца к разности значений этих показателей на дату прошлого месяца:

$$SWVI_{rel} = \frac{\overline{SWVI}_{m_{sr}} - \overline{SWVI}_m}{\overline{SWVI}_{m-1_{sr}} - \overline{SWVI}_{m-1}}, \quad (15)$$

где $SWVI_{rel}$ – отношение разности значений индексов SWVI для учетной категории и ячейки на дату анализируемого месяца к разности значений этих показателей на дату прошлого месяца.

8. Сопоставление вычисленного отношения разностей спектрального индекса (формула (15)) с граничными значениями в разрезе учетных категорий.

Если вычисленное по формуле (15) отношение разностей спектрального индекса SWVI находится в определенном диапазоне значений, полученном на основании анализа данных полевых исследований, то ячейка принимает значение «третья вероятность повреждения присутствует»:

$$\begin{aligned} \text{если } x < SWVI_{rel} < y, \\ \text{то } POV_3 = 1, \end{aligned} \quad (16)$$

где x, y – соответственно минимальное и максимальное значения отношения разности значений индексов SWVI для учетной категории и ячейки на дату анализируемого месяца к разности значений этих показателей на дату прошлого месяца.

В противном случае ячейка принимает значение «третья вероятность повреждения отсутствует»:

$$\begin{aligned} \text{если } x > SWVI_{rel} > y, \\ \text{то } POV_3 = 0. \end{aligned} \quad (17)$$

9. Определение комплексной вероятности повреждения лесных насаждений для каждой ячейки сетки на основании индекса SWVI.

Если первая, вторая и третья вероятности повреждения принимают значение 1, то данная ячейка сетки относится к поврежденным, т. е.

$$\begin{aligned} \text{если } POV_1 + POV_2 + POV_3 = 3, \\ \text{то } POV = 1. \end{aligned} \quad (18)$$

В обратном случае данная ячейка сетки относится к неповрежденным:

$$\begin{aligned} \text{если } POV_1 + POV_2 + POV_3 < 3, \\ \text{то } POV = 0. \end{aligned} \quad (19)$$

Таким образом, в соответствии с изложенным алгоритмом устанавливается возможное наличие повреждений насаждений для каждой анализируемой ячейки.

На основе представленного выше алгоритма на платформе геоинформационной системы QGIS выполнена разработка программных средств «Определение участков поврежденных лесных насаждений», автоматизирующих выполнение вышепредставленных вычислений.

Для опытной проверки результатов, получаемых при использовании представленного выше алгоритма, были проведены полевые натурные обследования выявленных мест повреждений хвойных лесных насаждений. В качестве объектов полевых исследований на основании равномерной представленности всех учетных категорий и размещения в центральной части объекта исследования (Минского ГПЛХО) были выбраны Червенский и Смолевичский лесхозы. Обнаружение мест потенциальных повреждений на местности проводилось на основании подготовленных в QGIS проектов и загруженных в полевой планшет LT 700 с мощным GNSS-приемником, позволяющим проводить измерения в лесу с точностью около 1 м.

Первый этап проведенных полевых обследований (июль 2024 г.) показал неудовлетворительные результаты работы программных средств: из 38 выделенных программным компонентом древостоев только 5 относились к поврежденным. В эту выборку наряду с повреждениями попали свежие сплошнолесосечные рубки и места проведения рубок ухода (рис. 2, 3). Смена зеленой массы крон на порубочные остатки при сплошнолесосечных рубках, а также наличие сухого хвороста и мелкотоварной древесины после проведения рубок ухода существенно

снизили значение индекса SWVI по сравнению с прошлым месяцем, что привело к выделению данных насаждений как в категорию поврежденных.

Также ошибочно вместо повреждений были обнаружены насаждения с низкой полнотой. В таких древостоях из-за низкой сомкнутости полога на значение индекса SWVI значительно повлиял напочвенный покров, а также тени от отдельных деревьев, возникающие из-за их редкого размещения по площади. К тому же в разные месяцы съемки может отличаться состояние живого напочвенного покрова из-за происходящих в нем процессов вегетации, а также в зависимости от погодных условий и времени проведения съемки будет различным положение теней. В итоге данные участки алгоритм идентифицировал как участки повреждений лесных насаждений.

На основании проведенного анализа ошибочных и точных поврежденных хвойных лесных насаждений используемый программными средствами алгоритм обнаружения повреждений был усовершенствован. В частности, введено условие, по которому анализировалось отношение разности значений индексов SWVI для учетной категории и ячейки на дату анализиру-

емого месяца к разности значений этих показателей в прошлом месяце. Данный подход позволил заменить анализ абсолютных значений индекса на анализ его отклонений от средней величины, которые менее вариабельны и более устойчивы к воздействию внешней среды.

Таким образом, полученные в результате проведенных полевых обследований результаты использовались в процессе усовершенствования вычислительного алгоритма поиска поврежденных лесных насаждений.

Обследуемая территория была проанализирована на основании усовершенствованного алгоритма в августе 2024 г. и тогда же проведен второй этап полевых изысканий. Из 36 участков, обозначенных программным компонентом как повреждения, были подтверждены 35, а на одном был выявлен еловый древостой с низкой полнотой.

На рис. 4, 5 представлены примеры обнаруженных поврежденных сосновых и еловых древостоев. Усыхания имели сплошной характер и требуют проведения сплошных санитарных рубок. Некоторые (3 шт.) обследованные участки имели следы частичного повреждения и нуждались в проведении выборочных санитарных рубок.



Рис. 2. Обнаруженные сплошнолесосечные вырубки



Рис. 3. Обнаруженные места проведения рубок ухода



Рис. 4. Обнаруженный усохший сосновый древостой



Рис. 5. Обнаруженный усохший еловый древостой

Заключение. Проведенная опытная проверка функций показала высокую точность обнаружения участков поврежденных хвойных лесных насаждений (97%), что свидетельствует о работоспособности системы и возможности ее использования в практике лесного хозяйства. Некоторые из найденных участков уже были обнаружены работниками лесохозяйственных

учреждений и отведены в рубку, что только подчеркивает эффективность разработанной системы.

На последующих этапах разработки и опытной эксплуатации представленного алгоритма предусматривается его проверка на большом количестве экспериментального материала, собранного на территории Минского ГПЛХО.

Список литературы

1. Экологоориентированное развитие лесного хозяйства Беларуси в условиях климатических изменений / И. В. Войтов [и др.]; под общ. ред. И. В. Войтова, В. Г. Шатравко. Минск: БГТУ, 2019. 200 с.
2. Багинский В. Ф., Лапицкая О. В. Комплексная оценка лесных ресурсов: учеб. пособие. Гомель: ГГУ им. Ф. Скорины, 2022. 151 с.
3. Лесхозы приближаются к заготовке 5 млн кубометров буреломной древесины // СБ. Беларусь сегодня. URL: <https://www.sb.by/articles/leskhozy-priblizhayutsya-k-zagotovke-5-mln-kubometrov-burelomnoy-drevesiny.html> (дата обращения: 03.03.2025).
4. Давидович Ю. С., Катковский Л. В. Спектральные индексы для изучения усыханий хвойной растительности // ГИС-технологии в науках о Земле: материалы респ. науч.-практ. семинара студентов и молодых ученых, Минск, 18 нояб. 2020 г. Минск, 2020. С. 157–161. URL: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/254330> (дата обращения: 03.03.2025).
5. Мартинов А. О. Классификация состояний усыхания ели обыкновенной на основе спектров отражения // Журнал Белорусского государственного университета. Физика. 2022. № 3. С. 26–38. DOI: 10.33581/2520-2243-2022-3-26-38.
6. Ковалев А. В. Анализ устойчивости лесных насаждений к повреждениям сибирским шелкопрядом по данным дистанционного зондирования // Сибирский лесной журнал. 2021. № 5. С. 71–78.
7. Гусев А. П. Индикация изменений в природно-антропогенных ландшафтах по многолетней динамике вегетационных индексов (на примере юго-востока Беларуси) // Современные направления развития физической географии: научные и образовательные аспекты в целях устойчивого развития: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 85-летию фак. географии и геоинформатики Белорус. гос. ун-та и 65-летию Белорус. геогр. о-ва, Минск, 13–15 нояб. 2019 г. Минск, 2019. С. 67–69. URL: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/234865> (дата обращения: 04.03.2025).

8. Гусев А. П., Козюлев И. И., Шаврин И. А. Использование спектральных индексов для оценки эродированности почв в природно-антропогенных ландшафтах Беларуси // Российский журнал прикладной экологии. 2020. № 2. С. 48–52. URL: https://www.researchgate.net/publication/343290461_ispolzovanie_spektralnyh_indeksov_dla_ocenki_erodirovannosti_pocv_v_prirodno-antropogennyh_landsaftah_bielarusi (дата обращения: 04.03.2025).

9. Sentinel Hub. URL: <https://www.sentinel-hub.com/> (дата обращения: 05.03.2025).

10. Vega VV05 Launch Updates – Sentinel-2A // Internet Archive. Wayback Machine. URL: <https://web.archive.org/web/20170202043912/http://www.spaceflight101.net/vega-vv05-launch-updates---sentinel-2a.html> (дата обращения: 05.03.2025).

11. Лесхозы объединения // Минское государственное производственное лесохозяйственное объединение. URL: <https://mplho.by/leshozi-obedineniya> (дата обращения: 05.03.2025).

12. QGIS. URL: <https://qgis.org/> (дата обращения: 05.03.2025).

13. Динамика спектрального индекса NDVI усыхающих хвойных насаждений / А. А. Пушкин [и др.] // Лесное хозяйство: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв. – 16 фев. 2024 г. Минск, 2024. С. 404–406. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/65703> (дата обращения: 05.03.2025).

14. Концепция создания и перспективные функции геосервиса мониторинга состояния лесов / А. А. Пушкин [и др.] // Лесное хозяйство: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 24 янв. – 16 фев. 2024 г. Минск, 2024. С. 397–400. URL: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/65706> (дата обращения: 05.03.2025).

15. Бондаренко А. С., Жигунов А. В. Статистическая обработка материалов лесоводственных исследований: учеб. пособие. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 125 с.

References

1. Voytov I. V., Shatravko V. G., Yurevich N. N., Lednitsky A. V., Neverov A. V., Nosnikov V. V., Rozhkov L. N. *Ekologooriyentirovannoye razvitiye lesnogo khozyaystva Belarusi v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Ecologically oriented development of forestry in Belarus in the context of climate change]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 200 p. (In Russian).

2. Baginsky V. F., Lapitskaya O. V. *Kompleksnaya otsenka lesnykh resursov: uchebnoye posobiye* [Integrated forest resources assessment]. Gomel, GGU imeni F. Skoriny Publ., 2022. 151 p. (In Russian).

3. Forestry enterprises are approaching the harvesting of 5 million cubic meters of windfall timber. Available at: <https://www.sb.by/articles/leskhozy-priblizhayutsya-k-zagotovke-5-mln-kubometrov-burelomnoy-drevesiny.html> (accessed 03.03.2025) (In Russian).

4. Davidovich Yu. S., Katkovsky L. V. Spectral indices for studying the drying out of coniferous vegetation. *GIS-tekhnologii v naukakh o Zemle: materialy respublikanskogo nauchno-prakticheskogo seminar studentov i molodykh uchenykh* [GIS technologies in Earth sciences: materials of the republic scientific and practical seminar of students and young scientists]. Minsk, 2020, pp. 157–161. Available at: <https://elib.bsu.by/handle/123456789/254330> (accessed 03.03.2025) (In Russian).

5. Martinov A. O. Classification of norway spruce drying states on the basis of reflection spectra. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Fizika* [Journal of the Belarusian State University. Physics], 2022, no. 3, pp. 26–38. DOI: 10.33581/2520-2243-2022-3-26-38 (In Russian).

6. Kovalev A. V. Analysis of forest stands resistance to siberian silkmoth attack according to remote sensing data. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian forestry journal], 2021, no. 5, pp. 71–78 (In Russian).

7. Gusev A. P. Indication of changes in natural-anthropogenic landscapes by the long-term dynamics of vegetation indices (the example of south-eastern Belarus). *Sovremennyye napravleniya razvitiya fizicheskoy geografii: nauchnyye i obrazovatel'nyye aspekty v tselyakh ustoychivogo razvitiya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 85-letiyu fakul'teta geografii i geoinformatiki Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta i 65-letiyu Belorusskogo geograficheskogo obshchestvava* [Modern directions of development of physical geography: scientific and educational aspects for sustainable development: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the 85th anniversary of the faculty of geography and geoinformatics of the Belarusian State University and the 65th anniversary of the Belarusian geographical societies]. Minsk, 2019, pp. 67–69. Available at: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/234865> (accessed 04.03.2025) (In Russian).

8. Gusev A. P., Kozulev I. I., Shavrin I. A. The use of spectral indices for assessing soil erosion in natural and anthropogenic landscapes of Belarus. *Rossiyskiy zhurnal prikladnoy ekologii* [Russian journal of applied ecology], 2020, no. 2, pp. 48–52. Available at: https://www.researchgate.net/publication/343290461_ispolzovanie_spektralnyh_indeksov_dla_ocenki_erodirovannosti_pocv_v_prirodno-antropogennyh_landsaftah_bielarusi (accessed 04.03.2025) (In Russian).

9. Sentinel Hub. Available at: <https://www.sentinel-hub.com/> (accessed 05.03.2025).
10. Vega VV05 Launch Updates – Sentinel-2A. Available at: <https://web.archive.org/web/20170202043912/http://www.spaceflight101.net/vega-vv05-launch-updates---sentinel-2a.html> (accessed 05.03.2025).
11. Forestry associations. Available at: <https://mplho.by/leshozi-obedineniya> (accessed 05.03.2025) (In Russian).
12. QGIS. Available at: <https://qgis.org/> (accessed 05.03.2025).
13. Pushkin A. A., Sevruck P. V., Kotsan V. V., Ozhich O. S., Ilyuchik M. A. Dynamics of the spectral index NDVI of drying coniferous stands. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: proceedings of the 88th scientific and technical conference of faculty, researchers and PhD students]. Minsk, 2024, pp. 404–406. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/65703> (accessed 05.03.2025) (In Russian).
14. Pushkin A. A., Kotsan V. V., Tsai S. S., Sidelnik N. Ya., Kovalevsky S. V., Ilyuchik M. A. The concept of creation and promising functions of a geoservice for monitoring forest conditions. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: proceedings of the 88th scientific and technical conference of faculty, researchers and PhD students]. Minsk, 2024, pp. 397–400. Available at: <https://elib.belstu.by/handle/123456789/65706> (accessed 05.03.2025) (In Russian).
15. Bondarenko A. S., Zhigunov A. V. *Statisticheskaya obrabotka materialov lesovodstvennykh issledovaniy* [Statistical processing of forestry research materials]. Saint Petersburg, Politekhnikheskiy universitet Publ., 2016. 125 p. (In Russian).

Информация об авторах

Пушкин Андрей Александрович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pushkin@belstu.by

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

Севрук Павел Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: sevruckpv@belstu.by

Ожич Ольга Светославовна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bakhur@belstu.by

Information about the authors

Pushkin Andrey Aleksandrovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pushkin@belstu.by

Kotsan Vladimir Vasil'evich – 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

Sevruck Pavel Vladimirovich – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sevruckpv@belstu.by

Ozhich Ol'ga Svetoslavovna – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bakhur@belstu.by

Поступила 15.03.2025

ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE

УДК 614.841.42:630(476)

П. Н. Гоман¹, А. А. Бойко²

¹Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным
ситуациям Республики Беларусь

²Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь

КОНЦЕПЦИЯ КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ И ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСЛОВИЙ ВОЗНИКНОВЕНИЯ И ПАРАМЕТРОВ РАЗВИТИЯ ЛЕСНЫХ ПОЖАРОВ В РЕСПУБЛИКЕ БЕЛАРУСЬ

Проблема лесных пожаров продолжает оставаться одной из наиболее актуальных в природо-охранном комплексе ряда стран мира, несмотря на значительный опыт борьбы с огнем. В условиях глобального потепления увеличивается количество и площадь лесных пожаров, вследствие чего погибают люди, уничтожаются населенные пункты, наносится вред окружающей среде. Для повышения эффективности системы лесопожарной защиты актуальным является систематизация результатов научных исследований в данной области и разработка на их основе комплексных методов охраны лесов от пожаров, адаптированных для условий аномальной засухи.

В статье представлена концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, которая включает этап пожарной профилактики, направленный на заблаговременное определение необходимого объема противопожарных мероприятий, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, позволяющий произвести оценку требуемого количества сил и средств и смоделировать способы тушения пожара, а также этап расследования пожара, направленный на повышение эффективности установления причин возгораний. Разработанная концепция предназначена для использования в деятельности государственной лесной охраны и комиссий по чрезвычайным ситуациям всех уровней с целью предотвращения возникновения и ограничения развития лесных пожаров в Республике Беларусь.

Ключевые слова: лесной пожар, лесной горючий материал, воспламенение, пожарная профилактика, мониторинг, прогнозирование, концепция.

Для цитирования: Гоман П. Н., Бойко А. А. Концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 29–38.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-4.

P. N. Goman¹, A. A. Boyko²

¹University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations
of the Republic of Belarus

²Ministry of Forestry of the Republic of Belarus

THE CONCEPT OF COMPREHENSIVE ASSESSMENT AND FORECASTING THE CONDITIONS OF ORIGIN AND PARAMETERS OF FOREST FIRES DEVELOPMENT IN THE REPUBLIC OF BELARUS

The problem of forest fires continues to remain one of the most pressing in the environmental protection complex of a number of countries around the world, despite significant experience in fighting fire. In the context of global warming, the number and area of forest fires increases, as a result people die, settlements are destroyed, and the environment is damaged. To increase the efficiency of the forest fire protection system, it is relevant to systematize the results of scientific research in this area and, on this basis, develop complex method for protecting forests from fires, adapted to conditions of abnormal drought.

The article presents the concept of a comprehensive assessment and forecasting the conditions of the occurrence and parameters of the development of forest fires in the Republic of Belarus, which includes a stage of fire prevention aimed at early determination of the necessary volume of fire prevention measures, the stage

of responding to a fire and managing fire extinguishing forces and means, which makes it possible to assess the required amount of forces and means and simulate fire extinguishing methods, as well as the stage of fire investigation, aimed at increasing the efficiency of identifying the causes of fires. The developed concept is intended for use in the activities of state forest protection and emergency commissions at all levels in order to prevent the occurrence and limit the development of forest fires in the Republic of Belarus.

Keywords: forest fire, forest combustible material, inflammation, fire prevention, monitoring, forecasting, concept.

For citation: Goman P. N., Boyko A. A. The concept of comprehensive assessment and forecasting the conditions of origin and parameters of forest fires development in the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 29–38 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-4.

Введение. Лесные пожары продолжают оставаться одним из наиболее опасных стихийных бедствий, оказывающих негативное воздействие на продуктивность и состояние природных экосистем. В результате пожаров снижается качественный состав лесов, нарушаются их экологические и социальные функции, происходит трансформация лесных ландшафтов и гибель насаждений. Профилактика, оперативное обнаружение, ликвидация лесных пожаров и их последствий являются важнейшими составными элементами в сфере сохранения природных экосистем Беларуси [1–4].

На современном этапе учеными разных стран накоплен существенный опыт борьбы с лесными пожарами, получены важные теоретические и экспериментальные результаты в сфере лесопожарного районирования, моделирования динамики лесных пожаров, разработки огнегасящих и огнепреграждающих химических составов, установления закономерностей возникновения и развития пожаров, разработки методов дистанционного обнаружения очагов огня и др. [5–15]. Однако, несмотря на многообразие и всесторонность научных исследований в данной области, полученные результаты не всегда систематизированы, направлены на решение различных задач лесопожарной защиты, что затрудняет их использование для решения комплексной задачи по повышению уровня пожарной безопасности природных экосистем в условиях глобального потепления.

С учетом вышеизложенного актуальным является систематизация полученных результатов и разработка на их основе концепции комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, что является целью данной работы. В основу создания концепции положены результаты собственных научных исследований, приведенные в работах [16–22].

Основная часть. Перед разработкой любой концепции требуется определить ее структуру, т. е. выделить элементы (этапы) и средства реализации. В данном случае для разработки концепции комплексной оценки и прогнозирования

лесных пожаров предложена структура, включающая три основных этапа, реализуемых Министерством лесного хозяйства Республики Беларусь (далее – Минлесхоз): этап пожарной профилактики, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, а также этап расследования пожара.

На этапе пожарной профилактики применяется оптимизированная для административных районов Беларуси карта лесопожарного районирования (рис. 1), а также методика расчета параметров противопожарных барьеров, приведенные в источниках [16, 17].

В основу определения лесопожарных поясов положен усовершенствованный метод расчета комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров в Республике Беларусь [3, 4, 16]:

$$П = 0,13К + 0,14Л + 0,17Г + 0,11Н + 0,17Р + 0,16Х + 0,12В,$$

где К – класс природной пожарной опасности лесов района; Л – лесистость района, %; Г – горимость лесов района, равная средней частоте пожаров в год; Н – плотность населения района, чел./км²; Р – уровень радиоактивного загрязнения лесов района, Ки/км²; Х – уровень химического загрязнения лесов района выбросами промышленных объектов, тыс. т/год; В – наличие в лесах района военных складов взрывчатых материалов.

С помощью предложенного подхода лесопожарного районирования юридическими лицами, ведущими лесное хозяйство (далее – лесхоз), проводится оценка условий возникновения лесных пожаров на территории конкретного административно района республики. Под условиями, влияющими на характер возникновения и возможные последствия лесных пожаров, в данном случае понимаются природные, погодные и техногенные условия. Природные условия характеризуются классом природной пожарной опасности насаждений, типом и способностью лесного горючего материала (далее – ЛГМ) к

воспламенению и поддержанию процесса горения, погодные условия – температурой и относительной влажностью воздуха, скоростью и направлением ветра, осадками, рельефом местности, а техногенные условия – уровнем радиоактивного и химического загрязнения лесных территорий, наличием в лесном фонде взрывопожароопасных объектов. Далее на основании результатов проведенной оценки и предложенной системы лесопожарных поясов, а также требований документов [23, 24] определяется объем пожарно-профилактических мероприятий. Кроме того, по результатам оценки условий возникновения лесных пожаров и возможной лесопожарной обстановки в конкретном регионе на данном этапе осуществляется оценка достаточности и надежности системы противопожарных барьеров, создаваемых работниками лесхозов при подготовке к пожароопасному сезону.

Реализация первого этапа направлена на повышение эффективности системы противопо-

жарного обустройства лесов и комплекса пожарно-профилактических мероприятий посредством создания условий, ограничивающих возникновение и распространение лесных пожаров.

Этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения предназначен для оказания всесторонней помощи ответственному дежурному (диспетчеру) в оценке требуемых для привлечения сил и средств, исходя из площади и интенсивности горения, а также руководителю тушения пожара (далее – РТП) и комиссиям по чрезвычайным ситуациям (далее – КЧС) всех уровней при организации эффективного управления силами и средствами в зависимости от выбранных способов и методов тушения пожара. На данном этапе применяются разработанные и представленные в источниках [18, 19] программные комплексы по оценке динамики лесного пожара Wildfire (рис. 2), а также по определению уровня чрезвычайной ситуации (далее – ЧС), связанной с лесным пожаром, «Уровень лесного пожара» (рис. 3).

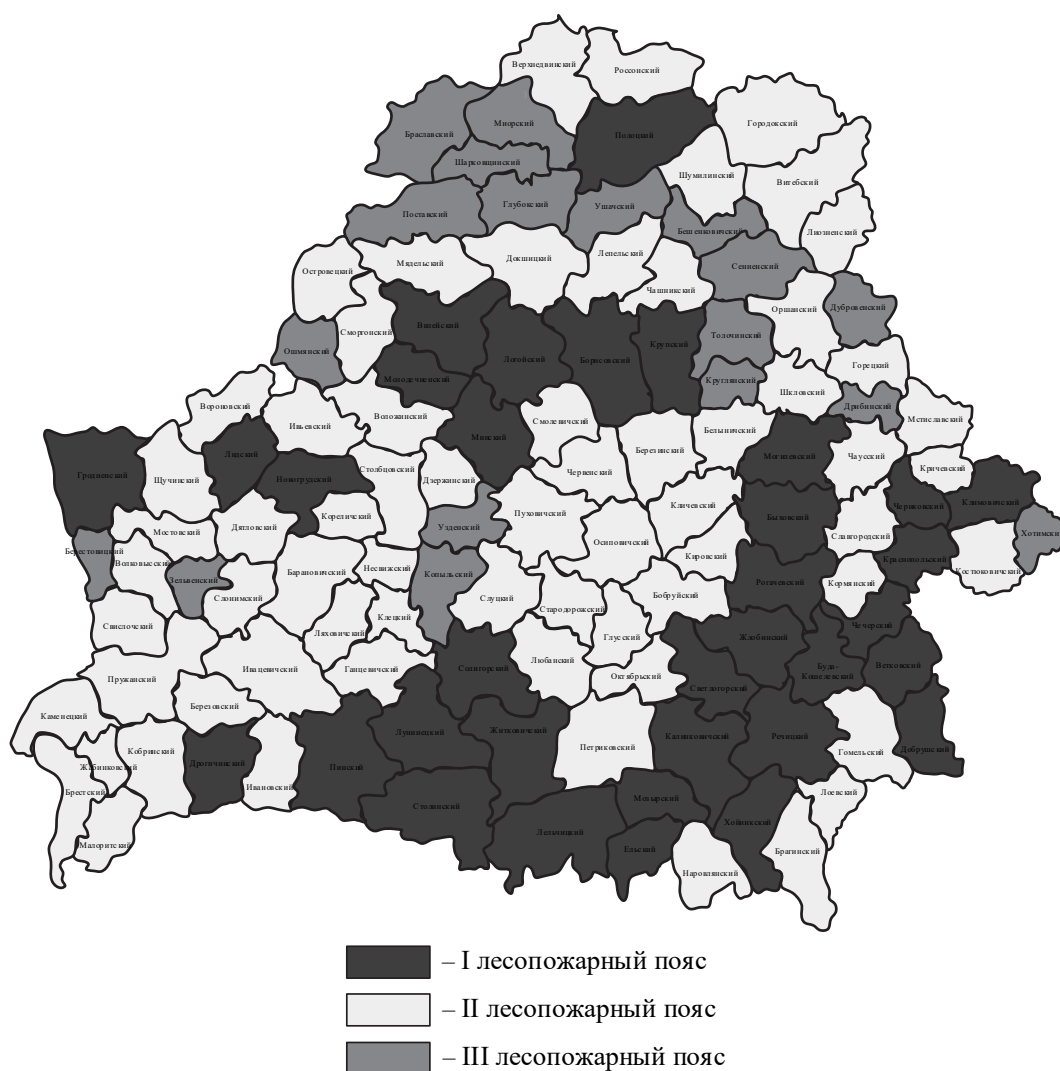


Рис. 1. Карта лесопожарного районирования по административным районам Беларуси

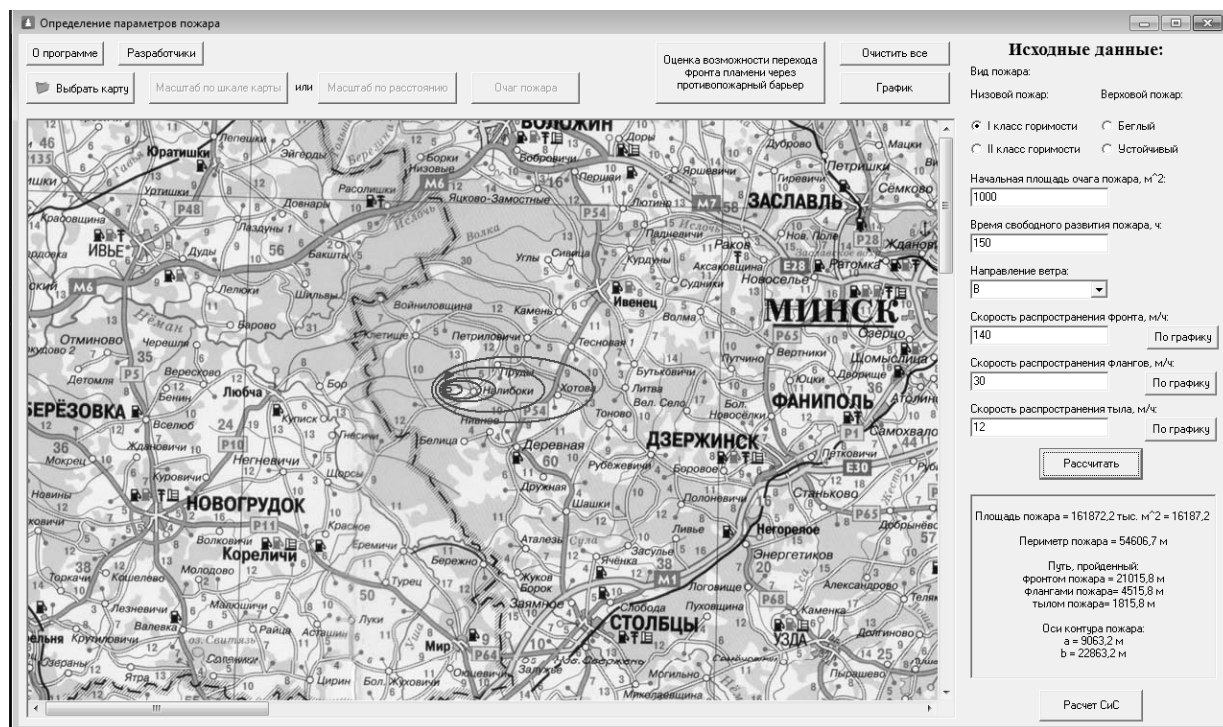


Рис. 2. Общий вид программы Wildfire

ВХОДНЫЕ ДАННЫЕ			РАСЧЕТНЫЕ ДАННЫЕ		ВЫВОД
Районы 	Вид лесного пожара	Площадь пожара ($S_{П}$), га	Пострадало, чел.	Максимальная площадь тушения силами и средствами выбранного(-ых) района(-ов) (S_T), га Предполагаемый ущерб от пожара площадью $S_{П}$ б.в.	Уровень ЧС Местный
	☒ Низовой	20	3		
	☐ Верховой				
	Организации, участвующие в ликвидации пожара:	Нарушены условия жизнедеятельности, чел.			
	☒ Минлесхоз (СЧС) ☒ ☒ МЧС (СЧС) ☒ ☒ Другие организации (СЧС) ☒	5		79,9	
				3360	

Рис. 3. Общий вид программы «Уровень лесного пожара»

С помощью программы Wildfire определяются параметры развития лесного пожара – направление, скорость, площадь, периметр, тепловая нагрузка, время достижения фронтом пламени границы населенного пункта или социально значимого объекта. Данные параметры имеют важное значение в условиях лесных пожаров, и их своевременное определение помогает существенно повысить эффективность тушения и принять решение о необходимости эвакуации людей из населенных пунктов, расположенных вблизи горящих лесных массивов. Кроме того, программа, учитывая интенсивность горения, позволяет определить эффективность имеющихся на пути огня противопожарных барьеров и при необходимости принять заблаговременные действия по увеличению их ширины. Также программа дает воз-

можность произвести безопасную и эффективную расстановку сил и средств на основании расчета плотности теплового потока от фронта пламени и определить методы и способы тушения пожара, исходя из сложившейся лесопожарной обстановки, имеющейся техники и пожарно-технического вооружения.

Программа «Уровень лесного пожара» позволяет определить достаточность сил и средств районного уровня для ликвидации лесного пожара, необходимость своевременного задействования пожарных расчетов вышестоящих КЧС, а также предварительный ущерб от пожара.

Реализация второго этапа направлена на повышение эффективности системы управления и реагирования на лесные пожары посредством

оптимального задействования имеющихся сил и средств пожаротушения.

Этап расследования пожара предназначен для оказания помощи работникам государственной лесной охраны в установлении причин возгораний и разработке мероприятий по совершенствованию действующего законодательства в области обеспечения пожарной безопасности в лесах. Основу данного этапа составляют результаты экспериментальных исследований процесса воспламенения ЛГМ различными источниками за-

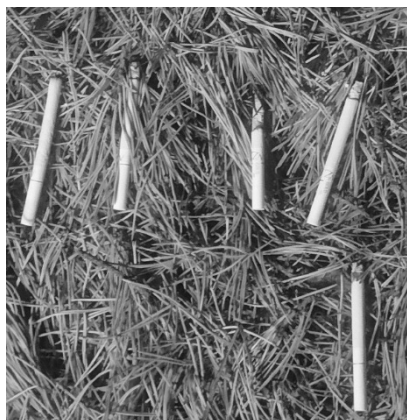
жигания. Известно, что в Республике Беларусь около 96% лесных пожаров возникает по вине человека [3]. В этой связи установленные и представленные в работах [20–22] закономерности воспламенения ЛГМ при воздействии сфокусированного солнечного излучения, теплового потока от факела пламени (костер или сельскохозяйственные палы), брошенных горящих спичек и тлеющих сигарет, искр различной природы позволяют устанавливать причины возгораний на качественно новом уровне (рис. 4).



а



б



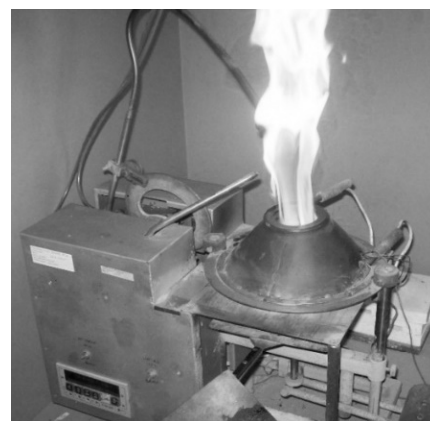
в



г



д



е

Рис. 4. Исследование воспламеняемости ЛГМ при воздействии сфокусированного солнечного излучения (а), брошенных горящих спичек (б), тлеющих сигарет (в), искр (г), теплового потока (д, е)

Реализация третьего этапа направлена на повышение эффективности установления причин возгораний в природных экосистемах посредством совершенствования методик расследования пожаров и направлений пожарно-профилактической работы, включая массово-разъяснительную работу с населением по вопросам соблюдения требований пожарной безопасности в лесах.

Таким образом, предложенная структура концепции рассматривает основные стадии охраны лесов от пожаров:

- пожарная профилактика;
- реагирование на возгорание;
- управление силами и средствами;
- ликвидация пожара;
- установление причины пожара.

В общем виде разработанная концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь представлена на рис. 5. Основными пользователями концепции на различных этапах ее применения являются ответственный дежурный (диспетчер), работники лесхозов, РТП и члены КЧС. Основные действия каждого звена по реализации концепции рассмотрим ниже.

Лесхозы с учетом установленного лесопожарного пояса обеспечивают заблаговременную реализацию комплекса пожарно-профилактических мероприятий по предупреждению возникновения и распространения лесных пожаров в условиях глобального потепления. Осуществляют подготовку к пожароопасному сезону и проводят массово-разъяснительную работу с населением. Устанавливают причины лесных пожаров, производят их разбор и анализ. Разрабатывают комплекс мероприятий по совершенствованию уровня пожарной безопасности природных экосистем на соответствующей территории.

Ответственный дежурный (диспетчер) при поступлении сообщения о лесном пожаре, исходя из имеющейся информации о площади и интенсивности горения, определяет оптимальное количество сил и средств на этапе первоначального реагирования. Передает информацию о пожаре в соответствии с утвержденным регламентом. В дальнейшем при увеличении площади пожара и усугублении лесопожарной обстановки диспетчер по требованию РТП может привлечь дополнительные силы и средства пожаротушения.

РТП определяет оптимальные методы и способы тушения пожара с учетом имеющихся сил и средств, площади, направления горения, нали-

чия на пути огня естественных и искусственных противопожарных барьеров, складов хранения взрывчатых материалов, уровня радиоактивного и химического загрязнения лесного фонда. Определяет параметры развития лесного пожара (направление, скорость, площадь, периметр, тепловую нагрузку, время достижения фронтом пламени границы населенного пункта или социально значимого объекта). Проводит оценку достаточности и надежности имеющихся на пути огня противопожарных барьеров. При необходимости организует расширение действующих или создание дополнительных препятствий для развития огня. В условиях недостаточности сил и средств обращается в КЧС районного уровня для привлечения подразделений МЧС, а также других организаций, имеющих специальную технику, приспособленную для тушения лесных пожаров.

КЧС районного уровня принимает решение о необходимости оказания помощи лесхозу по тушению пожара путем привлечения сил и средств районного отдела по ЧС и других организаций. При угрозе воздействия поражающих факторов пожара на населенные пункты принимает решение об эвакуации людей и организации их жизнеобеспечения. При недостаточности сил и средств района обращается за помощью в вышестоящую КЧС.

КЧС областного и республиканского уровня принимает решение об оказании помощи по тушению лесного пожара нижестоящей КЧС путем привлечения имеющихся в их распоряжении пожарных расчетов. Обеспечивает эффективное управление участниками тушения пожара.

Таким образом, разработанная концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь обеспечивает всестороннюю поддержку Минлесхозу в сфере охраны лесов от пожаров и позволяет существенно повысить эффективность как пожарно-профилактических мероприятий, так и тактических приемов борьбы с огнем.

Заключение. В результате проведенных исследований можно сделать следующие основные выводы.

1. Для повышения уровня пожарной безопасности природных экосистем и адаптации пожарно-профилактических мероприятий к условиям глобального потепления разработана концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь, базирующаяся на собственных результатах научных исследований в данной области.

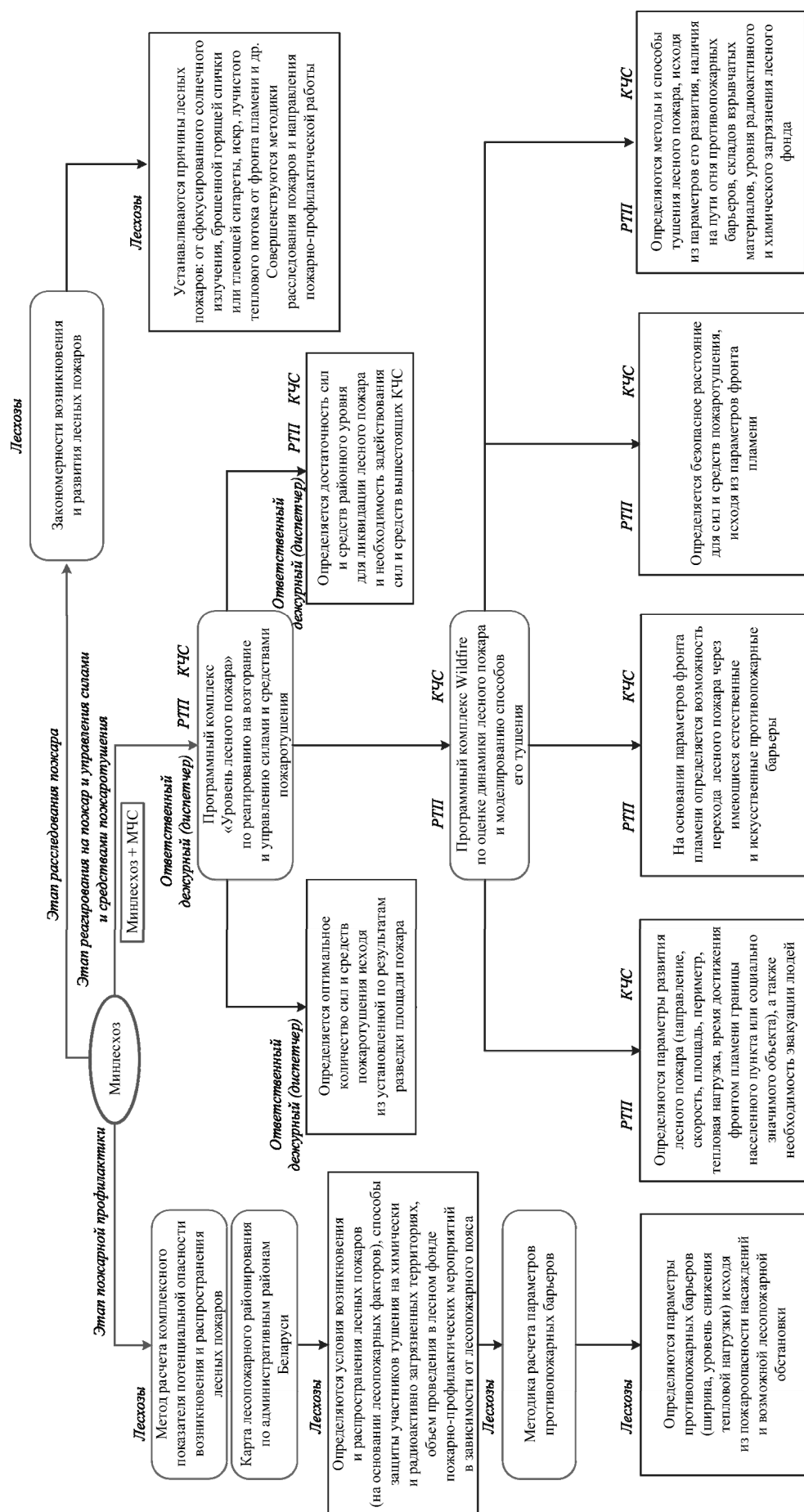


Рис. 5. Концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь

2. При разработке концепции предложена структура, включающая три этапа ее реализации: этап пожарной профилактики, этап реагирования на пожар и управления силами и средствами пожаротушения, а также этап расследования пожара. Данная структура позволяет решать широкий спектр задач по ограничению возникновения и распространения лесных пожаров, оперативному реагированию на возгорания, организации эффективного привлечения сил и средств, выбору оптимальных методов и способов тушения пожара, установлению причин возгораний и разработке мероприятий, направленных на совершенствование законодательства в сфере охраны лесов от пожаров.

3. В качестве основных средств, используемых пользователями концепции при ее реализации, выделены метод расчета комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров, карта лесопожарного районирования по администра-

тивным районам Беларуси, метод расчета ширины противопожарных барьеров, программный комплекс Wildfire по оценке динамики лесного пожара и моделированию способов его тушения, программный комплекс «Уровень лесного пожара» по реагированию на возгорание и управлению силами и средствами пожаротушения, закономерности возникновения и развития лесных пожаров. Преимуществом указанных средств является простота их применения и возможность получения оперативных прогнозных оценок по условиям возникновения и параметрам развития лесных пожаров в различных регионах республики.

4. Для эффективного применения концепции комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь в ее организационной структуре выделены основные пользователи, а также уточнены их действия на различных этапах реализации концепции.

Список литературы

1. Усеня В. В. Лесные пожары, последствия и борьба с ними. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2002. 206 с.
2. Усеня В. В. Лесоводственно-пирологические основы охраны лесов от пожаров Республики Беларусь: дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.03. Гомель, 2003. 284 л.
3. Усеня В. В., Каткова Е. Н., Ульдинович С. В. Лесная пирология. Гомель: Ин-т леса НАН Беларуси, 2011. 264 с.
4. Усеня В. В., Юревич Н. Н. Опыт Республики Беларусь в борьбе с лесными пожарами // Устойчивое лесопользование. 2017. № 2 (50). С. 14–21.
5. Арцыбашев Е. С. Лесные пожары и борьба с ними. М.: Лесная пром-сть, 1974. 152 с.
6. Кузнецов Г. В., Барановский Н. В. Прогноз возникновения лесных пожаров и их экологических последствий. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2009. 301 с.
7. Ходаков В. Е., Жарикова М. В. Лесные пожары: методы исследования. Херсон: Изд-во Гринь Д. С., 2011. 470 с.
8. Сегодня А. М., Булва А. Д. Справочное руководство по ликвидации лесных и торфяных пожаров. Гродно: Гродненское обл. упр. МЧС Респ. Беларусь, 2012. 160 с.
9. Ford R. Investigation of Wildfires. Bend: Maverick Publications, 1995. 176 p.
10. Simulating fire whirls / F. Battaglia [et al.] // Combust. Theory Model. 2000. No. 4. P. 123–138.
11. Chuah K. H., Kushida G. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls // Proc. Combust. Inst. 2007. No. 31. P. 2599–2606.
12. Effect of vegetation heterogeneity on radiative transfer in forest fires / F. Pimont [et al.] // Int. J. Wildland Fire. 2009. No. 18. P. 536–553.
13. Infrared radiative properties of vegetation involved in forest fires / B. Monod [et al.] // Fire Saf. J. 2009. No. 44. P. 88–95.
14. Morvan D. Wind effects, unsteady behaviors, and regimes of propagation of surface fires in open field // Combust. Sci. Technol. 2014. No. 186. P. 869–888.
15. Nelson R. M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires // Int. J. Wildland Fire. 2015. No. 24. P. 1001–1007.
16. Гоман П. Н. Совершенствование метода расчета регионального комплексного показателя потенциальной опасности возникновения и распространения лесных пожаров в Республике Беларусь // Проблемы лесоведения и лесоводства. 2023. № 83. С. 167–179.
17. Гоман П. Н., Гончаренко И. А., Ильюшонок А. В. Оценка уровня теплового воздействия при лесном пожаре и расчет ширины противопожарного барьера // Вестн. науки Казах. агротехн. науч.-исслед. ун-та им. С. Сейфуллина. 2024. № 1 (120). С. 4–16. DOI: 10.51452/kazatu.2024.1(120).1588.

18. Гоман П. Н., Соболевская Е. С. Повышение безопасности лесного фонда Республики Беларусь на основе компьютерного моделирования динамики лесных пожаров // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2016. № 2 (40). С. 75–86.

19. Гоман П. Н., Баев Н. Н. К вопросу определения пороговых значений классификационных признаков и уровней чрезвычайных ситуаций, связанных с лесными пожарами // Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация. 2021. № 1 (49). С. 81–92.

20. Гоман П. Н. Воспламеняемость лесного горючего материала при воздействии теплового потока // Труды СПБНИИЛХ. 2023. № 3. С. 112–123. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.112.

21. Исследование процесса воспламенения лесного горючего материала сфокусированным солнечным излучением / П. Н. Гоман [и др.] // Лесохозяйственная информация. 2024. № 2. С. 57–67. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.05.

22. Гоман П. Н., Алферчик Б. Н. Исследование условий воспламенения лесного горючего материала вследствие причин антропогенного характера // Труды СПБНИИЛХ. 2024. № 2. С. 108–117. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.2.108.

23. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Требования к мероприятиям по охране леса: СТБ 1582–2005. Минск: Белгипролес, 2005. 10 с.

24. Правила противопожарного обустройства лесов Республики Беларусь: ТКП 193–2009. Минск: Ин-т леса НАН Беларуси, 2009. 12 с.

References

1. Usenya V. V. *Lesnyye pozhary, posledstviya i bor'ba s nimi* [Forest fires, consequences and fight against them]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 2002. 206 p. (In Russian).

2. Usenya V. V. *Lesovodstvenno-pirologicheskiye osnovy okhrany lesov ot pozharov Respubliki Belarus'. Dissertatsiya doktora sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Forestry and pyrological bases of forest protection from fires of the Republic of Belarus. Dissertation DSc (Agriculture)]. Gomel, 2003. 284 p. (In Russian).

3. Usenya V. V., Katkova E. N., Ul'dinovich S. V. *Lesnaya pirologiya* [Forest pyrology]. Gomel, Institut lesa NAN Belarusi Publ., 2011. 264 p. (In Russian).

4. Usenya V. V., Yurevich N. N. Experience of the Republic of Belarus in fighting forest fires. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2017, no. 2 (50), pp. 14–21 (In Russian).

5. Artsybashev E. S. *Lesnyye pozhary i bor'ba s nimi* [Forest fires and fighting them]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1974. 152 p. (In Russian).

6. Kuznetsov G. V., Baranovskiy N. V. *Prognoz vozniknoveniya lesnykh pozharov i ikh ekologicheskikh posledstviy* [Forecasting the occurrence of forest fires and their environmental consequences]. Novosibirsk, Izdatel'stvo SO RAN Publ., 2009. 301 p. (In Russian).

7. Khodakov V. E., Zharikova M. V. *Lesnyye pozhary: metody issledovaniya* [Forest fires: research methods]. Kherson, Izdatel'stvo Grin' D. S., 2011. 470 p. (In Russian).

8. Segodnik A. M., Bulva A. D. *Spravochnoye rukovodstvo po likvidatsii lesnykh i torfyanykh pozharov* [Reference guide for the elimination of forest and peat fires]. Grodno, Grodnenskoye oblastnoye upravleniye MCHS Respubliki Belarus' Publ., 2012. 160 p. (In Russian).

9. Ford R. Investigation of Wildfires. Bend, Maverick Publ., 1995. 176 p.

10. Battaglia F., McGrattan K., Rehm R., Baum H. Simulating fire whirls. *Combust. Theory Model*, 2000, no. 4, pp. 123–138.

11. Chuah K. H., Kushida G. The prediction of flame heights and flame shapes of small fire whirls. *Proc. Combust. Inst.*, 2007, no. 31, pp. 2599–2606.

12. Pimont F., Dupuy L., Caraglio Y., Morvan D. Effect of vegetation heterogeneity on radiative transfer in forest fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2009, no. 18, pp. 536–553.

13. Monod B., Collin A., Parent G., Boulet P. Infrared radiative properties of vegetation involved in forest fires. *Fire Saf. J.*, 2009, no. 44, pp. 88–95.

14. Morvan D. Wind effects, unsteady behaviors, and regimes of propagation of surface fires in open field. *Combust. Sci. Technol.*, 2014, no. 186, pp. 869–888.

15. Nelson R. M. Re-analysis of wind and slope effects on flame characteristics of Mediterranean shrub fires. *Int. J. Wildland Fire*, 2015, no. 24, pp. 1001–1007.

16. Goman P. N. Improvement of the method of calculation of complex indicator of potential hazard origin and spread of forest fires in the Republic of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and silviculture], 2023, no. 83, pp. 167–179 (In Russian).

17. Goman P. N., Goncharenko I. A., Il'yushonok A. V. Assessment of heat exposure level in case of forest fire and calculation of fire barrier width. *Vestnik nauki Kazakhskogo agrotekhnicheskogo nauchno-issledovatel'skogo universiteta imeni S. Seyfullina* [Herald of Science of S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University], 2024, no. 1 (120), pp. 4–16. DOI: 10.51452/kazatu.2024.1(120).1588 (In Russian).

18. Goman P. N., Sobolevskaya E. S. Increase of safety level of woodlands of the Republic of Belarus based on forest fires dynamics computer modeling. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and response], 2016, no. 2 (40), pp. 75–86 (In Russian).

19. Goman P. N., Baev N. N. To the question of determining the threshold values of classification signs and levels of emergency situations related to forest fires. *Chrezvychaynyye situatsii: preduprezhdeniye i likvidatsiya* [Emergency situations: prevention and response], 2021, no. 1 (49), pp. 81–92 (In Russian).

20. Goman P. N. Flammability of forest combustible material when exposed to heat flow. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2023, no. 3, pp. 112–123. DOI: 10.21178/2079-6080.2023.3.112 (In Russian).

21. Goman P. N., Il'yushonok A. V., Kuleshov V. K., Alferchik B. N. Study of the process of ignition of forest combustible material by focused solar radiation. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2024, no. 2, pp. 57–67. DOI: 10.24419/LHI.2304-3083.2024.2.05 (In Russian).

22. Goman P. N., Alferchik B. N. Study of the conditions of ignition of forest combustible material for anthropogenic reasons. *Trudy SPbNIILKh* [Proceedings of the Saint Petersburg Forestry Research Institute], 2024, no. 2, pp. 108–117. DOI: 10.21178/2079-6080.2024.2.108 (In Russian).

23. STB 1582–2005. Sustainable forest management and forest use. Requirements for forest protection measures. Minsk, Belgiproles Publ., 2005. 10 p. (In Russian).

24. ТКР 193–2009. Rules for fire prevention of forests of the Republic of Belarus. Minsk, Institute of Forests of the National Academy of Sciences of Belarus Publ., 2009. 12 p. (In Russian).

Информация об авторах

Гоман Павел Николаевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры промышленной безопасности. Университет гражданской защиты Министерства по чрезвычайным ситуациям Республики Беларусь (ул. Машиностроителей, 25, 220118, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: g-pn83@mail.ru

Бойко Алексей Андреевич – консультант управления лесного хозяйства. Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь (ул. Мясникова, 39, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: aleksej.bojko92@yandex.ru

Information about the authors

Goman Pavel Nikolaevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Industrial Safety. University of Civil Protection of the Ministry for Emergency Situations of the Republic of Belarus (25 Mashinostroiteley str., 220118, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: g-pn83@mail.ru

Boyko Alexey Andreevich – Forestry Department Consultant. Ministry of Forestry of the Republic of Belarus (39 Myasnikova str., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: aleksej.bojko92@yandex.ru

Поступила 10.03.2025

УДК 630*1;630*2;504.062

**І. М. Вяршыцкая¹, С. А. Комар¹, М. В. Ермохін²,
Н. В. Кныш¹, В. В. Лукін¹, Т. Л. Барсукова¹, А. В. Пугачэўскі¹**

¹Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча

Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі

²ГА «Батанічнае таварыства»

ПЕРШАБЫТНЫЯ ЛЯСЫ БЕЛАРУСКАГА ПАЛЕССЯ

У артыкуле прыведзены вынікі даследавання і выдзялення першабытных лясоў на тэрыторыі Беларускага Палесся. Распрацавана класіфікацыя першабытных лясоў (некранутыя, непарушаныя, стараўзроставыя, высокаўзроставыя), у аснову якой пакладзены асаблівасці структуры ўсіх ярусаў фітацэнозу і ступень парушанасці. На падставе аналізу матэрыялаў лесаўпарадкавання, розначасовых тапаграфічных карт, аэра- і спадарожніковых здымкаў, а таксама маршрутных палявых даследаванняў складзена карта першабытных лясоў (47,0 тыс. га) і малапарушаных лесабалотных масіваў (38,1 тыс. га). Пераважная большасць першабытных лясоў (89,4%) захавалася на асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторыях і ўяўляе сабой нізкабанітэтных цяжкадаступных балотных і забалочаных хвойнікі ці пушыстабярэзнікі. Суходольныя лясы складаюць толькі 1,9% ад агульнай плошчы першабытных лясоў на асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторыях і 0,5% па-за іх межамі, бо іх фарміраванне магчыма толькі ва ўмовах адсутнасці ўплыву чалавечай дзейнасці на працягу жыцця некалькіх пакаленняў карэнных парод дрэў, што складае не менш за 300 гадоў. Гэта сведчыць пра неабходнасць удасканалвання прыродаахоўнага заканадаўства для іх захавання і аднаўлення, а таксама ўстанаўлення больш строгіх рэжымаў аховы для буйных лясных тэрыторый на працяглы час.

Ключавыя словы: першабытныя лясы, Беларускае Палессе, класіфікацыя, размеркаванне, захаванасць.

Для цытавання: Вяршыцкая І. М., Комар С. А., Ермохін М. В., Кныш Н. В., Лукін В. В., Барсукова Т. Л., Пугачэўскі А. В. Першабытныя лясы Беларускага Палесся // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 39–52. DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-5.

**I. N. Vershitskaya¹, S. A. Komar¹, M. V. Yermokhin²,
N. V. Knysh¹, V. V. Lukin¹, T. L. Barsukova¹, A. V. Puhachevskiy¹**

¹V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany

of the National Academy of Sciences of Belarus

²PO “Botanical Society”

PRIMARY FORESTS OF THE BELARUSIAN POLESIE

The article discusses the results of research and identification of primary forests in the Belarusian Polesie region. The classification for primary forests has been developed, categorizing them as virgin, near-virgin forest, old-growth, and long-untouched forests. The classification is based on the structural characteristics of all phytocenotic layers and the degree of human disturbance. The map of primary forests (covering 47,000 hectares) and untouched forest-bog areas (38,100 hectares) was created using forest inventory data, historical and modern topographical maps, aerial and satellite imagery, and field research. The vast majority of primary forests (89.4%) are located within specially protected natural areas, primarily consisting of low-priority, hard-to-reach bog pine and downy birch forests. Forests on mineral soils account for only 1.9% of the total primary forest area within protected natural zones and just 0.5% outside them, because their formation is possible only in the absence of the influence of human activity over the life of several generations of indigenous tree species, which is at least 300 years old. These findings highlight the urgent need to strengthen environmental legislation to ensure the preservation and restoration of these valuable ecosystems, as well as the establishment of stricter protection regimes for large forest areas for a long time.

Keywords: primary forest, Belarusian Polesie, classification, distribution, preservation.

For citation: Vershitskaya I. M., Komar S. A., Yermokhin M. V., Knysh N. V., Lukin V. V., Barsukova T. L., Puhachevskiy A. V. Primary forests in the Belarusian Polesie. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 39–52 (In Belarusian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-5.

Уводзіны. Нядаўнія даследаванні [1, 2] паказалі, што, нягледзячы на інтэнсіўную шматгаспадарчую эксплуатацыю лясоў, у Еўропе дагэтуль захаваліся ўчасткі першабытных (primary) лясоў. У той жа час уніфікаваная інфармацыя пра тое, якія лясныя да іх адносяцца, па многіх краінах адсутнічае. Асабліва гэта актуальна для краін Усходняй Еўропы, дзе захавалася дастаткова вялікая лясістасць і патэнцыяна могуць знаходзіцца вялікія плошчы першабытных лясоў, і Беларусь тут не выключэнне. Яна ўваходзіць у дзясятку самых лясістых краін Еўропы: лясныя займаюць больш за 40% тэрыторыі. Дзякуючы сістэме асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторый (ААПТ), якія займаюць каля 9% тэрыторыі краіны, у Беларусі ёсць усе перадумовы для захавання лясоў, якія можна лічыць «першабытнымі». Пра тое што на мінеральных выспах сярод цяжкапраходных балот ці ў поймах рэк захаваліся лясныя з першабытным абліччам, адзначалася і ў працах беларускіх геабатанікаў другой паловы XX ст. [3].

У цяперашні час існуе вялікая колькасць тэрмінаў, якія блізкія да тэрміна «першабытны лес». У беларускай мове – некрануты лес, натуральны лес; у рускай – первобытный лес, девственный лес, малонарушенный лес; у англійскай – old-growth forest, termed primary forest, virgin forest, primeval forest, late seral forest; у нямецкай – urwald; у чэшскай – prales, původní les; у славацкай – prales; у ўкраінскай – праліс, первинний ліс; у польскай – las pierwotny, puszcza; у вугорскай – őserdő; у сербскай і харвацкай – prašuma; у славенскай – pragost; у іспанскай – bosque primario (primigenio o virgin); у французскай – forêt primaire, forêt vierge [4]. У англамоўнай літаратуры для вызначэння паняцця «першабытны лес» звычайна ўжываюць словазлучэнне primeval forest. Па вызначэнні Бухвальда [5], першабытныя лясныя – гэта лясныя экасістэмы, якія валодаюць найбольшай ступенню натуральнасці. Яны ніколі нават ускосна не змяняліся сучасным чалавекам або цывілізацыяй, а ступень уздзеяння на экасістэму карэнных народаў не была значна вышэйшай, чым уздзеянне прыродных пажараў і буйных дзікіх жывёл (напрыклад баброў ці буйных траваедных).

Таксама пад першабытнымі лясамі разумеюць біятопы з максімумам характарыстык біяразнастайнасці для лясоў адпаведнага геаграфічнага рэгіёна і тыпу лесу [6–12], якія з’яўляюцца сховішчамі для шматлікіх знікаючых і рэдкіх відаў, а таксама адчувальных да антрапагеннага ўздзеяння [13]. Фінскія даследчыкі лясоў [14] лічаць, што першабытныя лясныя – гэта, як правіла, некранутыя чалавекам і абароненыя ад усіх форм лясагаспадарчай дзейнасці старажытныя лясныя. Эстонскія аўтары [13] разумеюць тэрмін «першабытны лес» як эканергетычна адносна ўстой-

лівую натуральную старую лясную мясцовасць, развіццё дрэвастояў, параметраў біятопаў, структуры супольніцтваў і відавoga складу якой адбывалася на тэрыторыі, значна не закранутай дзейнасцю чалавека, прынамсі, на працягу апошніх аднаго-двух пакаленняў лесу. Для такіх лясоў характэрны дрэвастой, якія ўтрымліваюць вялікую колькасць старых дрэў і розную па ўзросце і хуткасці распаду мёртвую драўніну, а таксама наяўнасць шматлікіх гемерафобных відаў. Пад іх устойлівасцю разумеецца дынамічная раўнавага, якая дазваляе сістэме захоўвацца больш ці менш устойліва, нягледзячы на малаважныя змены экалагічных умоў, відавoga складу і структуры супольніцтваў.

У польскай навуковай літаратуры [15] сустракаюцца выпадкі, калі паняцце «першабытны лес» ужываюць як пераклад славянскага слова puszcza (пушча), якое азначае вялікую незаселеную тэрыторыю, дзе ва ўмеранай зоне Еўропы раней былі лясныя. Аднак гэтае паняцце можна ўжываць толькі ў гістарычным аспекце, паколькі і ў Польшчы, і ў заходняй частцы Беларусі захаваліся дзясяткі лясных масіваў, у назвах якіх сустракаецца слова «пушча», але інтэнсіўная гаспадарчая дзейнасць там вядзецца на працягу стагоддзяў.

Украінскія аўтары тэрмін «першабытныя лясныя» падзяляюць на «пралес» (адпавядае тэрміну «некрануты лес» [5]) і «стараўзроставы лес» [16, 17]. Такія лясныя былі вылучаны і даследаваліся ва Украінскіх Карпатах у межах некалькіх праектаў. У 2017 г. ва Украіне быў прыняты закон, які накіраваны на ахову і захаванне «першабытных лясоў» і жорсткае абмежаванне на іх тэрыторыі гаспадарчай дзейнасці. Пралясы – гэта лясныя экасістэмы, якія ўзніклі і развіваюцца натуральным шляхам пад уплывам толькі натуральных стыхій і з’яў, а таксама прайшлі поўны цыкл развіцця без істотнага ўмяшання чалавека. Відавoga, узроставая і прасторавая структуры такіх лясоў вызначаюцца толькі фактарамі прыроднага асяроддзя. Стараўзроставыя лясныя – гэта лясныя экасістэмы, якія доўгі час развіваліся натуральным шляхам і ў якіх біятоп, і асабліва біяцэноз, не адчуў істотнага антрапагеннага ўплыву [16].

Расійскія вучоныя, якія займаліся даследаваннем лясоў Рэспублікі Комі [18], выдзяляюць тэрмін «некрануты лес». Гэты лес адпавядае некалькім крытэрам: выключэнне ўздзеяння чалавека на лясныя масівы; дапушчальнасць уздзеяння на асобныя насаджэнні або фрагменты ляснога масіву катастрофічных прыродных з’яў (пажараў, бураломы і г. д.); наяўнасць у структуры ляснога масіву асобных насаджэнняў, якія можна аднесці да некранутых. Гэта насаджэнні, што развіваюцца без уплыву чалавека і змяшчаюць у структуры дрэвастояў не менш за адно пакаленне пароды-эдыфікатара, сфарміраванае без

уздзеяння катастрофічных прыродных з’яў на працягу перыяду, блізкага да ўзросту натуральнай спеласці дадзенай пароды ў пэўных глебавых і кліматычных умовах [18, 19].

Вельмі важным аспектам для вызначэння нефрагментаванага асобнага першабытнага лесу з’яўляецца яго мінімальны памер. Так, у некаторых даследаваннях [20] прыведзены звесткі, што мінімальная плошча для шматвідавых мяшаных лясоў з дубам і іншымі шырокалісцевымі пародамі можа быць адносна невялікай і складаць усяго 10 га. Для букава-дубовых, букавых і букава-піхтавых лясоў мінімальная плошча ўзрастае да 50 га, а для мяшаных горных і альпійскіх лясоў – да 70–100 га.

Адной з найбольш грунтоўных класіфікацый лясоў па ступені іх парушанасці з’яўляецца класіфікацыя, прапанаваная Бухвальдам [5]. Аўтар падзяліў усе натуральныя лясы на дзесяць катэгорый: ад найменш парушаных primeval forest (n10) да падобных на плантацыі plantation-line natural forest (n1). Лясы катэгорый n5–n10 аднесены да primary forest – адносна некранутых лясоў, якія заўсёды ці, у крайнім выпадку, на працягу апошніх 60–80 гадоў былі практычна нязменнымі ў выніку дзейнасці чалавека. Уплыў чалавека на такія лясныя масівы звычайна абмяжоўваўся нізкім узроўнем палявання і нарыхтоўкі лясных прадуктаў, а ў некаторых выпадках гістарычнай ці дагістарычнай сельскай гаспадаркай нізкай інтэнсіўнасці.

Такім чынам, у літаратуры сустракаецца мноства паняццяў «першабытнага», «некранутага» і «стараўзроставага» лесу. З-за таго, што яны маюць падобныя значэнні, а аўтары ў сваіх працах выкарыстоўваюць сінанімічныя тэрміны, часта адбываецца блытаніна ў перакладзе таго ці іншага паняцця. Адсутнасць адзіных агульнапрынятых тэрмінаў значна ўскладняе выбар правільнага варыянта.

У нашай працы пад паняццем «першабытны лес» мы разумеем лес натуральнага паходжання, сфарміраваны абарыгеннымі відамі, са складанай узроставай і прасторавай структурай, здольны да самападтрымання і самарэгуляцыі, у якім адсутнічаюць або слаба выяўлены сляды гаспадарчай дзейнасці, што фактычна адпавядае катэгорыям n5–n10 (primary forest) у класіфікацыі Бухвальда [5].

Да перспектыўнага рэгіёна, дзе маглі захавацца першабытныя лясы, трэба аднесці Беларускае Палессе, тэрыторыя якога больш чым на 43% занята лясамі. Цяжкая даступнасць мясцовасці з-за разліваў шматлікіх рэк і вялікай канцэнтрацыі балот спрыялі таму, што тут захаваліся вялізныя ўнікальныя малапарушаныя лесабалотныя комплексы (Альманскія балоты, Стары Жадзен і інш.) і забалочаныя лясы на шырокіх паплавах

рэк (у першаю чаргу Прыпяці). Таму асноўнай мэтай нашай працы была распрацоўка крытэраў для вызначэння першабытных лясоў у Беларусі ўвогуле і на тэрыторыі Беларускага Палесся непасрэдна.

Асноўная частка. Аб’екты і метады даследаванняў. На падставе класіфікацыі лясоў па ступені іх парушанасці, прыведзенай у працах Бухвальда [5], Сабаціні і інш. [1] з ужываннем прынцыпаў і падыходаў украінскіх даследчыкаў па вызначэнні пралёсаў ва Украінскіх Карпатах [16, 17] былі распрацаваны класіфікацыя і крытэры вызначэння першабытных лясоў на тэрыторыі Беларусі. Крытэры карэкціраваліся па выніках палявых даследаванняў, праведзеных у лясах цэнтральнай часткі Беларускага Палесся (рис. 1).

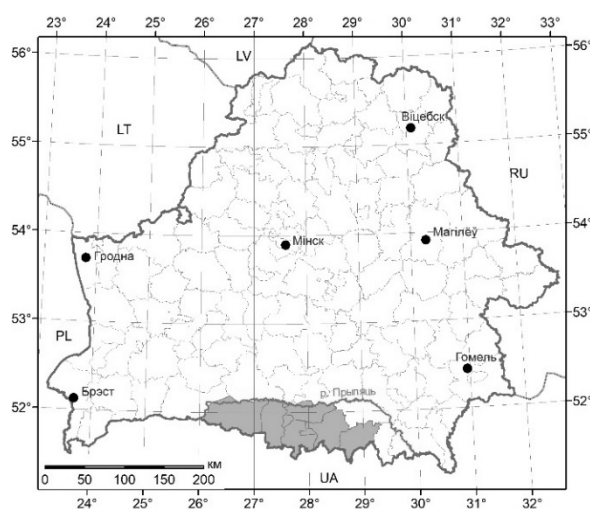


Рис. 1. Рэгіён палявых даследаванняў

У камеральных умовах былі выдзелены ўчасткі з патэнцыйнымі першабытнымі лясамі на падставе некалькіх крыніц:

- матэрыялаў розных тураў лесаўпарадкавання (1992–2018 гг.);
- тапаграфічных карт 1980-х гадоў маштабам 1:100 000;
- тапаграфічных карт, складзеных генеральным штабам Чырвонай Арміі, маштабам 1:50 000 і 1:100 000, выдадзеных у 1927–1940 гг.;
- сучасных аэрафотаздымкаў з геаінфармацыйнага рэсурсу звестак дыстанцыйнага зандзіравання Зямлі, які фарміруецца дзяржаўным прадпрыемствам «БелПІСХАГІ» (<https://www.dzz.by>);
- архіўных нямецкіх аэрафотаздымкаў 1942–1943 гг.

Па-першае, з матэрыялаў лесаўпарадкавання былі адабраны насаджэнні па некалькіх крытэрах:

- 1) паходжанне. Адбіраліся насаджэнні натуральнага паходжання з абарыгенных парод дрэў і без дамешку лясных культур;
- 2) узрост. Паколькі ў матэрыялах лесаўпарадкавання рэдка адлюстравана падрабязная

ўзроставаая структура дрэвастояў (не ўлічваюцца адзінкавыя дрэвы, не выдзяляюцца ярусы, паніжаны ўзрост старых дрэў), то сярод іх адбіраліся дрэвастоі з сярэднім узростам у адпаведнасці з табл. 1. Дрэвастоі іншых парод не адбіраліся па ўзросце, але ў выпадку, калі яны сустракаліся ў лясным масіве, іх наяўнасць разглядалася ў кожным канкрэтным выпадку асобна. Далейшыя палявыя даследаванні паказалі, што такія падыходы добра працуюць для сухадольных лясцоў, але ў балотных лясках узрост, паказаны ў матэрыялах лесаўпарадкавання, часта аказваўся заніжаны на 20 і больш гадоў. Гэта запатрабавала значнай карэкціроўкі звестак пасля палявых работ;

3) балоты. Выбіраліся ўсе ўчасткі з адкрытымі балотамі, якія затым былі або аб'яднаны, або не ў адзін лесабалотны масіў з лясамі на стадыі прасторавага аналізу і пасля палявых даследаванняў.

Па-другое, на падставе карт і здымкаў былі пабудаваны буферныя зоны ўздоўж ліній камунікацый (100 м), на межах лес – сельскагаспадарчых земляў (100 м), лес – населеныя пункты (100 м), вакол вадасховішч (500 м), асушальных сетак на сельскагаспадарчых землях і месцаў торфаздабычы (500 м), дзе першабытныя лясны не вылучаліся. Да першабытных лясцоў таксама не адносіліся ўчасткі з рэгулярнай асушальнай сеткай у лясках і побач з ёй, а таксама ўчасткі з шырынёй менш за 200 м, за выключэннем пойменных лясцоў. Не ўлічваліся ўчасткі, якія на гістарычных картах і аэрафотаздымках першай паловы XX ст. былі пазначаны як нелясныя землі (за выключэннем балотных лясцоў). Прасторавы аналіз выкананы ў праграмных пакетах QGIS і ArcMap.

Адметнай асаблівасцю Палесся з'яўляецца вялікая колькасць лесабалотных масіваў, якія ўяўляюць сабой суцэльныя непарушаныя экасістэмы, складзеныя з мазаікі балот, балотных лясцоў і сухадольных лясных выспаў. Таму ў выпадку з Палессям рэгіёнам для ідэнтыфікацыі першабытных лясцоў крытэр плошчы разглядаўся для кожнага спрэчнага выпадку асобна.

Яшчэ адной адметнай рысай рэгіёна, асабліва на тэрыторыі Палескага лягаса, з'яўляецца

вялікая колькасць пажараў, якія на некаторых участках пашкоджваюць лясны і балотны амаль кожны год [21]. Узнікненне большасці з іх звязана з дзейнасцю чалавека, а распаўсюджанне – з тыпам лесу, структурай дрэвастояў і ўмовамі надвор'я. На шматлікіх участках пасля пажараў у большай ці меншай ступені захоўваюцца старыя дрэвы, а з часам фарміруюцца рознаўзроставаыя дрэвастоі. У такім выпадку пажары з'яўляюцца часткай натуральных працэсаў. Таму ў рамках дадзенай працы частка лясцоў (у першую чаргу балотных) са старымі дрэвамі, неаднаразова пройдзеных пажарамі, але без слядоў гаспадарчай дзейнасці, разглядалася як першабытныя.

Палявыя даследаванні праводзіліся маршрутным метадам такім чынам, каб ахапіць усе магчымыя тыпы лесу і ўзроставаыя стадыі. На найбольш рэпрэзентатыўных участках былі зроблены геабатанічныя апісанні з дадатковым дэталёвым разглядам структуры фітацэнозаў. У якасці асновы выкарыстоўвалася адаптаваная метадыка выдзялення рэдкіх біятопаў, якая прыведзена ў артыкуле [22].

Агульная працягласць маршрутаў абследаванняў складала больш за 700 км у лясных і балотных экасістэмах. Адпаведна падзяленне першабытных лясцоў на катэгорыі падчас нашай працы не рабілася, паколькі для гэтага патрабуюцца больш дэталёвыя даследаванні, у тым ліку глебы, што з'яўляецца мэтай далейшых праектаў.

Дрэвастоі былі падзелены на ярусы з указаннем сярэдняга ўзросту кожнага з іх, узросту адзінкавых старых дрэў (для ўдакладнення ўзросту пры неабходнасці выкарыстоўваўся ўзроставы свідар), а таксама пазначаўся тып рознаўзроставаці: абсалютна рознаўзроставаы, ступеньчата-рознаўзроставаы ці аднаўзроставаы дрэвастой. Асобна апісвалася структура падросту і падлеску (склад, вышыня, колькасць). Удакладнялася тыпалагічная структура адабраных лясцоў у адпаведнасці з беларускай лясной тыпалогіяй [23]. Пазначалася наяўнасць антрапагеннага ўздзеяння і прыродных разбуральных працэсаў (доля ад плошчы выдзелу).

Табліца 1

Крытэры адбору ўчасткаў з матэрыялаў лесаўпарадкавання па ўзросце дрэвастояў

Лясная фармацыя	Серыя тыпаў лесу	Узрост, гадоў
Хвойнікі	Багуновыя, асакова-сфагнавыя, асаковыя, сфагнавыя, прыручаёва-травяныя	≥80
	Астатнія	≥100
Ельнікі	Усе	≥100
Дубравы, ясеннікі, ільмоўнікі, кляноўнікі, ліпнякі	Усе	≥120
Бярэзнікі, грабнякі, асіннікі, чорнаалешнікі	Усе	≥70
Балоты з зарастаннем дрэвавай расліннасцю	Усе	–

Падрабязна апісваліся элементы біялагічнай і біятапічнай разнастайнасці: дрэвы адметных памераў і ўзросту, мёртвая драўніна з разбіўкай па стадыях раскладання, сляды пажараў, вокны ў полазе дрэвастояў, выварацельна-глебавыя комплексы і інш. Указваліся элементы ландшафту і асноўныя пагрозы. Жывое наглебавае покрыва апісвалася з указаннем віду раслін і іх багацця па шкале Браўн-Бланке [24].

Пры правядзенні даследаванняў часта ўзнікаюць пытанні з такім тыпам балотных лясоў, як хвойнікі сфагнавыя. Яны з'яўляюцца асобным тыпам нізкапаўнотных і нізкабанітэтных лясоў, якія пры лесаўпарадкавальных мерапрыемствах часта адносяцца да адкрытых балот. Таму межы паміж адкрытымі балотамі і хвойнікамі сфагнавымі намі вызначаліся па аэрафотаздымках з геаінфармацыйнага рэсурсу БелПСХАГ і ўдакладняліся пры палявых даследаваннях.

Вынікі і абмеркаванне. Класіфікацыя першабытных лясоў. Першабытныя лясы падзелены на 4 катэгорыі на падставе структуры фітацэнозу і ступені яго парушанасці ў выніку розных відаў антрапагеннай дзейнасці (табл. 2).

1. Некранутыя лясы. Гэта лясныя экасістэмы, якія практычна не змяняліся чалавекам, а ступень ранейшага антрапагеннага ўздзеяння на лес, уключаючы глебу і гідралогію, была не больш значнай, чым уздзеянне лясных пажараў ці жывёл (напрыклад, баброў ці буйных капытных), і сляды гэтых уздзеянняў ужо незаўважныя. Папуляцыі дзікіх відаў жывёл адрозніваюцца натуральнай шчыльнасцю і відавым складам, уключаючы буйных траваедных і драпежнікаў. Для вылучэння лясоў гэтай катэгорыі неабходны дэталёвыя палявыя даследаванні ўсіх кампанентаў экасістэмы. Адпавядаюць катэгорыі n9 – Virgin forest у класіфікацыі Бухвальда [5].

2. Непарушаныя лясы. Лясныя экасістэмы, якія не былі закранутыя гаспадарчай дзейнасцю на працягу дастаткова доўгага часу, каб у іх сфарміраваліся структура і відавы склад, падобныя да некранутых лясоў, нават калі яны былі трансфармаваны ў мінулым высечкамі або сельскай гаспадаркай. Яны адрозніваюцца шырокім дыяпазонам стадыяў сукцэсій – ад пачатковых да заключных, а ўплыў чалавека на лес нябачны. Час, неабходны для фарміравання такіх лясоў, залежыць ад таго, наколькі моцна яны былі трансфармаваны ў мінулым. Звычайна для гэтага патрабавецца некалькі сотняў гадоў, калі лес узнік на сельскагаспадарчых землях. Адпавядаюць катэгорыі n7 – Near-virgin forest [5].

3. Стараўзроставыя (малапарушаныя) лясы. Лясныя экасістэмы на позніх стадыях развіцця дрэвастояў, для якіх (як і для першых дзвюх катэгорый) характэрны буйныя дрэвы, буйная мёртвая драўніна розных стадыяў раскладання,

яруснасць дрэвастоя, але прысутнічаюць сляды былой гаспадарчай дзейнасці (старыя буйныя пні, лясныя дарогі). Узрост, у якім узнікае стараўзроставы лес, і пэўныя прыкметы, па якіх яго можна вылучыць, вельмі моцна залежаць ад тыпу лесу, клімату, умоў росту і пашкоджанняў. Адпавядаюць катэгорыі n6 – Old-growth forest [5].

4. Высокаўзроставыя лясы. Адносна некранутыя лясныя экасістэмы, якія практычна не падпадалі пад змены ў выніку дзейнасці чалавека на працягу некалькіх апошніх дзесяцігоддзяў. Дрэвастоі адрозніваюцца высокім узростам для дадзенай дрэвавай пароды, але ў выніку мінулага гаспадарчай дзейнасці ў лесе адсутнічаюць буйныя мёртвая драўніна позніх стадыяў раскладання, буйныя стары сухастой, у нязначнай колькасці могуць сустракацца старыя пні, лясныя дарогі. Адпавядаюць катэгорыі n5 – Long-untouched forest [5].

Важнымі крытэрамі вылучэння першабытных лясоў з'яўляюцца натуральнае паходжанне фітацэнозаў, прысутнасць у складзе дрэвастояў біялагічна старых дрэў і адсутнасць або вельмі нізкая колькасць няродных відаў раслін, рознаўзроставасць дрэвастояў, наяўнасць буйной мёртвай драўніны розных стадыяў раскладання.

Адметнай асаблівасцю першабытных лясоў з'яўляецца адсутнасць слядоў гаспадарчай дзейнасці і інфраструктуры, лясных дарог, прамысловай нарыхтоўкі недраўняных лясных рэсурсаў і прыкмет уздзеяння на экасістэму асудальных сетак і рэкрэацыйнай нагрузкі. Выключэннем можа быць наяўнасць нязначнай колькасці старых пнёў дрэў або іх рэштак, спілаваных больш за 20–60 гадоў таму, а таксама старых каналаў, якія страцілі сваю функцыю. Такім чынам, першабытныя лясы звычайна размяшчаюцца ў цяжкадаступных месцах, у аддаленасці ад населеных пунктаў, сельскагаспадарчых земляў, асудальных сетак і трас камунікацый.

Першабытныя лясы катэгорыі 4 «Высокаўзроставыя лясы» фактычна адпавядаюць катэгорыям рэдкіх і тыповых біятапаў лясоў (за выключэннем катэгорыі «Лясныя пашы»), якія выдзяляюцца на тэрыторыі Беларусі [25] і падлягаюць спецыяльнай ахове ў адпаведнасці з прыродаахоўным заканадаўствам Беларусі [26]. Аднак пры выдзяленні рэдкіх і тыповых біятапаў у адпаведнасці з гэтым дакументам амаль не ўлічваюцца крытэры памеру ўчасткаў і іх размяшчэння, таму да першабытных лясоў могуць быць аднесены не ўсе рэдкія і тыповыя біятапы лясоў, а толькі тыя, якія не мяжуюць з населенымі пунктамі, трасамі камунікацый, сельскагаспадарчымі землямі, асудальнымі сеткамі і іншымі антрапагеннымі аб'ектамі (за выключэннем лясных прасек і лясных дарог); іх плошча больш за 10 га; адлегласць паміж дзвюма супрацьлеглымі межамі ўчастка пры вымярэнні праз яго цэнтр складае не менш за 200 м.

Табліца 2

Класіфікацыя і крытэры выдзялення першабытных лясоў

Крытэры выдзялення	Некранутыя лясы	Непарушаныя лясы	Стараўзроставыя лясы	Высокаўзроставыя лясы
Паходжанне і структура фітацэнозу				
Паходжанне	Лясы натуральнага паходжання без дамешку лясных культур			
Склад	Адсутнасць у складзе дрэвастояў няродных відаў			
Узрост	Наяўнасць біялагічна старых дрэў (старэйшых за 80 гадоў – для дробналісцевых, старэйшых за 100 гадоў – для хвойных і шырокалісцевых)			
Структура дрэвастоя	Абсалютна рознаўзроставыя дрэвастой, выразная цыклічная змена пакаленняў, прысутнасць дрэў сенільнага і субсенільнага ўзросту	Рознаўзроставыя дрэвастой, але асобныя пакаленні могуць адсутнічаць	Рознаўзроставыя і старыя аднаўзроставыя дрэвастой	
Сухастой	Наяўнасць сухастойных дрэў і высокіх пнёў (вышэйшых за 5 м) з дыяметрам большым за сярэдні дыяметр дрэвастоя на ўсім участку	Наяўнасць сухастойных дрэў і высокіх пнёў (вышэйшых за 5 м) з дыяметрам большым за сярэдні дыяметр дрэвастоя не на ўсім участку		
Ламачча	Наяўнасць буйной мёртвай драўніны ўсіх стадый раскладання на ўсім участку	Наяўнасць буйной мёртвай драўніны I–IV стадый раскладання на ўсім участку	Наяўнасць буйной мёртвай драўніны I–III стадый раскладання не на ўсім участку	
Ніжнія ярусы	Структура жывога наглебавага покрыва, падлеску, падросту характэрна для адпаведнага тыпу лесу; няродныя віды адсутнічаюць або сустракаюцца адзінкава (ці на абмежаванай плошчы); няма трансфармацыі жывога наглебавага покрыва, падлеску, падросту ў выніку антрапагеннага ўздзеяння			
Гаспадарчая дзейнасць				
Высечка лесу	Адсутнасць слядоў высечкі лесу		Магчыма сустракаюцца рэшткі пнёў дрэў асноўнага яруса, спілаваных больш за 60 гадоў таму ў колькасці да 5%	Магчыма сустракаюцца пнёў дрэў асноўнага яруса, спілаваных больш за 20 гадоў таму ў колькасці да 5%
Інфраструктура	Адсутнасць слядоў гаспадарчай інфраструктуры за выключэннем прасек	Адсутнасць слядоў гаспадарчай інфраструктуры за выключэннем прасек і адзінкавых сцежак	Магчыма наяўнасць слядоў старой гаспадарчай інфраструктуры, лясных дарог і сцежак	
Недраўняныя лясныя рэсурсы	Адсутнасць слядоў прамысловай нарыхтоўкі недраўняных лясных рэсурсаў			
Гідратэхнічная меліярацыя	Адсутнасць прыкмет уздзеяння на экасістэму гідратэхнічнай меліярацыі		Магчыма прысутнасць адзінкавых старых каналаў, якія страцілі сваю функцыю, і адсутнасць прыкмет іх значнага ўздзеяння на экасістэму	
Рэкрэацыя	Адсутнасць рэкрэацыйнай інфраструктуры і слядоў рэкрэацыйнай нагрузкі	Магчыма прысутнасць адзінкавых сцежак, якія выкарыстоўваюцца для турызму і рэкрэацыі з мінімальнай рэкрэацыйнай нагрузкай		
Памер і размяшчэнне				
Размяшчэнне	Не мяжуюць з населенымі пунктамі, трасамі камунікацый, сельскагаспадарчымі землямі, асушальнымі сеткамі і іншымі антрапагеннымі аб’ектамі (за выключэннем лясных прасек і лясных дарог)			
Памер*	≥20 га		≥10 га	
Форма** ўчастка	Адлегласць паміж дзвюма супрацьлеглымі межамі ўчастка пры вымярэнні праз яго цэнтр не менш за 200 м			

*Для пойменных лясоў у адзін участак могуць аб'ядноўвацца лясы і іншыя натуральныя экасістэмы (вадаёмы, вадаёкі, балоты і старыя рэчышчы), якія ўтвараюць прыродныя межы, калі яны забяспечваюць цэласнасць участка і складаюць не больш за 20% ад яго агульнай плошчы. Мінімальнае плошча ўчастка на выспах сярод азёр, рэк і непарушаных балот павінна быць не менш за 5 га.

**Крытэр не распаўсюджваецца на ўчасткі пойменных лясоў, лясоў на выспах сярод азёр, рэк і балот.

Распаўсюджанне першабытных лясоў у Беларускім Палессі. Агульная плошча вылучаных першабытных лясоў на тэрыторыі Беларускага Палесся складае 47,0 тыс. га, а яшчэ 38,1 тыс. га

займаюць рэдкалесі і адкрытыя балоты, якія таксама з'яўляюцца малапарушанымі экасістэмамі з мінімальным уплывам чалавека (табл. 3, рыс. 2). Плошча першабытных лясоў склала

ўсяго 45% ад плошчы патэнцыйных першабытных лясоў, адабраных на камеральным этапе. Па выніках палявых даследаванняў не было выяўлена першабытных лясоў на тэрыторыі Ельскага лясгаса і ЭЛПГ «Ляскавічы». Практычна ўсе лясы, якія былі выдзелены як патэнцыйна першабытныя на гэтых тэрыторыях, у тым ліку на балотах, маюць сляды высечак рознай даўніны, якія прывялі да змены натуральнай дынамікі лясоў.

Найбольшая плошча першабытных лясоў ідэнтыфікавана ў нацыянальным парку «Прыпяцкі» (16,9 тыс. га), Палескім (12,6 тыс. га) і Мілошавіцкім (7,9 тыс. га) лясгасах. Менавіта ў гэтых месцах захаваліся вялікія масівы балотных лясоў, цяжкадаступных для гаспадарчай дзейнасці. Адметнай асаблівасцю малапарушаных лесабалотных комплексаў нацыянальнага парку «Прыпяцкі» з'яўляецца тое, што сярод іх пераважаюць лясныя экасістэмы, а не адкрытыя

балоты. Большасць з іх размешчана ў запаведнай зоне нацыянальнага парку. Адсутнасць гаспадарчай дзейнасці і нізкая рэкрэацыйная нагрузка забяспечылі слабую закранутасць пажарамі ў апошнія дзесяцігоддзі. Падобнае аблічча маюць і суседнія першабытныя лясы ва ўсходняй частцы заказніка «Стары Жадзен» (табл. 3, рыс. 2). У сваю чаргу, на тэрыторыі заказнікаў «Альманскія балоты», «Букчанскі» і ў заходняй частцы заказніка «Стары Жадзен» сустракаецца шмат балотных лясоў і адкрытых балот, некаторыя з якіх гараць штогод [21], што перашкаджае аднаўленню лясных экасістэм.

Найменшая плошча першабытных лясоў вылучана на тэрыторыі Лельчыцкага лясгаса (331 га), дзе практычна адсутнічаюць буйныя масівы стараўзроставых лясоў з-за інтэнсіўнай лесагаспадарчай дзейнасці. Прадстаўлены яны выключна балотнымі лясамі з *Pinus sylvestris* і *Betula pubescens*.

Табліца 3

Размеркаванне першабытных лясоў і балот паміж землекарыстальнікамі

Землекарыстальнік	Першабытныя лясы		Рэдкалесі і адкрытыя балоты	
	Плошча, га	Доля, %	Плошча, га	Доля, %
Палескі лясгас	12 582,6	26,8	25 911,7	68,1
Столінскі лясгас	4900,7	10,4	1169,3	3,1
Жыткавіцкі лясгас (часткова)	4376,8	9,3	3876,4	10,2
Лельчыцкі лясгас	331,1	0,7	0,8	<0,1
Мілошавіцкі лясгас	7892,2	16,8	4630,5	12,2
Нацыянальны парк «Прыпяцкі»	16 888,3	36,0	2458,6	6,5
Разам	46 971,7	100,0	38 047,3	100,0

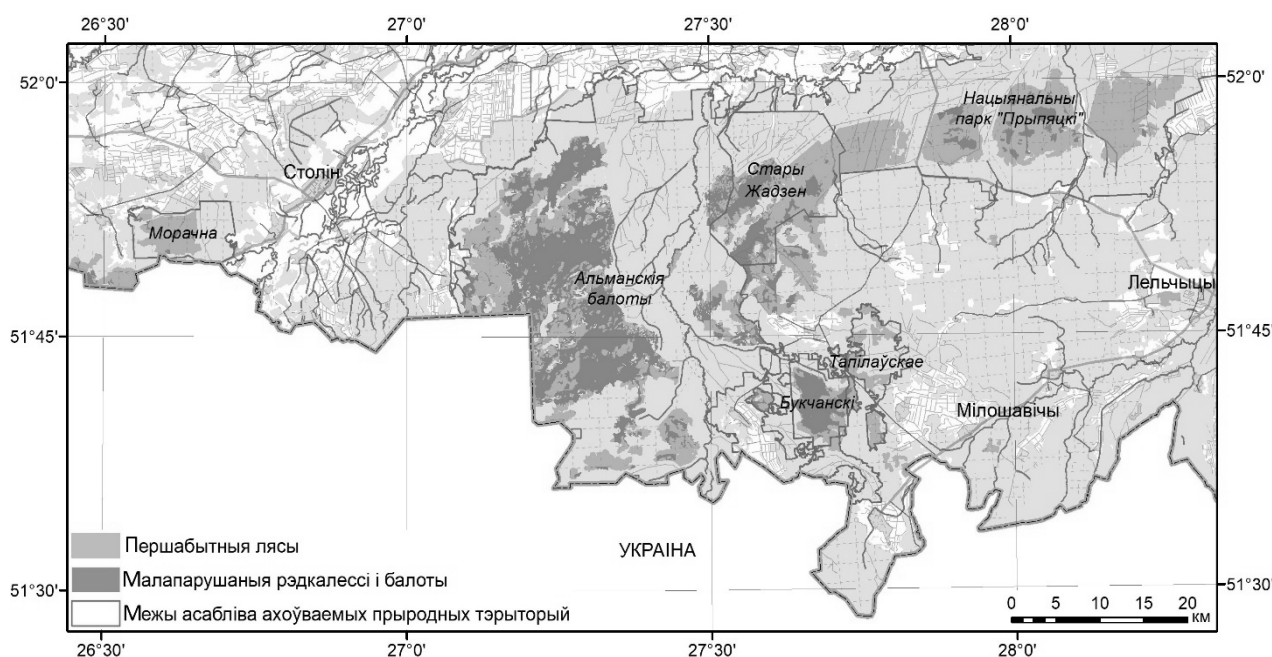
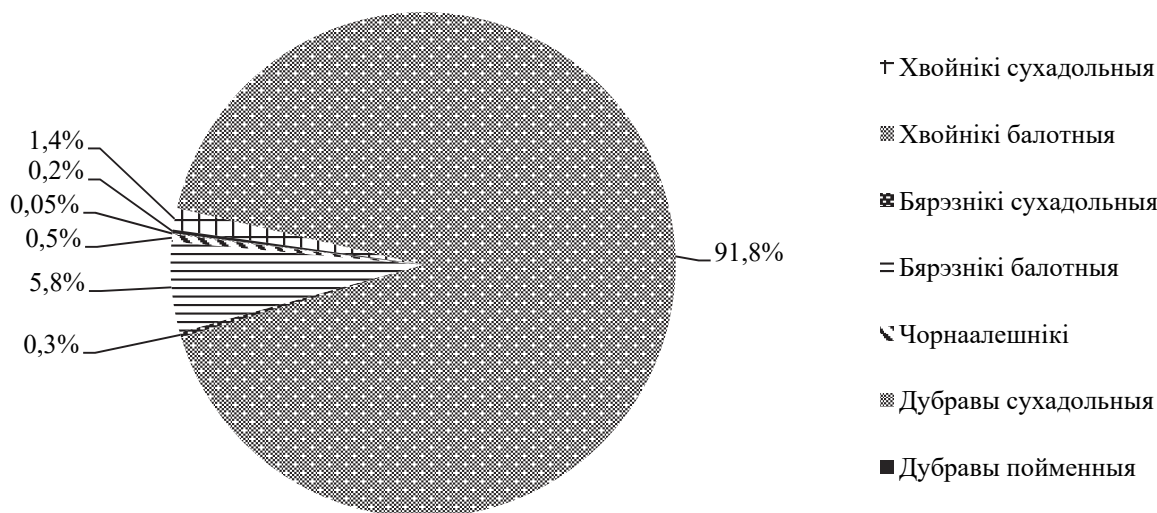


Рис. 2. Распаўсюджанне першабытных лясоў і малапарушаных лесабалотных масіваў у Беларускай Палесі

Цалкам лесатыпалагічная структура першабытных лясоў Беларускага Палесся даволі разнастайная: сярод іх налічваецца 30 тыпаў лесу 4 фармацый (табл. 4). Найбольш поўна сярод першабытных лясоў прадстаўлена фармацыя хвойнікавых лясоў (12 тыпаў лесу). Дамінуюць хвойнікі сфагнавага (*Pinetum sphagnosum*), асакова-сфагнавага (*P. caricoso-sphagnosum*) і багуновага (*Pinetum led-*

sum) тыпаў. Іх агульная плошча складае 42,5 тыс. га, ці 90,4% ад плошчы ўсіх першабытных лясоў (табл. 4, рыс. 3). Сярод балотных хвойнікавых лясоў, на пераходных балотах і па іх ускрайках захаваліся малапарушаныя лясы з дамінаваннем бярозы пушыстай асаковага (*Pubescentio-Betuletum caricosum*) і асакова-сфагнавага (*Pubescentio-Betuletum caricoso-sphagnosum*) тыпаў (2,3 тыс. га).



Рыс. 3. Размеркаванне першабытных лясоў па групам тыпаў лесу

Табліца 4

Размеркаванне першабытных лясоў па тыпах лесу

Серыя тыпаў лесу		Плошча па лясных фармацыях, га				Разам	
		Хвойнікі	Бярэзнікі	Чорнаалешнікі	Дубравы	га	%
Сухадольныя лясы		645,8	155,4		22,4	823,5	1,8
У тым ліку:							
Лішайнікавы		0,3	—	—	—	0,3	<0,1
Верасовы		26,9	—	—	—	26,9	0,1
Бруснічны		1,5	—	—	—	1,5	<0,1
Імшысты		53,3	3,1	—	—	56,4	0,1
Арляковы		3,3	—	—	7,6	10,9	<0,1
Чарнічны		52,0	8,4	—	14,8	75,1	0,2
Доўгаімховы		508,5	143,9	—	—	652,4	1,4
Забалочаныя і балотныя лясы		43 098,5	2716,4	225,6	—	46 040,6	98,0
У тым ліку:							
Папарацевы		—	1,4	—	—	1,4	<0,1
Прыручаёва-травяны		499,7	70,8	—	—	570,5	1,2
Багуновы		4771,5	—	—	—	4771,5	10,2
Сфагнавы		30 110,8	266,3	—	—	30 377,0	64,7
Асакова-сфагнавы		127,0	733,6	—	—	860,7	1,8
Асакова-травяны		—	32,0	—	—	32,0	0,1
Асаковы		7589,5	1594,1	200,9	—	9384,5	20,0
Балотна-папарацевы		—	16,9	7,8	—	24,8	0,1
Вятроўнікавы		—	—	16,3	—	16,3	<0,1
Вербалозавы		—	1,3	0,6	—	1,9	<0,1
Пойменныя лясы		—	—	—	107,6	107,6	0,2
У тым ліку:							
Альхова-пойменны		—	—	—	107,6	107,6	0,2
Разам	га	43 744,3	2871,8	225,6	130,0	46 971,7	100,0
	%	93,1	6,1	0,5	0,3	100,0	0,2

У хвойніках на верхавых балотах сярод дрэў акрамя *Pinus sylvestris* сустракаецца *Betula pubescens*. Асаблівасць гэтых лясоў заключаецца ў вельмі нізкай прадукцыйнасці дрэвастояў, якая павышаецца нязначна нават падчас асушэння (выключэнне – хвойнікі багуновыя). Гэта дазволіла лясам захавацца амаль некранутымі на вялікіх плошчах. Сярэдні ўзрост такіх лясоў у матэрыялах лесаўпарадкавання рэдка перавышае 100 гадоў, а насамрэч тут могуць прысутнічаць дрэвы ўзростам да 200–240 гадоў, што пацвярджае іх першабытны статус. Сярод ахоўваемых відаў раслін можа сустракацца *Oxycoccus microcarpus*.

У хвойніках і бярозніках на пераходных і нізінных балотах сярод дрэў і хмызнякоў сустракаюцца *Pinus sylvestris*, *Betula pubescens*, *Alnus glutinosa*, *Frangula alnus*, віды роду *Salix*. Цяжкадаступныя, маланаведваныя чалавекам масівы хвойнікаў і пушыстабярознікаў на верхавых і пераходных балотах з'яўляюцца ключавымі месцамі для гнездавання ахоўваемых *Circus gallicus* і *Ciconia nigra*. Да характэрных насельнікаў гэтых лясоў варта аднесці *Tetrao urogallus*, *Tetrao tetrix*, *Lanius excubitor*. З рэдкіх і ахоўваемых на тэрыторыі Беларусі насякомых у балотных алігатрофных лясах сустракаюцца *Oeneis jutta* і *Colias palaeno* [21].

Першабытныя сухадольныя лясы займаюць плошчу ўсяго 823,5 га (1,8% ад усіх першабытных лясоў). Большасць з іх – гэта хвойнікавыя (645,8 га, або 78,4%) і бярозавыя (155,4 га, або 18,9%) лясы на мінеральных выспах сярод верхавых і пераходных балот. Пераважаюць сярод іх лясы доўгаімховай і чарнічнай серый тыпаў лесу (79,2%), якія фактычна з'яўляюцца экатоннымі экасістэмамі паміж балотамі і сухадоламі. Гэта бярозава-хвойнікавыя ці хвойнікава-бярозавыя фітацэнозы з дамешкам *Alnus glutinosa* і зрэдку *Quercus robur*.

Асабліва цікавыя па структуры і ўзросце маляпарушаныя сухадольныя лясы сустракаюцца на астравах цэнтральнай часткі балота Стары Жадзен. Яшчэ ў другой палове XX стагоддзя тут існавала лясная дарога, што ішла па выспах праз увесь забалочаны масіў. Уздоўж яе амаль усе сухадольныя лясы былі высечаны, але экатонныя лясы захаваліся ў нязменным стане. Тут нярэдка можна сустрэць рознаўзрослыя дрэвастой, у якіх дрэвы *Pinus sylvestris* дасягаюць узросту 300 гадоў. Унікальнасць фітацэнозаў падкрэслівае тое, што ў гэтых жа дрэвах у 2015 г. была выяўлена калонія *Nyctalus lasiopterus* – віду кажана, які лічыўся зніклым у Беларусі [27].

На вяршынях бедных сухіх пячаных градаў сярод балот часам сустракаюцца непарушаныя

палескія лішайнікава-хмызнячковыя лясы (хвойнік лішайнікавы *Pinetum cladinosum* і хвойнік верасовы *P. callunosum*), але плошча такіх лясоў вельмі малая – 28,4 га.

Большасць сухадольных першабытных лясоў сканцэтрована ў найбольш цяжкадаступных месцах нацыянальнага парку «Прыпяцкі» (99,6 га), заказнікаў «Альманскія балоты» (336,8 га) і «Стары Жадзен» (277,6 га).

Значныя плошчы патэнцыйных першабытных чорнаальховых лясоў былі выдзелены на тэрыторыі нацыянальнага парку «Прыпяцкі», Столінскага, Лельчыцкага і Палескага лягасаў. Але пасля палявых даследаванняў іх доля склала ўсяго 0,5% (225,6 га) ад усёй плошчы першабытных лясоў. Гэта звязана з тым, што ў Палессі большасць чорнаалешнікаў закранута асушальнай меліярацыяй, якая інтэнсіўна праводзілася ў другой палове XX ст., значна змяніла гідралагічны рэжым і, адпаведна, структуру фітацэнозаў. Частка такіх лясоў увогуле ўзнікла на месцы былых адкрытых нізінных балот пасля асушэння. Акрамя таго, буйныя масівы высокаўзроставых чорнаальховых лясоў на тэрыторыі Столінскага (пойма р. Льва) і Палескага лягасаў у 1970–1980-х гг. інтэнсіўна высакаліся, што бачна на старых картах, аэра- і спадарожнікавых здымках.

Пойменныя дубравы Палесся, значная частка якіх знаходзіцца на тэрыторыі нацыянальнага парку «Прыпяцкі», вядомыя сваёй унікальнасцю, але яны не былі аднесены намі да першабытных лясоў. Яны дагэтуль знаходзяцца па-за межамі запаведнай зоны нацыянальнага парку, таму высечка дрэў тут не забаронена. Аналіз гістарычных карт, даследаванні апошніх дзесяцігоддзяў [28] і нашы палявыя даследаванні паказалі, што пойменныя дубравы Прыпяцкага Палесся неаднаразова закраналіся высечкамі (суцэльнымі ў пачатку XX ст. і выбарковымі ў канцы XX – пачатку XXI). У выніку тут захаваліся асобныя старыя дрэвы дуба ўзростам каля 300 гадоў, але натуральная структура фітацэнозаў была значна парушана: прысутнічаюць шматлікія пні рознага ўзросту, адсутнічае буйная старая мёртвая драўніна, а ў дрэвастоях павялічаная доля дробналісцевых парод. Толькі нязначныя па плошчы (107,6 га) участкі пойменных дубраў уздоўж ракі Сцвіга былі ідэнтыфікаваныя як першабытныя.

Большасць першабытных лясоў (89,4%, ці 42,0 тыс. га) і непарушаных балот (96,2%, ці 36,6 тыс. га) Беларускага Палесся захаваліся на асабліва ахоўваемых прыродных тэрыторыях рознага ўзроўню: у нацыянальным парку, заказніках рэспубліканскага і мясцовага прызначэння (табл. 5, рыс. 4).

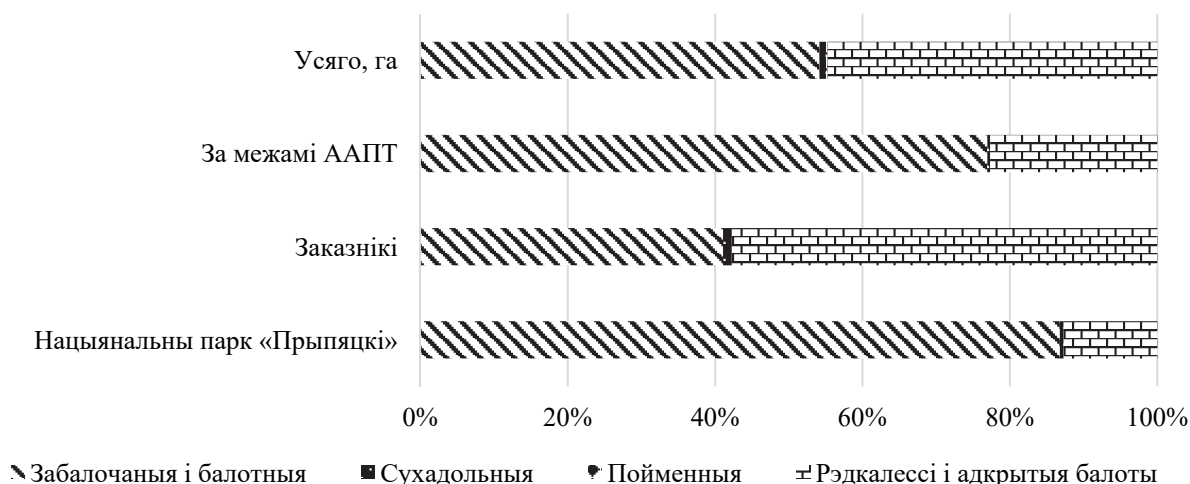


Рис. 4. Размеркаванне першабытных лясоў па групх біятопаў і рэжымах аховы

Табліца 5

Размеркаванне першабытных лясоў па групх біятопаў і ахоўваемых тэрыторыях, га/%

Ахоўваемыя тэрыторыі	Плошча па групх біятопаў				Разам
	Забалочаныя і балотныя	Сухадольныя	Пойменныя	Рэдкалессі і адкрытыя балоты	
Нацыянальны парк «Прыпяцкі»	<u>16 788,7</u> 86,8	<u>99,6</u> 0,5	—	<u>2458,6</u> 12,7	<u>19 346,9</u> 100,0
Заказнікі	<u>24 282,4</u> 41,0	<u>698,6</u> 1,2	<u>107,6</u> 0,2	<u>34 124,6</u> 57,6	<u>59 212,9</u> 100,0
У тым ліку:					
Букчанскі	<u>817,2</u> 24,2	<u>48,5</u> 1,4	—	<u>2516,8</u> 74,4	<u>3382,5</u> 100,0
Морачна	<u>2267,3</u> 91,5	<u>8,3</u> 0,3	—	<u>201,9</u> 8,1	<u>2477,5</u> 100,0
Альманскія балоты	<u>13 987,3</u> 33,7	<u>351,6</u> 0,8	<u>107,6</u> 0,3	<u>27 047,2</u> 65,2	<u>41 493,7</u> 100,0
Стары Жадзен	<u>4670,5</u> 52,0	<u>277,6</u> 3,1	—	<u>4040,9</u> 45,0	<u>8989,0</u> 100,0
Тапілаўскае	<u>2540,1</u> 88,5	<u>12,3</u> 0,4	—	<u>317,8</u> 11,1	<u>2870,2</u> 100,0
За межамі ААПТ	<u>4969,5</u> 76,9	<u>25,6</u> 0,4	—	<u>1464,1</u> 22,7	<u>6459,2</u> 100,0
Разам	<u>46 040,6</u> 54,2	<u>823,5</u> 1,0	<u>107,6</u> 0,1	<u>38 047,3</u> 44,8	<u>85 019,0</u> 100,0

Найбольшыя плошчы першабытных лясоў у межах ААПТ знаходзяцца на тэрыторыі нацыянальнага парку «Прыпяцкі» (36,0%), рэспубліканскіх заказнікаў «Альманскія балоты» (30,8%) і «Стары Жадзен» (10,5%). Заказнікі рэспубліканскага значэння «Букчанскі» і мясцовага значэння «Тапілаўскае» уяўляюць сабой адзіны лесабалотны масіў (рыс. 2). Аднак большасць першабытных лясоў засяроджана ў заказніку мясцовага (5,4%), а не рэспубліканскага значэння (1,8%), які быў створаны для захавання буйнога масіву адкрытых пераходных і верхавых балот (2,5 тыс. га).

За межамі ААПТ знаходзіцца 5,0 тыс. га малапарушаных лясоў, якія патрабуюць устанавлення ахоўнага рэжыму. Асабліва каштоўныя

сярод іх хвойнікі сфагнавыя і багуновыя з дрэвамі 200-гадовага ўзросту, якія з'яўляюцца часткай аднаго лесабалотнага масіву «Стары Жадзен», але размяшчаюцца за паўднёвай мяжой заказніка (рыс. 2).

Амаль усе (96,9%) сухадольныя першабытныя лясы захаваліся толькі на ААПТ (табл. 5, рыс. 4). За іх межамі ідэнтыфікавана толькі 25,6 га такіх лясоў. Вельмі малая плошча першабытных сухадольных лясоў на ААПТ і яшчэ меншая па-за іх межамі дакладна паказвае, што пераважная большасць ахоўваемых тэрыторый стваралася сярод цяжкадаступных экасістэм, на якіх вельмі складана весці лясную гаспадарку, і ахоплівае ў першую чаргу балотныя масівы. І тое, што ў іх

межах захаваліся ўчасткі з унікальнымі фітацэнозамі, гэта хутчэй выпадковасць, чым сістэмны падыход да аховы прыродных каштоўнасцяў.

Заклучэнне. У розных навуковых даследаваннях сустракаецца мноства значэнняў тэрміна «першабытны лес». Аднак у кожным выпадку асноўным крытэрам ідэнтыфікацыі такіх лясоў з'яўляецца тое, што яны ўзніклі натуральным шляхам і далейшае іх развіццё праходзіла без прамога ўздзеяння чалавека. З гэтага пункту гледжання Беларускае Палессе можна лічыць той тэрыторыяй, дзе першабытныя лясы захаваліся на дастаткова вялікай плошчы (47,0 тыс. га), дзякуючы яе цяжкай даступнасці.

Захаванасць першабытных лясоў у першую чаргу залежыць ад іх аддаленасці ад трас камунікацый, населеных пунктаў, а таксама жорсткасці і працягласці рэжыму аховы. Пры палявых даследаваннях не было выяўлена сухадольных некранных першабытных лясоў (катэгорыя 1 у адпаведнасці з класіфікацыяй). Іх фарміраванне магчыма толькі ва ўмовах, калі адсутнічае ўплыў чалавека на працягу некалькіх пакаленняў карэнных парод дрэў, а гэта займае не менш як 300 гадоў. Пры гэтым большасць сухадольных лясоў Беларусі была закранута гаспадарчай дзейнасцю (высечкамі або асушальнай меліярацыяй) на працягу апошніх 200 гадоў.

Тым не менш, у некранныя лясы ў першую чаргу могуць з часам перайсці непарушаныя лясы, затым стараўзроставыя і высокаўзроставыя. Вяртанне некранных лясоў магчыма толькі ва ўмовах запаведнага рэжыму, які ў Беларусі ўсталяваны толькі ў Бярэзінскім біясферным запаведніку і запаведных зонах нацыянальных паркаў. Рэжым аховы на іншых ААПТ дазваляе захаваць сухадольныя першабытныя лясы толькі на стадыі высокаўзроставых або малапарушаных лясоў (катэгорыі 3 і 4). На астатняй тэрыторыі заказнікаў (каля 90%) першабытныя лясы знішчаюцца высечкамі. Выключэнне складаюць толькі нізкабанітэжныя цяжкадаступныя хвойнікавыя лясы на верхавых балотах.

Нягледзячы на развітую сістэму ААПТ у Беларусі, захаванне першабытных лясоў аказваецца магчымым толькі на тэрыторыях з запаведным рэжымам і часткова на тэрыторыі нацыянальных паркаў або асабліва ахоўваемых частак заказнікаў. Таму намаганні па захаванні і аднаўленні першабытных лясоў павінны быць накіраваны на развіццё сістэмы асабліва ахоўваемых тэрыторый і ўстанаўленне больш строгіх рэжымаў аховы для буйных лясных тэрыторый на працяглы час.

Даследаванні выкананы ў 2020 г. у рамках праекта «Палессе – дзікая прырода без межаў», каардынаванага Франкфурцкім заалагічным таварыствам.

Спіс літаратуры

1. Where are Europe's last primary forests? / F. M. Sabatini [et al.] // *Diversity and Distributions*. 2018. Vol. 24, no. 10. P. 1426–1439. DOI: 10.1111/ddi.12778.
2. European primary forest database v2.0 / F. M. Sabatini [et al.] // *Scientific Data*. 2021. Vol. 8, no 1. DOI: 10.1038/s41597-021-00988-7.
3. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 326 с.
4. Парпан В. І., Чернявський М. В., Парпан Т. В. Праліси і природні ліси та їх означення. Науковий вісник НЛТУ України. 2017. Т. 27, № 6. С. 11–15.
5. Buchwald E. A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation // *Third Expert Meeting on Harmonizing Forest-related Definitions*, Rome, 11–19 January 2005. Rome, 2005. P. 111–127.
6. Magurran A. E. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton, Princeton Univ. Press, 1988. 179 p.
7. Ledig F. T. Secret extinction: the loss of genetic diversity in forest ecosystems // *Our living legacy: proceedings of a symposium on biological diversity*. Royal British Columbia Mus., 1993. P. 127–140.
8. Ricklefs R., Schuster D. *Species diversity in ecological communities*. Chicago, Univ. Chicago Press, 1993. 414 p.
9. Huston M. A. *Biological diversity*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1994. 681 p.
10. Samuelsson J., Gustafsson L., Ingelög T. Dying and dead trees – a review of their importance for biodiversity. Uppsala, Swedish Threatened Species Unit, 1994. 109 p.
11. Heywood V. H., Watson R. T. *Global biodiversity assessment*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1995. 1140 p.
12. Rosenzweig M. L. *Species diversity in space and time*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1995. 436 p.
13. Trass H., Vellak K., Ingerpuu N. Floristical and ecological properties for identifying of primeval forests in Estonia // *Annales Botanici Fennici*. 1999. No. 36. P. 67–80.
14. *Atlas of Finland*. Helsinki, 1988. Appendix 141–143.

15. Bobiec A. Białowieża Primeval Forest as a remnant of culturally modified ancient forest // *European Journal of Forest Research*. 2012. No. 131. P. 1269–1285.
16. Смалійчук А. Д. Праліси та старовікові ліси Українських Карпат: геопросторовий аналіз структури та чинників // *Фізична географія та геоморфологія*. 2017. Вип. 3 (87). С. 92–100.
17. Природні ліси Українських Карпат // пад. ред. А. Смалійчука, У. Гребенера. Львів: Карти і Атласи, 2018. 104 с.
18. Пахучий В. В., Пахучая Л. М. Девственные леса Республики Коми: современное состояние и перспективы использования и охраны // *Актуальные проблемы лесного комплекса*. 2014. № 38. С. 44–47.
19. Пахучий В. В. Девственные леса Северного Приуралья. СПб.: Наука, 1999. 137 с.
20. Parviainen J. Virgin and natural forests in the temperate zone of Europe // *Forest Snow and Landscape Research*. 2005. № 79 (1). P. 9–18.
21. Трансграничная рамсарская территория «Ольманы – Переброды» (Olmany – Perebrody) / под общ. ред. А. А. Сидорович. Минск, 2019. 150 с.
22. Методика выделения типичных и редких лесных биотопов / И. Н. Вершицкая [и др.] // *Лесные экосистемы: современные вызовы, состояние, продуктивность и устойчивость: материалы междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 90-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель, 13–15 нояб. 2020 г. Гомель, 2020. С. 325–330.*
23. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
24. Braun-Blanquet J. *Pflanzensoziologie; Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien; New York: Springer-Verlag, 1964. 865 p.
25. Редкие биотопы Беларуси / А. В. Пугачевский [и др.]. Минск: Альтиора-Живые краски, 2013. 236 с.
26. Правила выявления типичных и (или) редких биотопов, типичных и (или) редких природных ландшафтов, оформления их паспортов и охранных обязательств: ТКП 17.12-06–2021 (33140). Минск: Минприроды, 2021. 85 с.
27. Домбровский В. Ч., Фенчук В. А., Dietz M. Уникальная колония гигантской вечерницы *Nyctalus lasiopterus* в Припятском Полесье (Южная Беларусь) // *Актуальные проблемы зоологической науки в Беларуси: сб. ст. XI зоол. междунар. науч.-практ. конф., приуроченной к десятилетию основания ГНПО «НПЦ НАН Беларуси по биоресурсам», Минск, 1–3 нояб. 2017 г. Минск, 2017. Т. 1. С. 113–118.*
28. Кныш Н. В., Ермохин М. В. Влияние климатических факторов на прирост дуба черешчатого (*Quercus robur* L.) в южных регионах Беларуси // *Весці Нац. акад. навук Беларусі. Сер. біялагічных навук*. 2019. Т. 64, № 2. С. 169–179.

References

1. Sabatini F., Burrascano S., Keeton W., Levers C., Lindner M., Pötzschner F., Verkerk H., Bauhus J., Buchwald E., Chaskovsky O., Debaive N., Horvath F., Garbarino M., Grigoriadis N., Lombardi F., Duarte I., Meyer P., Midteng R., Mikac S., Kuemmerle T. Where are Europe's last primary forests? *Diversity and Distributions*, 2018, vol. 24, no. 10, pp. 1426–1439. DOI: 10.1111/ddi.12778.
2. Sabatini F., Bluh H., Kun Z., Aksenov D., Atauri J., Buchwald E., Burrascano S., Cateau E., Diku A., Duarte I., López A., Garbarino M., Grigoriadis N., Horvath F., Keren S., Kitenberga M., Kiš A., Kraut A., Ibisich P., Kuemmerle T. European primary forest database v2.0. *Scientific Data*, 2021, vol. 8, no. 1. DOI: 10.1038/s41597-021-00988-7.
3. Gel'tman V. S. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geographical and typology analysis of forest vegetation of Belorussia]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p. (In Russian).
4. Parpan V. I., Chernyavs'kyi M. V., Parpan T. V. Old-growth forests and natural forests and their meaning. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny* [Scientific Bulletin of the National Technical University of Ukraine], 2017, vol. 27, no. 6, pp. 11–15 (In Ukrainian).
5. Buchwald E. A hierarchical terminology for more or less natural forests in relation to sustainable management and biodiversity conservation. *Third Expert Meeting on Harmonizing Forest-Related Definitions*. Rome, 2005, pp. 111–127.
6. Magurran A. E. *Ecological diversity and its measurement*. Princeton, Princeton Univ. Press, 1988. 179 p.
7. Ledig F. T. Secret extinction: the loss of genetic diversity in forest ecosystems. *Our living legacy: proceedings of a symposium on biological diversity*. Royal British Columbia Mus., 1993, pp. 127–140.
8. Ricklefs R. E., Schuster D. *Species diversity in ecological communities*. Chicago, Univ. Chicago Press, 1993. 414 p.
9. Huston M. A. *Biological diversity*. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1994. 681 p.

10. Samuelsson J., Gustafsson L., Ingelög T. Dying and dead trees – a review of their importance for biodiversity. Uppsala, Swedish Threatened Species Unit, 1994. 109 p.
11. Heywood V. H., Watson R. T. Global biodiversity assessment. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1995. 1140 p.
12. Rosenzweig M. L. Species diversity in space and time. Cambridge, Cambridge Univ. Press, 1995. 436 p.
13. Trass H., Vellak K., Ingerpuu N. Floristical and ecological properties for identifying of primeval forests in Estonia. *Annales Botanici Fennici*, 1999, no. 36, pp. 67–80.
14. Atlas of Finland. Helsinki, 1988. Appendix 141–143.
15. Bobiec A. Białowieża Primeval Forest as a remnant of culturally modified ancient forest. *European Journal of Forest Research*, 2012, no. 131, pp. 1269–1285.
16. Smaliychuk A. D. Old-growth and virgin forests of Ukrainian Carpathians: geospatial pattern and prospects of conservation. *Fizychna heohrafiya ta heomorfolohiya* [Physical geography and geomorphology], 2017, issue 3 (87), pp. 92–100 (In Ukrainian).
17. Smaliychuk A., Gräbener U. *Pryrodni lisy Ukrayins'kykh Karpat* [Natural forests of the Ukrainian Carpathians]. Lviv, Carty i Atlasy Publ., 2018. 104 p. (In Ukrainian).
18. Pakhuchiy V. V., Pakhuchaya L. M. Virgin forests of the Komi Republic: current state and prospects for use and protection. *Aktual'nyye problemy lesnogo kompleksa* [Actual problems of the forest complex], 2014, no. 38, pp. 44–47 (In Russian).
19. Pakhuchiy V. V. *Devstvennyye lesa Severnogo Priural'ya* [Virgin forests of the Northern Urals]. Saint Petersburg, Nauka Publ., 1999. 137 p. (In Russian).
20. Parviainen J. Virgin and natural forests in the temperate zone of Europe. *Forest Snow and Landscape Research*, 2005, no. 79 (1), pp. 9–18.
21. *Transgranichnaya ramsarskaya territoriya "Ol'many – Perebrody"* [Transboundary Ramsar site "Olmany – Perebrody"]. By edit. A. A. Sidorovich. Minsk, 2019. 150 p. (In Russian).
22. Vershitskaya I., Yermokhin M., Barsukova T., Lukin V., Knysh N., Komar S., Kurpatov A., Ignatiev Ya. Methodology for identification of typical and rare forest biotopes. *Lesnyye ekosistemy: sovremennyye vyzovy, sostoyaniye, produktivnost' i ustoychivost': materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi* [Forest ecosystems: current challenges, state, productivity and sustainability: materials of the international scientific-practical conference dedicated to the 90th anniversary of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2020, pp. 325–330 (In Russian).
23. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types during forest inventory work]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p. (In Russian).
24. Braun-Blanquet J. *Pflanzensoziologie; Grundzüge der Vegetationskunde*. Wien, New York, Springer-Verlag Publ., 1964. 865 p. (In German).
25. Puhacheuski A., Vershitskaya I., Yermokhin M., Stepanovich I., Sozinov O., Sakovich A., Rudakovski I., Kulak A., Zhuravlev D. *Redkiye biotopy Belarusi* [Rare biotopes of Belarus]. Minsk, Al'tiora-Zhivyye kraski Publ., 2013. 236 p. (In Russian).
26. ТКР 17.12-06–2021 (33140). Rules for identifying typical and (or) rare biotopes, typical and (or) rare natural landscapes, issuing their passports and security obligations. Minsk, Minprirody, 2021. 85 p. (In Russian).
27. Dombrovskiy V. Ch., Fenchuk V. A., Dietz M. The unique colony of the giant nocturnal *Nyctalus lasiopterus* in Pripyat Polesie (South Belarus). *Aktual'nyye problemy zoologicheskoy nauki v Belarusi: sbornik statey XI Zoologicheskoy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, priurochennoy k desyatilet'iyu osnovaniya GNPO "NPTS NAN Belarusi po bioresursam"* [Current issues of zoological science in Belarus: collection of articles of the XI Zoological International Scientific and Practical Conference dedicated to the tenth anniversary of the founding of the SNPO "SPC NAS of Belarus for Bioresources"]. Minsk, 2017, vol. 1, pp. 113–118 (In Russian).
28. Knysh N. V., Yermokhin M. V. The effects of climatic factors in forming increment of English oak (*Quercus robur* L.) in south regions of Belarus. *Vesti Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi* [News of the National Academy of Sciences of Belarus]. Biological series, 2019, vol. 64, no. 2, pp. 169–179 (In Russian).

Інфармацыя пра аўтараў

Вяршыцкая Ірына Мікалаеўна – старэйшы навуковы супрацоўнік лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: verschickaja@gmail.com

Комар Софія Аляксандраўна – малодшы навуковы супрацоўнік лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: sofja.komar@gmail.com

Ермохін Максім Валер’евіч – кандыдат біялагічных навук. ГА «Батанічнае таварыства» (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: maxim.yermokhin@gmail.com

Кныш Наталля Валер’еўна – навуковы супрацоўнік лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: knyshnv@gmail.com

Лукін Віталь Васільевіч – кандыдат біялагічных навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: lukin.vitali04@gmail.com

Барсукова Таццяна Леанідаўна – кандыдат сельскагаспадарчых навук, вядучы навуковы супрацоўнік лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: barsukovatl@yandex.ru

Пугачэўскі Аляксандр Віктаравіч – кандыдат біялагічных навук, загадчык лабараторыі праблем экалогіі лесу і дэндрахраналогіі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (вул. Акадэмічная, 27, 220072, г. Мінск, Рэспубліка Беларусь). E-mail: ieb_dir@biobel.by

Information about the authors

Vershitskaya Irina Nikolayevna – senior researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: verschickaja@gmail.com

Komar Sofiya Aleksandrovna – junior researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: sofja.komar@gmail.com

Yermokhin Maxim Valer’evich – PhD (Biology). PO “Botanical Society” (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: maxim.yermokhin@gmail.com

Knysh Natalia Valer’evna – researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: knyshnv@gmail.com

Lukin Vitaly Vasil’evich – PhD (Biology), lead researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lukin.vitali04@gmail.com

Barsukova Tat’yana Leonidovna – PhD (Agriculture), lead researcher, the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: barsukovatl@yandex.ru

Puhachevskiy Alexander Viktorovich – PhD (Biology), Head of the Laboratory of Forest Ecology and Dendrochronology. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ieb_dir@biobel.by

Паступіў 15.03.2025

ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ

FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING

УДК 630*232.322.5

О. А. Селищева¹, А. М. Граник¹, А. В. Юреня¹, Д. В. Носников²

¹Белорусский государственный технологический университет

²Минский лесхоз

ВЛИЯНИЕ СТИМУЛЯТОРОВ РОСТА НА ВЫСОТУ СЕЯНЦЕВ ЛИСТВЕННЫХ ПОРОД

В статье изложены результаты применения стимуляторов роста растений при выращивании посадочного материала березы повислой, клена остролистного, липы мелколистной, ясеня обыкновенного, дуба черешчатого и ольхи черной в условиях закрытого грунта с открытой корневой системой и сеянцев с закрытой корневой системой. В качестве стимуляторов были использованы следующие препараты: Эпин-экстра, Фитовитал и Экосил. Целью проводимых исследований являлась оценка влияния применяемых веществ на рост надземной части сеянцев однолетнего возраста основных лесообразующих пород с открытой корневой системой в условиях закрытого грунта и сеянцев с закрытой корневой системой, а также определение оптимальных дозировок применяемых препаратов. Результаты проведенных исследований показали положительное влияние обработки стимуляторами на рост надземной части однолетних сеянцев. В целях усиления роста посадочного материала березы повислой, ольхи черной и дуба черешчатого следует использовать стимулятор Экосил с дозой внесения 2 мл/м². При выращивании сеянцев ясеня обыкновенного, липы мелколистной и клена остролистного для усиления интенсивности ростовых процессов рекомендуется использовать Фитовитал в дозе 10 мл/м² или Экосил в дозе 2 мл/м². Применение повышенных доз внесения стимуляторов не оказывает существенного влияния на рост сеянцев лиственных пород и находится в большинстве случаев в пределах ошибки среднего, поэтому экономически нецелесообразно.

Ключевые слова: стимуляторы роста, береза, дуб, клен, ольха, липа, ясень, материал посадочный.

Для цитирования: Селищева О. А., Граник А. М., Юреня А. В., Носников Д. В. Влияние стимуляторов роста на высоту сеянцев лиственных пород // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 53–60.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-6.

O. A. Selishcheva¹, A. M. Granik¹, A. V. Yurenja¹, D. V. Nosnikov²

¹Belarusian State Technological University

²Minsk forestry

EFFECT OF GROWTH STIMULATORS ON THE HEIGHT OF DECIDUOUS SPECIES SEEDLINGS

The article presents the results of using plant growth stimulators when growing planting material of silver birch, Norway maple, small-leaved linden, common ash, English oak and black alder in closed ground conditions with an open root system and seedlings with a closed root system. The following preparations were used as stimulators: Epin-extra, Fitovital and Ecosil. The aim of the conducted research was to evaluate the effect of the applied substances on the growth of the above-ground part of one-year-old seedlings of the main forest-forming species with an open root system in closed ground conditions and seedlings with a closed root system, as well as to determine the optimal dosages of the applied preparations. The results of the conducted research showed a positive effect of treatment with stimulators on the growth of the above-ground part of one-year-old seedlings. In order to enhance the growth of planting material of silver birch, black alder and English oak, the stimulator Ecosil should be used at a dose of 2 ml/m². When growing seedlings of common ash, small-leaved linden and Norway maple, to enhance the intensity of growth processes, it is recommended to use Fitovital at a dose of 10 ml/m² or

Eco-sil at a dose of 2 ml/m². The use of increased doses of stimulators does not have a significant effect on the growth of seedlings of deciduous species and is in most cases within the error of the mean, therefore it is not economically feasible.

Keywords: growth stimulators, birch, oak, maple, alder, linden, ash, planting material.

For citation: Selishcheva O. A., Granik A. M., Yurenya A. V., Nosnikov D. V. Effect of growth stimulators on the height of deciduous species seedlings. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 53–60 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-6.

Введение. Стимуляторы (регуляторы) роста растений – это природные и синтетические органические соединения, которые в малых количествах вызывают большие изменения в процессах роста и развития растений, регулируют эти процессы [1, 2]. Специфическая особенность регуляторов роста – их способность влиять на процессы, которые не могут регулироваться обычными агротехническими способами возделывания растений, такими как орошение и применение удобрений [3]. Стимуляторы роста повышают лабораторную и грунтовую всхожесть семян, усиливают рост растений; повышают продуктивность сельскохозяйственных культур, снижают действие неблагоприятных факторов: засоления, избытка нитратов и удобрений в почве, недостатка влаги, повышают засухо- и морозостойчивость.

Разработан целый ряд комплексных препаратов, в состав которых входят ростовые вещества, средства защиты, микроэлементы и др. [1, 4–7]. Эти композиции позволяют получить наибольший эффект при наименьших затратах; одновременно решаются проблемы защиты, подкормок и стимуляции ростовых процессов. Поэтому основной задачей научных исследований в лесном хозяйстве и при изучении новых препаратов является поиск и внедрение в производство экологически безопасных соединений, способных оказывать влияние на увеличение их биологической продуктивности без нарушения жизненно важных функций и характеризующихся малой токсичностью [8, 9].

Применение стимуляторов при выращивании посадочного материала древесных пород позволяет увеличить выход стандартного посадочного материала, увеличить устойчивость растений к неблагоприятным факторам внешней среды, в том числе устойчивость к воздействию гербицидов и фунгицидов. Из года в год применение таких препаратов приобретает большую популярность [10]. Они способствуют повышению урожайности [11], уменьшают негативное воздействие абиотических и биотических стрессовых факторов, регулируют рост растений [12].

Основная часть. Применение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала позволяет получать дополнительный прирост у молодых растений. Важным фактором является определение способов и доз внесения препаратов, поскольку при неверно выбранных концен-

трациях стимуляторы могут ингибировать ростовые процессы. Регуляторы роста различаются механизмами действия на растения, из-за этого один и тот же стимулятор может оказывать различную степень влияния на ростовые процессы в зависимости от биологических и физиологических особенностей каждого вида. Для исследования влияния стимуляторов на ростовые процессы основных лиственных пород были выбраны следующие препараты:

– Эпин-экстра – природный биорегулятор, стимулятор роста и развития растений, антистрессовый адаптоген, стимулятор иммунной системы, аналог природного фитогормона эпибрасинолида. Механизм его действия заключается в регулировании синтеза самим растением других фитогормонов – ауксинов, гиббереллинов, цитокининов, абсцизовой кислоты и этилена. Причем это регулирование зависит от фазы развития растений и условий его выращивания. Таким образом, препарат стимулирует выработку самим растением тех гормонов, которые ему необходимы на каждом этапе развития. Эпин-Экстра увеличивает содержание антиоксидантных ферментов у растения. Препарат регулирует все защитные функции клетки, снижает стресс пересадки, стимулирует устойчивость к фитотрофу и другим заболеваниям, повышает устойчивость к засухе, холоду, ожогам и воздействию других неблагоприятных внешних факторов. При обработке семян повышается их всхожесть, усиливаются защитные свойства к неблагоприятным условиям внешней среды [13];

– Фитовитал – комплекс из 12 микроэлементов с янтарной кислотой. Стимулирует прорастание семян, активизирует рост и развитие сеянцев и саженцев древесных хвойных пород, декоративных лиственных древесных и кустарниковых культур. Отличается высокой концентрацией биологически активных веществ и эффективностью. Действующим веществом является янтарная кислота (5 г/л). В качестве сопутствующих элементов в его состав входит сбалансированный комплекс минеральных элементов (Mg, B, Cu, Mn, Zn, Fe, Mo, Co и др.), некоторые – в хелатной форме. Обладает ярко выраженным стресс-протекторным воздействием на растения. Повышает их устойчивость к неблагоприятным факторам среды (заморозки, повышенные температуры, засуха и пр.)

Активизирует иммунитет растений, является активным фунгистатиком [14];

– Экосил – эффективный стимулятор роста, мощный индуктор иммунитета растений и отлично работающий антистрессовый препарат, действующим веществом которого является уникальный комплекс физиологически-активных соединений, близкий по составу действующему веществу женьшеня и полученный на основе компонентов пихты сибирской. Быстро реанимирует растения после воздействия неблагоприятных факторов (заморозки, засуха, обработка пестицидами). Обладает ярко выраженным фунгицидным эффектом, сокращая бактериальную, вирусную и грибную заболеваемость растений в 1,6–4,5 раза [15].

Для установления влияния данных препаратов на рост и развитие сеянцев лиственных пород с закрытой корневой системой были поставлены производственные опыты.

Посев семян осуществлялся в кассеты марки Plantek F35 и в закрытый грунт. Для выращивания сеянцев использовали субстрат, приготовленный согласно ТУ ВУ 100061961.002–2015 «Субстраты торфяно-перлитные. Технические условия» [16].

Семена липы мелколистной, клена остролистного и ясеня обыкновенного высевали сразу после сбора в осенний период с целью прохождения семенами стратификации в субстрате. Осенний посев ясеня обыкновенного и липы мелколистной проводился семенами в фазе восковой спелости. Посев семян березы повислой, дуба черешчатого и ольхи черной производили весной.

Желуди дуба черешчатого высевались поштучно и помещались в субстрат горизонтально на глубину около 3 см. Желуди обрезались со стороны шляпки не более чем на $\frac{1}{5}$ длины для облегчения попадания влаги и ускорения прорастания. При обрезке желуди с потемневшим эндоспермом или с наличием грибницы выбраковывались. После обрезки они не протравливались.

Для посева лиственных видов использовались семена 1-го класса качества. В одну ячейку кассеты производили высева нескольких семян для получения массовых всходов.

После посева поверхность субстрата в ячейке кассеты мульчировали агроперлитом для исключения излишнего испарения влаги и пересыхания субстрата. Затем кассеты помещались в условия закрытого грунта на подставки. После посева производили обильный полив.

Влажность воздуха в теплице при прорастании семян и укоренении всходов поддерживалась на уровне 90–100%. При наступлении фазы быстрого роста влажность была снижена до 70–80%. При выращивании посадочного материала в теплице поддерживался оптимальный температурный режим. Для снижения температуры (при увеличении до +30°C и выше), особенно в прикорневой зоне, проводились проветривания в комбинации с поливами небольшой интенсивности путем однократного прогона ramпы на максимальной скорости. Для предотвращения излишнего испарения влаги из субстрата использовались затеняющие сетки с уровнем светопропускания 50–60%. Ими затенялась не только крыша, но и стенки и торцы теплицы, располагающиеся с восточной, юго-восточной, южной и юго-западной сторон. К тому же для снижения температуры уменьшая его на соответствующее время. При ночных температурах воздуха ниже +20°C проветривание прекращалось (закрывались двери и форточки). При достижении в теплице на следующий день температуры воздуха более +24°C проветривание возобновлялось.

В опытных посевах на начальных этапах поддерживалась относительная влажность субстрата на уровне 90%. В момент интенсивного роста растения относительная влажность субстрата снижалась до уровня 70%.

Подкормки удобрениями проводились согласно «Рекомендациям по выращиванию посадочного материала хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой» [17].

В фазе распускания зародышевой почки была проведена первая обработка всходов регуляторами роста растений (дозы, способы внесения и периодичность обработки указаны в табл. 1).

Таблица 1

Применение стимуляторов роста при выращивании посадочного материала лиственных пород

Стимулятор	Норма расхода препарата, мл/м ²	Способ и периодичность обработки
Эпин-экстра	0,003	Опрыскивание сеянцев 0,01%-ным рабочим раствором с интервалом 20 сут
	0,006	
	0,009	
Фитовитал	5	Полив сеянцев 0,2%-ной рабочей жидкостью в фазу распускания листьев, далее – с интервалом 20 сут
	10	
	15	
Экосил	1,5	Полив сеянцев 0,04% рабочей жидкостью в фазу распускания листьев, далее – с интервалом 20 сут
	2,0	
	2,5	

Также для каждого древесного вида был оставлен контрольный вариант, на котором не выполнялась обработка стимуляторами роста.

В конце вегетационного сезона были проведены измерения высоты сеянцев лиственных пород с закрытой корневой системой и сеянцев с открытой корневой системой, выращенных в условиях закрытого грунта. Результаты измерений средних высот стволиков приведены в табл. 2–3.

На основании полученных данных можно утверждать, что применение стимуляторов оказало положительный эффект на рост стволика лиственных видов древесных растений.

При выращивании сеянцев березы повислой с закрытой корневой системой наилучший эффект имели варианты посевов, обработанные препаратом Экосил в дозе 2,0 и 2,5 мл/м² (увеличение высоты по сравнению с контролем на 57 и 65% соответственно). Несколько менее выраженный эффект на ростовые процессы сеянцев наблюдался у вариантов, обработанных препаратами Эпин-экстра и Фитовитал. При этом следует отметить, что у вариантов с использованием пониженных доз стимуляторов высота достоверно превышает показатели контроля, хотя у варианта Эпин-экстра с дозировкой 0,003 мл/м² находится на границе достоверности. У посадочного материала березы повислой, выращенного в закрытом грунте наблюдаются похожие закономерности по вариантам опыта. Однако обработка сеянцев препаратом Фитовитал оказалась менее эффективна (увеличение высоты на 12–25%) по сравнению с другим использованием Эпин-экстра (24–36%) и Экосила (18–45%). Применение повышенных доз стимуляторов не принесло значительных результатов, различия между повышенной и средней дозой внесения стимулятора недостоверны. Поэтому при использовании данных препаратов для выращи-

вания посадочного материала березы повислой рекомендуются следующие дозы внесения: Эпин-экстра – 0,006 мл/м², Фитовитал – 10 мл/м², Экосил – 2 мл/м².

Сравнивая результаты применения стимуляторов роста при выращивании сеянцев ольхи черной, можно отметить, что наибольшая эффективность использования стимуляторов роста наблюдается у посадочного материала с открытой корневой системой, выращенного в условиях закрытого грунта. Наилучшую эффективность показывает применение Экосила в дозах 2 и 2,5 мл/м² (высота 21,4 и 26,7 см соответственно) по сравнению с контрольным вариантом (14,1 см). Несколько ниже показатели у вариантов с использованием стимулятора Эпин-экстра (средняя высота 15,8–19,0 см), наименее действенным оказался препарат Фитовитал (средняя высота 14,7–16,9 см). Такие же закономерности наблюдаются у сеянцев ольхи с закрытой корневой системой, однако различия между вариантами посевов не такие достоверные, что объясняется особенностями выращивания данного вида посадочного материала, когда более сильный эффект оказывает применение удобрений в качестве подкормок. Увеличение дозировок применяемых препаратов, так же как и у березы повислой, не оказало должного эффекта на рост надземной части, за исключением варианта опыта с использованием Экосила в дозе 2,5 мл/м² в условиях закрытого грунта, где высота стволика достоверно превышает остальные варианты. При этом у сеянцев ольхи черной с закрытой корневой системой различие между дозами 2 и 2,5 мл/м² не достоверно. Полученные результаты позволяют утверждать, что экономически целесообразными являются дозировки препаратов, отмеченные при выращивании сеянцев березы повислой.

Таблица 2

**Влияние обработки стимуляторами на рост сеянцев лиственных пород
с закрытой корневой системой**

Применяемый стимулятор и доза внесения, мл/м ²	Средняя высота стволика сеянцев по породам, см					
	береза повислая	ольха черная	ясень обыкновенный	дуб черешчатый	липа мелколистная	клен остролистный
Эпин-экстра, 0,003	23,6 ± 0,13	19,1 ± 0,26	17,9 ± 0,32	21,3 ± 0,28	12,1 ± 0,28	13,1 ± 0,16
Эпин-экстра, 0,006	28,4 ± 0,18	22,6 ± 0,20	19,7 ± 0,24	25,6 ± 0,26	16,1 ± 0,27	18,6 ± 0,30
Эпин-экстра, 0,009	29,3 ± 0,16	23,3 ± 0,28	20,1 ± 0,22	26,1 ± 0,26	17,2 ± 0,26	18,7 ± 0,29
Фитовитал, 5	24,7 ± 0,28	18,6 ± 0,22	18,0 ± 0,26	21,3 ± 0,28	12,8 ± 0,28	16,7 ± 0,26
Фитовитал, 10	26,9 ± 0,25	20,8 ± 0,24	20,4 ± 0,24	24,8 ± 0,26	18,1 ± 0,27	22,5 ± 0,35
Фитовитал, 15	27,0 ± 0,24	21,5 ± 0,32	21,5 ± 0,26	24,9 ± 0,30	18,8 ± 0,20	23,1 ± 0,32
Экосил, 1,5	24,3 ± 0,16	20,2 ± 0,23	18,0 ± 0,30	22,5 ± 0,32	13,1 ± 0,24	12,9 ± 0,24
Экосил, 2,0	32,1 ± 0,30	24,7 ± 0,31	21,6 ± 0,24	27,2 ± 0,26	18,4 ± 0,26	19,6 ± 0,26
Экосил, 2,5	33,7 ± 0,22	25,3 ± 0,29	22,3 ± 0,28	28,3 ± 0,34	19,1 ± 0,31	20,0 ± 0,31
Контроль	20,4 ± 0,32	17,4 ± 0,24	17,5 ± 0,20	19,4 ± 0,26	11,4 ± 0,16	12,1 ± 0,26

Таблица 3

Влияние обработки стимуляторами на рост сеянцев лиственных пород, выращенных в условиях закрытого грунта

Применяемый стимулятор и доза внесения, мл/м ²	Средняя высота стволика сеянцев по породам, см					
	береза повислая	ольха черная	ясень обыкновенный	дуб черешчатый	липа мелколистная	клен остролистный
Эпин-экстра, 0,003	19,1 ± 0,12	15,8 ± 0,26	12,8 ± 0,26	17,1 ± 0,24	12,0 ± 0,29	12,9 ± 0,24
Эпин-экстра, 0,006	20,3 ± 0,11	18,5 ± 0,30	13,4 ± 0,23	20,0 ± 0,32	14,3 ± 0,25	16,2 ± 0,26
Эпин-экстра, 0,009	21,0 ± 0,20	19,0 ± 0,24	13,5 ± 0,28	21,1 ± 0,30	15,0 ± 0,31	16,7 ± 0,26
Фитовитал, 5	17,3 ± 0,15	14,7 ± 0,26	14,2 ± 0,28	16,2 ± 0,24	12,1 ± 0,29	13,3 ± 0,24
Фитовитал, 10	18,7 ± 0,20	16,2 ± 0,27	15,5 ± 0,16	18,5 ± 0,24	16,6 ± 0,24	18,3 ± 0,26
Фитовитал, 15	19,2 ± 0,20	16,9 ± 0,24	15,5 ± 0,21	19,2 ± 0,32	17,0 ± 0,34	18,8 ± 0,30
Экосил, 1,5	18,2 ± 0,18	18,2 ± 0,22	15,1 ± 0,26	16,7 ± 0,28	11,9 ± 0,18	12,5 ± 0,22
Экосил, 2,0	22,6 ± 0,24	21,4 ± 0,32	17,2 ± 0,26	22,4 ± 0,30	16,5 ± 0,24	19,4 ± 0,24
Экосил, 2,5	22,4 ± 0,20	26,7 ± 0,26	17,7 ± 0,24	22,8 ± 0,30	17,2 ± 0,25	20,2 ± 0,32
Контроль	15,4 ± 0,24	14,1 ± 0,19	12,7 ± 0,20	15,4 ± 0,24	10,1 ± 0,16	10,0 ± 0,20

Анализируя результаты применения стимуляторов роста при выращивании однолетних сеянцев ясеня обыкновенного можно отметить следующее: применение стимулятора Эпин-экстра в дозировке 0,003 мл/м² не оказало положительного эффекта на увеличение высоты стволика как у посадочного материала с закрытой, так и с открытой корневой системой, выращенного в условиях закрытого грунта (различия между вариантами не достоверны). В остальных вариантах опытных посевов высота надземной части превышает показатели контроля на 5–39% для сеянцев с открытой корневой системой, выращенных в условиях закрытого грунта, и на 12–27% для сеянцев с закрытой корневой системой. Наилучшее влияние на рост посадочного материала оказали стимуляторы Фитовитал и Экосил, у Эпин-экстра показатели эффективности несколько ниже. Для обработки рекомендуется использовать следующие дозировки: Эпин-экстра – 0,006 мл/м², Фитовитал – 10 мл/м², Экосил – 2 мл/м².

Среди исследуемых препаратов при выращивании дуба черешчатого лучшее влияние на рост сеянцев в высоту оказал препарат Экосил (повышение интенсивности роста на 8–48% по сравнению с контролем у сеянцев с открытой корневой системой в условиях закрытого грунта и на 16–45% у сеянцев с закрытой корневой системой). Остальные препараты в равной степени оказали положительное влияние на рост молодых растений (Эпин-экстра – увеличение высоты по сравнению с контролем на 10–35%, Фитовитал – на 10–28%). Различия между вариантами опытных посевов, выращенных с применением препарата Эпин-экстра в дозировках 0,003 и 0,006 мл/м², Фитовитал – 10 и 15 мл/м², Экосил – 2,0 и 2,5 мл/м², не достоверны. Увеличение дозировок будет лишь приводить к увеличению расхода данных

веществ и снижению экономической эффективности.

При выращивании липы наилучшие показатели продемонстрировали варианты опытных посевов с использованием препаратов Фитовитал и Экосил (увеличение интенсивности роста по сравнению с контролем в среднем на 18–70% в зависимости от дозы внесения препарата). Несколько ниже показатели у вариантов с использованием стимулятора Эпин-экстра (6–50%). Как и для предыдущих древесных видов, увеличение дозировок препаратов не имеет должного эффекта. Однако следует отметить, что липа мелколистная продемонстрировала высокую чувствительность к применяемым стимуляторам роста, что имеет высокий экономический эффект.

Анализируя эффективность использования стимуляторов при выращивании клена остролистного, следует отметить высокую эффективность использования стимуляторов Фитовитал и Экосил. Опытные посевы в отдельных случаях демонстрируют увеличение высоты стволика у однолетнего сеянца практически в 2 раза. При этом для посадочного материала с закрытой корневой системой лучшие показатели демонстрирует применение Фитовитала, а для посадочного материала с открытой корневой системой в условиях закрытого грунта – Экосил.

Заключение. Использование стимуляторов роста при выращивании посадочного материала лиственных древесных видов позволяет увеличить прирост сеянцев в высоту. В целях усиления роста посадочного материала березы повислой, ольхи черной и дуба черешчатого следует использовать стимулятор Экосил с дозой внесения 2 мл/м². В качестве альтернативы можно применять Эпин-экстра в дозировке 0,006 мл/м² или Фитовитал в дозировке 10 мл/м².

При выращивании сеянцев ясеня обыкновенного, липы мелколистной и клена остролистного для усиления интенсивности ростовых процессов рекомендуется использовать Фитовитал в дозе 10 мл/м² или Экосил в дозе 2 мл/м², в качестве альтернативы можно применять Эпин-экстра в дозировке 0,006 мл/м².

Обработку сеянцев стимуляторами следует начинать при наступлении у растений фазы распускания листьев, последующие обработки необходимо проводить в течение вегетационного сезона с интервалом между ними 20 сут. Обработку сеянцев препаратом Экосил рекомендуется проводить путем полива рабочей жидкостью с концен-

трацией раствора 0,04%, обработку препаратом Фитовитал – путем полива сеянцев рабочей жидкостью с концентрацией раствора 0,2%, обработку препаратом Эпин-экстра – путем опрыскивания сеянцев 0,01% рабочим раствором.

Наибольшее влияние на рост посадочного материала исследуемые стимуляторы оказали на липу мелколистную и клен остролистный. По сравнению с контролем превышение роста сеянцев по высоте этих пород составило более 60% при оптимальной дозировке. Поэтому данные виды являются наиболее перспективными для использования стимуляторов роста при выращивании сеянцев основных лиственных пород.

Список литературы

1. Острошенко В. Ю. История изучения и применения стимуляторов (регуляторов) роста в лесном хозяйстве // *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: сб. тр. по материалам V Междунар. науч.-практ. конф., Хабаровск, 4 мая 2016 г.* Хабаровск, 2016. С. 81–84.
2. Острошенко В. Ю. Применение стимуляторов роста в повышении экологической роли дальневосточных лесов // *Философия современного природопользования в бассейне реки Амур: сб. докл. междунар. экол. семинара, Хабаровск, 6–8 мая 2015 г.* Хабаровск, 2015. С. 120–124.
3. Чайлахян М. Х. Регуляторы роста в жизни растений и в практике сельского хозяйства // *Вестн. АН СССР.* 1982. № 1. С. 11–26.
4. Григорьева С. О., Барабаева Т. А. Исследование семян лиственных пород, продуцируемых в условиях Красноярск // *Молодые ученые в решении актуальных проблем науки: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Красноярск, 25–26 апр. 2019 г., Красноярск, 2019.* С. 33–35.
5. Олупкина И. А., Петрик В. В., Васильева Н. Н. Оценка качества семян лиственных пород в условиях Севера // *Междунар. студ. науч. вест.* URL: <https://eduherald.ru/pdf/2017/3/17241.pdf> (дата обращения: 20.02.2025).
6. Григорьева С. О., Шестак К. В. Изучение качества семенного сырья древесных видов в городских насаждениях // *Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений.* 2019. Т. 22. С. 45–48.
7. Способ получения биостимулятора: пат. RU 2014782 C1 / А. А. Чуйко, Н. П. Галаган, В. М. Огенко, В. И. Богомаз, В. В. Прокопенко, А. С. Кузема, Н. В. Коваленко. Оpubл. 30.06.94.
8. Вакуленко В. В. Регуляторы роста // *Защита и карантин растений.* 2004. № 1. С. 24–26.
9. Никелл Л. Регуляторы роста растений (применение в сельском хозяйстве). М.: Колос, 1984. 190 с.
10. Горбылева Е. Л., Боровский Г. Б. Биостимуляторы роста и устойчивости растений терпеноидной природы и другие биологически активные соединения, полученные из хвойных пород // *Известия вузов. Прикладная химия и биотехнология.* 2018. Т. 8, № 4 (27). С. 32–41.
11. Абдраков Б. К., Кашкынбаева Л. Б., Толтаева Б. С. О физико-химической модели экологически чистых биостимуляторов роста растений // *Наука, образование и культура.* 2020. № 5 (49). С. 5–9.
12. Биостимуляция роста и развития растений / И. И. Концевая [и др.] // *Охраняемые природные территории и объекты Белорусского Поозерья: современное состояние, перспективы развития: материалы III Междунар. науч. конф., Витебск, 16–17 дек. 2009 г.* Витебск, 2009. С. 123–125.
13. Вакуленко В. В. Применение регуляторов роста растений при выращивании древесных и декоративных культур // *Озеленение и питомники.* 2012. № 1. С. 29–32.
14. Регулятор роста растений Фитовитал // *Мой любимый сад: интернет-магазин.* URL: [https://cvetbel.by/o-fitovitale#:~:text=\(дата обращения: 20.02.2025\)](https://cvetbel.by/o-fitovitale#:~:text=(дата обращения: 20.02.2025)).
15. Регулятор роста растений Экосил™ 40 мл // *Экосил – сила природы.* URL: <https://ecosil.by/regulator-rosta-rastenij-jekosil-40mm> (дата обращения: 20.02.2025).
16. Субстраты торфяно-перлитные. Технические условия: ТУ BY 100061961.002–2015. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2015. 12 с.
17. Рекомендации по выращиванию посадочного материала хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой: утв. Приказом М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 03.04.2023, № 69. Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2023. 26 с.

References

1. Ostroshenko V. Ju. History of the study and application of growth stimulants (regulators) in forestry. *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur: sbornik trudov po materialam V mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Philosophy of modern nature management in the Amur River basin: collection of papers based on the materials of the V international scientific and practical conference]. Khabarovsk, 2016, pp. 81–84 (In Russian).
2. Ostroshenko V. Ju. The use of growth stimulants in increasing the ecological role of Far Eastern forests. *Filosofiya sovremennogo prirodopol'zovaniya v bassejne reki Amur: sbornik dokladov mezhdunarodnogo ekologicheskogo seminara* [Philosophy of modern nature management in the Amur River basin: collection of reports from the international environmental seminar]. Khabarovsk, 2015, pp. 120–124 (In Russian).
3. Chajlahjan M. H. Growth regulators in plant life and agricultural practice. *Vestnik AN SSSR* [Bulletin of the USSR Academy of Sciences], 1982, no. 1, pp. 11–26 (In Russian).
4. Grigor'eva S. O., Barabaeva T. A. Study of deciduous seeds produced in Krasnoyarsk. *Molodyye uchenyye v reshenii aktual'nykh problem nauki: sbornik materialov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Young scientists in solving urgent problems of science: collection of materials of the All-Russian scientific and practical conference of students, postgraduates and young scientists]. Krasnoyarsk, 2019, pp. 33–35 (In Russian).
5. Olupkina I. A., Petrik V. V., Vasiljeva N. N. Evaluation of the quality of deciduous seeds in the conditions of the North. Available at: <https://eduherald.ru/pdf/2017/3/17241.pdf> (accessed 20.02.2025) (In Russian).
6. Grigor'eva S. O., Shestak K. V. Study of the quality of seed raw materials of tree species in urban plantations. *Plodovodstvo, semenovodstvo, introduktsiya drevesnykh rasteniy* [Fruit growing, seed production, introduction of woody plants], 2019, vol. 22, pp. 45–48 (In Russian).
7. Chujko A. A., Galagan N. P., Ogenko V. M., Bogomaz V. I., Prokopenko V. V., Kuzema A. S., Kovalenko N. V. Method for obtaining a biostimulant. Patent RU 2014782 C1, 1994 (In Russian).
8. Vakulenko V. V. Growth regulators. *Zashchita i karantin rasteniy* [Plant protection and quarantine], 2004, no. 1, pp. 24–26 (In Russian).
9. Nikell L. *Regulatory rosta rasteniy (primeneniye v sel'skom khozyaystve)* [Plant growth regulators (use in agriculture)]. Moscow, Kolos Publ., 1984. 190 p. (In Russian).
10. Gorbyleva E. L., Borovskij G. B. Biostimulants of plant growth and resistance of terpenoid nature and other biologically active compounds obtained from coniferous trees. *Izvestiya vuzov. Prikladnaya khimiya i biotekhnologiya* [News of universities. Applied chemistry and biotechnology], 2018, vol. 8, no. 4 (27), pp. 32–41 (In Russian).
11. Abdrakov B. K., Kashkynbaeva L. B., Toltaeva B. S. On the physicochemical model of environmentally friendly plant growth biostimulants. *Nauka, obrazovaniye i kul'tura* [Science, education and culture], 2020, no. 5 (49), pp. 5–9 (In Russian).
12. Koncevaja I. I., Tolkacheva T. A., Denisova S. I., Chirkin A. A. Biostimulation of plant growth and development. *Okhranyayemye prirodnyye territorii i ob'yekty Belorusskogo Poozer'ya: sovremennoye sostoyaniye, perspektivy razvitiya: materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Protected natural areas and objects of the Belarusian Poozerie: current state, development prospects: materials of the III International scientific conference]. Vitebsk, 2009, pp. 123–125 (In Russian).
13. Vakulenko V. V. Application of plant growth regulators in growing woody and ornamental crops. *Ozeleneniye i pitomniki* [Landscaping and nurseries], 2012, no. 1, pp. 29–32 (In Russian).
14. Plant growth regulator Fitovital. Available at: <https://cvetbel.by/o-fitovitale#:~:text=> (accessed 20.02.2025) (In Russian).
15. Plant growth regulator Ecosiltm 40 ml. Available at: <https://ecosil.by/reguljator-rosta-rastenij-jekosil-40mm> (accessed 20.02.2025) (In Russian).
16. TU BY 100061961.002–2015. Peat-perlite substrates. Technical conditions. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2015. 12 p. (In Russian).
17. Recommendations for growing planting material of coniferous and deciduous species with a closed root system. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2023. 26 p. (In Russian).

Информация об авторах

Селищева Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: selishcheva@belstu.by

Граник Александр Михайлович – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: granik@belstu.by

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yurenja@belstu.by

Носников Даниил Вадимович – помощник лесничего Волмянского лесничества. Минский лесхоз (ул. Багратиона, 70, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: daniil2002nos@gmail.com

Information about the authors

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: selishcheva@belstu.by

Granik Aleksandr Mikhaylovich – Master of Agriculture, Assistant Lecturer, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: granik@belstu.by

Yurenja Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yurenja@belstu.by

Nosnikov Daniil Vadimovich – assistant forester of the Volmyansky forest district. Minsk forestry (70 Bagrationa str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: daniil2002nos@gmail.com

Поступила 13.03.2025

УДК 630*232.329.9

В. В. Носников, О. А. Селищева, Т. Д. Севрук, С. И. Синявская
Белорусский государственный технологический университет

ОПЫТ ПРЕДВАРИТЕЛЬНОГО ВЫРАЩИВАНИЯ ПОСАДОЧНОГО МАТЕРИАЛА ХВОЙНЫХ ПОРОД С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ В ПОЛНОСТЬЮ КОНТРОЛИРУЕМЫХ УСЛОВИЯХ

Современные технологии предусматривают поэтапное выращивание сеянцев с закрытой корневой системой сначала в теплице, затем на полях доращивания, однако современные тенденции развития технологии получения контейнерных сеянцев заключаются в использовании полностью контролируемых условий, в которых можно круглогодично выращивать посадочный материал. Нами был поставлен опыт предварительного выращивания сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской в полностью контролируемых условиях с использованием светодиодного освещения в кассетах Plantek 100F, Plantek 121F и QuickPot Q324, отличающихся различным объемом ячейки. Наиболее интенсивный рост гипокотильной части для обеих пород в полностью контролируемых условиях был характерен для варианта с наименьшим объемом ячейки. После выноса в условия открытого грунта наибольшими значениями надземной и подземной частей характеризовались растения, выращенные в кассетах Plantek 100F, Plantek 121F. В результате к концу вегетационного периода был получен стандартный посадочный материал у сосны обыкновенной в вариантах с кассетами Plantek 100F и Plantek 121F, а у ели европейской – Plantek 121F. Пересадка сеянцев с кассеты QuickPot Q324 в кассету Plantek 64FD и Plantek 81F позволила увеличить размерные показатели саженцев сосны обыкновенной в отличие от ели европейской.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, ель европейская, контейнеры, условия контролируемые, освещение светодиодное, грунт открытый, показатели биометрические.

Для цитирования: Носников В. В., Селищева О. А., Севрук Т. Д., Синявская С. И. Опыт предварительного выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в полностью контролируемых условиях // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 61–68.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-7.

V. V. Nosnikov, O. A. Selishcheva, T. D. Sevruck, S. I. Sinyavskaya
Belarusian State Technological University

EXPERIENCE OF PRELIMINARY GROWING OF CONTAINER PLANTING MATERIAL OF CONIFEROUS IN FULLY CONTROLLED CONDITIONS

Modern technologies provide for the gradual cultivation of container seedlings, first in a greenhouse, then in growing fields, but modern trends in the development of container seedling technology consist in the use of fully controlled conditions in which planting material can be grown year-round. We have conducted an experiment in preliminary cultivation of Scots pine and Norway spruce seedlings in fully controlled conditions using LED lighting in Plantek 100F, Plantek 121F and QuickPot Q324 cassettes, which differ in cell volume. The most intensive growth of the hypocotyl part for both species in fully controlled conditions was characteristic of the variant with the smallest cell volume. After transfer to open ground conditions, the plants grown in Plantek 100F and Plantek 121F cassettes were characterized by the highest values of the aboveground and underground parts. As a result, by the end of the vegetation period, standard planting material was obtained for Scots pine in the variants with Plantek 100F and Plantek 121F cassettes, and for Norway spruce – Plantek 121F. Transplanting seedlings from the QuickPot Q324 cassette to the Plantek 64FD and Plantek 81F cassette allowed increasing the size indicators of Scots pine seedlings in contrast to Norway spruce.

Keywords: Scots pine, Norway spruce, containers, controlled conditions, LED lighting, open ground conditions, biometric parameters.

For citation: Nosnikov V. V., Selishcheva O. A., Sevruck T. D., Sinyavskaya S. I. Experience of preliminary growing of container planting material of coniferous in fully controlled conditions. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 61–68 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-7.

Введение. Использование посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС) находит все большее применение в лесохозяйственной практике воспроизводства лесов и лесоразведения Беларуси. По данным Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь, объемы выращивания такого посадочного материала увеличились с 14,1 млн шт. в 2014 г. до 35,4 млн шт. в 2024 г., а доля участия создаваемых лесных культур с использованием посадочного материала с ЗКС за этот период увеличилась с 10,2 до 22,3%.

Современные технологии предусматривают поэтапное выращивание сеянцев с ЗКС сначала в теплице (закрытый грунт), затем на полях доращивания [1, 2]. Этап выращивания в теплице является наиболее дорогим, поэтому тенденции развития технологии контейнерных сеянцев заключаются в использовании полностью контролируемых условий, в которых можно круглогодично выращивать посадочный материал [3–5]. Особую роль в данном случае отводят освещению [6, 7].

Основными характеристиками освещения, используемого для выращивания лесных растений в контролируемых условиях, является его интенсивность, спектральный состав и продолжительность фотопериода.

Растения способны распознавать интенсивность светового потока, его продолжительность, спектральный состав и плоскость поляризации, что делает свет одним из элементов сигнальной системы физиологических процессов [8].

Интенсивность освещения оказывает большое влияние на эффективность фотосинтеза. При увеличении освещенности фотосинтез будет проходить интенсивнее до момента наступления точки насыщения светом, после которой при увеличении интенсивности освещения фотосинтез будет возрастать незначительно [9]. Соответственно при выращивании необходимо поддерживать такой уровень освещения, при котором наблюдался максимальный уровень достижения заданных параметров растений при минимальных затратах на искусственное освещение.

Определенные участки спектра в значительной мере влияют на рост и развитие растений. Основными являются синий, красный и дальний красный диапазоны [10–12].

Продолжительность фотопериода является ключевым параметром, обуславливающим не только процессы формирования верхушечных почек [13], но и особенности формирования сеянцев хвойных пород, выращиваемых в контролируемых условиях [14].

Основой технологии выращивания посадочного материала с ЗКС является использование кассет с ячейками определенного объема, которые ограничивают объем находящегося в них субстрата, тем самым влияя на размер осваиваемого корнями пространства и количество доступных для растения элементов питания.

Существует прямая связь между техническими характеристиками ячеек в составе кассет и размерными показателями посадочного материала [15]. Наиболее значимыми являются объем ячейки и ее высота. При увеличении объема ячейки повышается возможность растения при отсутствии других лимитирующих факторов сформировать более развитую корневую систему, обладающую корнями нескольких порядков, что в свою очередь положительно сказывается на дальнейшей приживаемости посадочного материала при посадке на лесокультурной площади [16].

Однако особенности выращивания в полностью контролируемых условиях с использованием светодиодного освещения могут иметь свои отличия от получения лесных растений в условиях теплиц и открытого грунта.

Основная часть. Объектом исследований является посадочный материал сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris*) и ели европейской (*Picea abies*), предварительно выращенный с использованием светодиодного освещения в кассетах с ячейками различного объема и помещенный для доращивания в открытый грунт.

Высев осуществлялся 19 апреля 2024 г. в кассеты Plantek 100F, Plantek 121F и QuickPot Q324. Характеристики данных кассет приведены в табл. 1.

Кассета Plantek 100F в настоящий момент используется для получения однолетних сеянцев сосны обыкновенной с закрытой корневой системой, Plantek 121F потенциально может использоваться для этой цели. Кроме того, эти два типа кассет могут применяться для получения саженцев ели европейской с улучшенной корневой системой.

Таблица 1

Характеристики используемых кассет

Модель	Внешние габариты кассеты, см	Размер ячейки, см	Количество ячеек, шт.	Объем ячейки, см ³	Количество сеянцев на 1 м ²
Plantek 100F	38,5×38,5×9,0	3,7×3,7×9,0	100	81	676
Plantek 121F	38,5×38,5×7,3	3,3×3,3×7,3	121	50	816
QuickPot Q324	40,2×40,2×4,5	1,9×1,9×4,5	324	11	1944

Кассета QuickPot Q324 является основой технологии выращивания саженцев с закрытой корневой системой, предусматривающей последующую пересадку выращенных растений в кассеты с ячейкой большего объема.

В эксперименте использовался субстрат, приготовленный согласно ТУ ВУ 100061961.002–2015 «Субстраты торфяно-перлитные». Заполнение кассет происходило вручную с контролем уплотнения субстрата в ячейке. Обеспечивалась плотность субстрата в кассете в диапазоне 0,12–0,14 г/см³.

Семена сосны обыкновенной и ели европейской были извлечены из хранилища в Республиканском лесном селекционно-семеноводческом центре и имели первый класс качества. Для предотвращения развития грибных заболеваний они были предварительно замочены в розовом растворе перманганата калия на 30 мин.

В каждую ячейку вносилось по 2 семени для обеспечения равномерности появления всхожести. В последующем в фазе разворачивания семядольной хвои осуществлялось удаление лишних всходов с оставлением только одного в каждой ячейке.

С момента формирования настоящей хвои осуществлялась подкормка растений 0,5%-ным раствором удобрения Kristalon особый, в состав которого входит: азот общий (N) – 18,00%, в том числе нитратный (NO₃) – 4,90%, аммиачный (NH₄) – 3,30%, амидный (NH₂) – 9,80%, а также P₂O₅ – 18,00%, K₂O – 18,00%, Mg – 1,90%, S – 2,00%, B – 0,025%, Cu – 0,01%, Fe – 0,07%, Mn – 0,04%, Mo – 0,004%, Zn – 0,025%.

Подкормка и полив проводились методом погружения кассеты, что обеспечивало равномерное поступление воды и раствора удобрения к каждой ячейке. Контроль необходимости полива осуществлялся весовым методом.

Для создания необходимого уровня освещения в боксе использовались светодиодные светильники марки LED FARM 80.1.X производства РНПУП «ЦСиОТ НАН Беларуси». Данные

светильники имеют световой поток 9000 лм, мощность потока излучения 30 Вт, интенсивность потока фотонов 150 мкмоль/с и характеризуются спектром, представленным на рис. 1.

При проведении эксперимента использовалась интенсивность освещенности 100 ± 10 мкмоль/м²/с⁻¹ фотопериодом 17 ч, которая показала одно из наилучших влияний на рост и развитие посадочного материала в наших предыдущих исследованиях [14]. Поскольку кассеты имели различную высоту, они выставлялись так, чтобы верхний край всех кассет был на одном уровне. Оценка общего уровня освещенности, а также спектральных характеристик светодиодных источников света проводилась с использованием спектрометра PAR PG200N. Для обеспечения равномерности освещения кассеты раз в 2 дня поворачивались вокруг своей оси на 90° и менялись местами.

Для оценки дальнейшего роста и развития в условиях открытого грунта, как того предусматривает технология выращивания посадочного материала с закрытой корневой системой, кассеты 10 июля 2024 г. были вынесены на полигон для доращивания и размещены на подставках на высоте 15 см над уровнем земли для обеспечения воздушной подрезки корневых систем.

Каждые 2 недели сеянцы подкармливались 0,5%-ным раствором Kristalon особый. Во второй половине сентября с целью стимулирования одревеснения побегов и закладки верхушечной почки подкормки проводились раствором Kristalon коричневый.

Сравнение сроков наступления начальных фаз развития проводили по 5 пробам из 20 семян и не менее чем из 10 всходов. Для определения средних высоты надземной части и диаметра стволика у корневой шейки проводили обмер не менее 50 растений. Для определения масс надземных и подземных частей, а также параметров корневой системы отбиралось по каждому варианту 5 сеянцев, средних по высоте и диаметру.

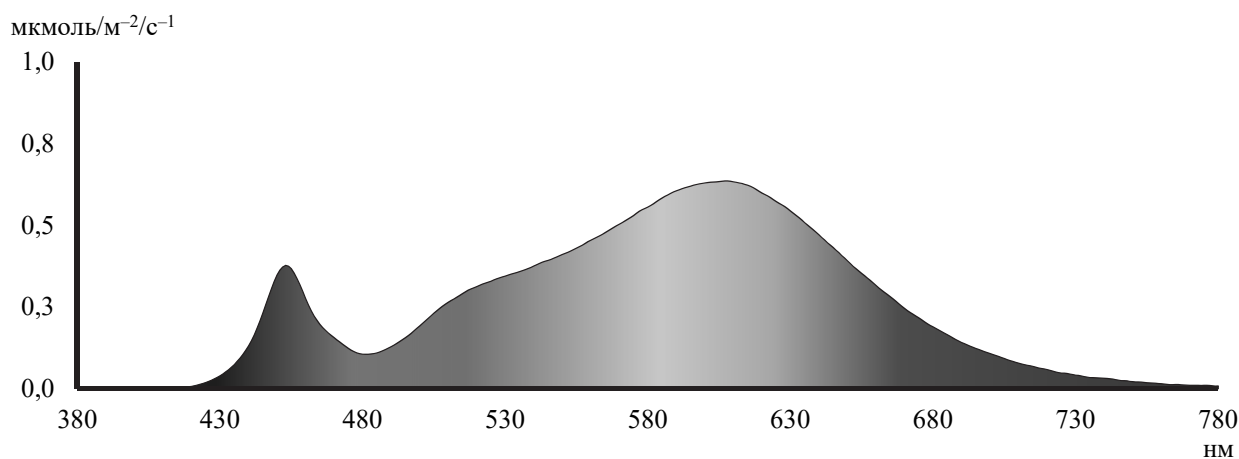


Рис. 1. Спектр излучения светильника LED FARM 80.1

Динамика всхожести семян сосны обыкновенной представлена на рис. 2.

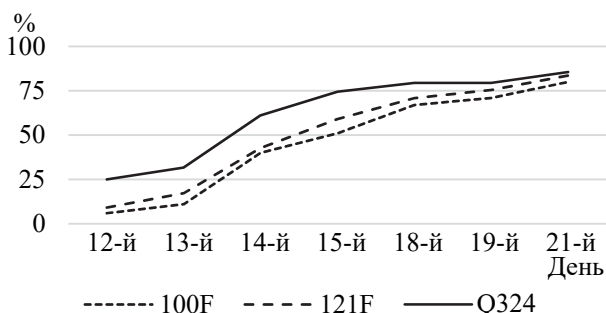


Рис. 2. Динамика всхожести семян сосны обыкновенной в зависимости от размера ячейки

Прорастание семян проходило при температуре 19–20°C, поэтому данный процесс оказался растянут по времени. Наилучшие показатели всхожести были отмечены в варианте с ячейкой с наименьшим объемом (Q324). В первый день учета количество взойшедших семян было в 5 раз больше, чем в варианте с наихудшим результатом (100F). На 21-й день учета разница значительно снизилась, однако достоверная разница сохранялась на протяжении всего периода прорастания. Между вариантами с кассетами 100F и 121F достоверной разницы не наблюдалось.

Динамика всхожести семян ели европейской приведена на рис. 3. Наилучшим значением всхожести обладал, в отличие от сосны обыкновенной, вариант с наиболее крупной ячейкой. В то же время на начальном этапе вариант с наименьшей ячейкой приближался к лучшему варианту и достоверно отличался от варианта с кассетой 121F. В дальнейшем достоверной разницы не наблюдалось.

Открытие семядолей у сосны обыкновенной наблюдалось начиная с 25-го дня учета у первого и второго вариантов, однако на 27-й день учета максимальное значение было характерно

для варианта с наименьшей ячейкой (0,80, 1,27 и 2,64 для первого, второго и третьего варианта соответственно).

У ели европейской открытие семядолей также наблюдалось с 25-го дня учета. Максимальное значение было характерно для варианта с самой крупной ячейкой, минимальное значение – для варианта с минимальной ячейкой. Появление почки зачаточного побега и начала разветвления настоящей хвои имело такие же особенности.

Таким образом, сроки наступления последующих фаз тесно связаны с особенностями прорастания семян как у сосны обыкновенной, так и у ели европейской.

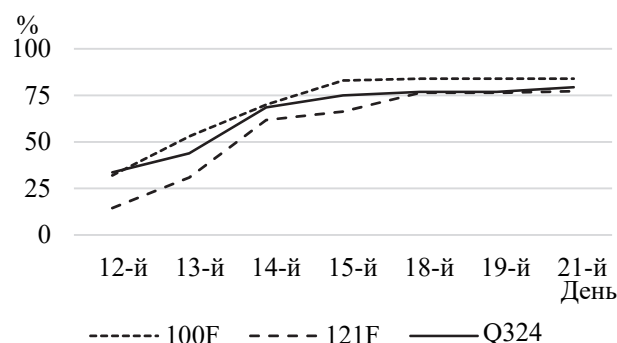


Рис. 3. Динамика всхожести семян ели европейской в зависимости от размера ячейки

При анализе динамики роста гипокотильной части растения не выявлено существенной разницы для вариантов 100F и 121F как для сосны обыкновенной, так и для ели европейской. В то же время у варианта с наименьшим объемом ячейки (Q324) высота гипокотили была достоверно выше на протяжении всего периода выращивания в контролируемых условиях.

Характеристика сеянцев по вариантам опыта на момент выноса кассет для доращивания в условиях открытого грунта представлена в табл. 2.

Таблица 2

Характеристики надземной и подземной частей сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской на момент выноса в условия открытого грунта

Вариант	Масса надземной части, г	Масса подземной части, г	Соотношение надземной и подземной частей	Среднее количество корней второго порядка, шт.	Среднее количество корней третьего порядка, шт.
Сосна обыкновенная					
100F	0,17	0,03	5,7	5,0	0,1
121F	0,21	0,04	5,3	7,4	1,8
Q324	0,14	0,02	7,0	6,6	0,4
Ель европейская					
100F	0,23	0,06	3,8	10,0	4,0
121F	0,50	0,12	4,2	17,9	22,0
Q324	0,33	0,08	4,1	12,4	13,2

В зависимости от направления использования выращенного в контролируемых условиях посадочного материала с закрытой корневой системой могут предъявляться различные требования к размерно-качественным показателям. При использовании технологии пересадки в кассеты с большими ячейками важным является развитие корневых систем, при выращивании стандартного посадочного материала – развитие надземной части, поскольку процесс извлечения сеянца переносится на конец вегетационного сезона.

На основании данных табл. 2 кассета 121F является на начальном этапе роста оптимальной с точки зрения развития и надземной, и подземной абсолютно сухой части сеянцев как сосны обыкновенной, так и ели европейской. Этот вариант отличался большим количеством корней второго и третьего порядка. Хорошее развитие корневых систем показал также вариант с минимальным объемом ячейки.

Анализируя соотношение надземной и подземной частей, можно сделать вывод, что на начальном этапе выращивания в контролируемой среде формируется прежде всего надземная часть растений, о чем говорят коэффициенты более 3.

После выноса опытных кассет в условия открытого грунта произошло изменение динамики роста растений в высоту (рис. 4, 5). До выноса на поля дорастивания максимальной высотой обладали сеянцы как сосны обыкновенной, так

и ели европейской варианта Q324 с самой малой по объему ячейкой, поскольку размер сеянцев был незначительным и не ограничивался размером ячейки. Однако в последующем данный вариант характеризовался наименьшими значениями высоты, поскольку по мере роста подземной и надземной частей начал оказывать влияние размер кома субстрата. Варианты 100F и 121F в июле у обоих пород отличались по высоте незначительно. В августе наблюдалось превышение высот у варианта 121F.

Однако на конец вегетационного сезона у сосны обыкновенной высота сеянцев выровнялась, в то время как у ели европейской произошло достоверное увеличение высоты растений у варианта 121F.

Поскольку кассета Q324 предназначена для получения сеянцев для последующей пересадки в более крупные ячейки, после выноса в условия открытого грунта была осуществлена ручная пересадка в кассету Plantek 64FD (15.07.2024) и в кассету Plantek 81F (31.07.2024).

Результаты обмера биометрических показателей по вариантам опыта представлены в табл. 3.

Влияние размера ячейки также по разному происходит у сосны обыкновенной и ели европейской. Для вариантов 100F и 121F отсутствует разница по высоте у сосны обыкновенной, в то же время достоверно различаются диаметры, причем наименьшему из них соответствует наименьшая ячейка.

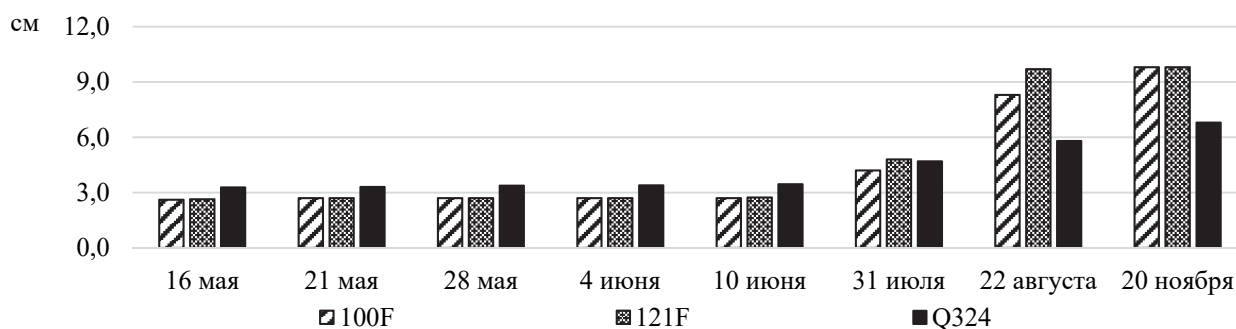


Рис. 4. Динамика высоты сеянцев сосны обыкновенной

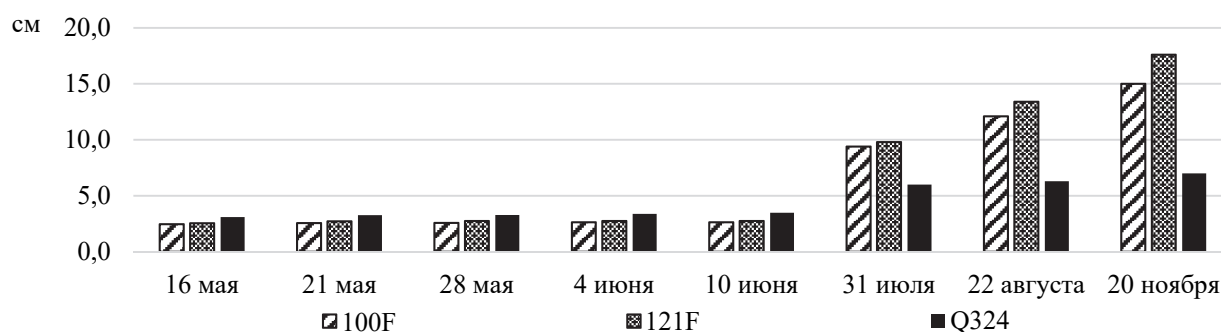


Рис. 5. Динамика высоты сеянцев ели европейской

Таблица 3

Биометрические показатели сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской по вариантам опыта

Вариант	Высота надземной части, см	Диаметр корневой шейки, мм	Масса надземной части, г	Масса подземной части, г	Соотношение надземной и подземной частей	Процент сухой массы надземной части, %
Сосна обыкновенная						
100F	9,80 ± 0,59	2,10 ± 0,10	0,95	0,30	3,20	38,0
121F	9,80 ± 0,47	1,80 ± 0,09	0,70	0,19	3,61	35,5
Q324	6,80 ± 0,29	1,90 ± 0,11	0,47	0,08	5,90	29,4
Пересадка 64FD	13,50 ± 0,77	2,53 ± 0,08	1,21	0,34	3,51	26,1
Пересадка 81F	11,50 ± 0,29	2,16 ± 0,07	0,86	0,31	2,77	33,4
Ель европейская						
100F	15,00 ± 0,75	2,60 ± 0,12	1,56	0,63	2,46	48,0
121F	17,60 ± 0,67	2,64 ± 0,11	1,50	0,42	3,60	42,7
Q324	7,00 ± 0,57	1,62 ± 0,12	0,48	0,07	6,49	30,9
Пересадка 64FD	11,90 ± 0,51	2,44 ± 0,08	0,99	0,30	3,31	24,9
Пересадка 81F	9,40 ± 0,46	1,80 ± 0,09	0,55	0,33	1,69	31,9

Вариант ели европейской, выращенный в кассете 121F, показал наилучшие значения как по высоте надземной части, так и по диаметру стволика у корневой шейки, однако по сравнению с вариантом 100F сформировалась менее развитая корневая система, которая в данном случае ограничивалась размером ячейки. Это хорошо видно по варианту с наименьшим объемом ячейки (Q324), который характеризуется не только худшими размерными показателями, но и отношением надземной части к подземной, превышающим 5. Это говорит о недостаточном развитии корневых систем, что ожидаемо, учитывая малые размеры ячейки.

По остальным вариантам к концу вегетации отношение надземной и подземной частей близко к оптимальному значению, равному 3, что может говорить о потенциальной хорошей приживаемости сеянцев при пересадке в школьное отделение или создании лесных культур.

Выращенные в кассетах 100F и 121F сеянцы сосны обыкновенной превышают показатель стандартного посадочного материала (не менее 8 см), приведенный в ТУ ВУ 600226892.001–2020 «Материал лесной посадочный хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой».

У ели европейской стандартных размеров (не менее 16 см) достигли только растения варианта 121F, однако следует учитывать, что согласно ТУ ВУ 600226892.001–2020 ель европейская должна достигать стандартных параметров за 2 года.

Процент сухой массы показывает степень одревеснения стволика и, соответственно, степень готовности к зимнему периоду. Результаты эксперимента показали, что процент сухого вещества растет одновременно с увеличением объема ячейки. Это предположительно указывает

на более раннее окончание вегетации, однако данный тезис требует дополнительного изучения, так как на процесс одревеснения побегов сильное влияние оказывает также режим увлажнения субстрата.

Пересадка сеянцев сосны обыкновенной в большие по размеру ячейки положительно сказалась на биометрических показателях посадочного материала. Эти варианты на конец вегетационного периода обладали наилучшими показателями как по высоте и диаметру стволика, так и по размеру корневой системы. Напротив, пересадка ели европейской не позволила получить сопоставимый по размерным характеристикам с вариантами 100F и 121F посадочный материал, что делает необходимым разработку режимов выращивания при использовании такой технологии.

Заключение. Результаты проведенного эксперимента показали высокую потенциальную возможность использования предварительного выращивания сеянцев сосны обыкновенной и ели европейской с закрытой корневой системой в полностью контролируемых условиях с использованием светодиодного освещения как альтернативы существующей технологии, основанной на применении теплиц.

Выращивание в течение одного вегетационного периода позволило получить стандартный посадочный материал с закрытой корневой системой сосны обыкновенной и приблизиться к размерным характеристикам стандартных двухлетних сеянцев, а в варианте с кассетой 121F и их достигнуть. Однако для получения более высокого результата необходимо адаптировать существующие агротехнические приемы под особенности предварительного выращивания сеянцев в полностью контролируемых условиях.

Данные исследования были выполнены при поддержке Министерства образования Республики Беларусь в рамках задания 2.04 (НИР 4) ГПНИ «Природные ресурсы и окружающая среда», подпрограмма «Биоразнообразие, био-

ресурсы, экология», «Оценка фотоморфологических реакций посадочного материала хвойных лесных растений на оптическое излучение светодиодных источников света в контролируемых условиях закрытого грунта»

Список литературы

1. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 1: Nursery Planning, Development, and Management / T. D. Landis [et al.]. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1995. 188 p.
2. Hassan M. K., Kataja R., Pappinen A. State-of-the art and business development of a tree seedling nursery: A guidebook on advanced forest nursery management. Joensuu: University of Eastern Finland, 2024. 180 p.
3. Use of innovative technology for the production of high-quality forest regeneration materials / A. Mattsson [et al.] // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2010. Vol. 25, no. 8. P. 3–9.
4. Mattsson A. Reforestation Challenges in Scandinavia // *Reforesta*. 2016. No. 1. P. 67–85.
5. Forest regeneration material: State of the art and a new European approach for pre-cultivated planting stock production / K. Radoglou [et al.] // *Forestry in Achieving Millennium Goals: materials of conference*, Novi Sad, Serbia, November 2008. Novi Sad, 2008. Vol. 1. P. 23–29.
6. Riikonen J., Jaana L. Use of Short-Day Treatment in the Production of Norway Spruce Mini-Plug Seedlings under Plant Factory Conditions // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2018. No. 33 (7). P. 625–32. DOI: 10.1080/02827581.2018.1492011.
7. Urban L., Restrepo-Diaz H. Influences of Abiotic Factors in Growth and Development // *Ref. Modul. Life Sci*. 2009. No. 29. P. 1330–1340.
8. Shibayev P., Pergolizzi R. The effect of circularly polarized light on the growth of plants // *International Journal of Botany*. 2011. Vol. 7. P. 113–117.
9. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 3: Atmospheric Environment / T. D. Landis [et al.]. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture Forest Service, 1990. 49 p.
10. Морфогенез ассимилирующих органов семян сосны обыкновенной и ели европейской при действии красного и синего света / А. В. Карташов [и др.] // *Вестн. Томск. гос. ун-та. Биология*. 2014. № 1 (26). С. 167–182.
11. Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra / J. Riikonen [et al.] // *Environmental and Experimental Botany*. 2016. Vol. 121. P. 112–120.
12. Носников В. В., Селищева О. А., Севрук Т. Д. Особенности прорастания и формирования проростков сосны обыкновенной и ели европейской в зависимости от спектрального состава светодидного освещения // *Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2024. Вып. 84. С. 52–62.*
13. Федотов А. Н., Жигунов А. В. Влияние длины дня на формирование верхушечных почек у однолетних контейнеризированных семян сосны обыкновенной и ели европейской // *Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад.* 2016. № 215. С. 80–91. DOI 10.21266/2079-4304.2016.215.80-91.
14. Влияние интенсивности светодидного освещения на особенности развития семян сосны и ели с закрытой корневой системой / В. В. Носников [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2023. № 2 (276). С. 36–45.
15. Мухортов Д. И., Толчин А. Э. Влияние технических характеристик пластиковых кассет на рост семян сосны обыкновенной с закрытой корневой системой // *Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика*. 2014. № 5–3 (10–3). С. 52–56.
16. Stocktype effect on field performance of Austrian pine seedlings / J. Devetaković [et al.] // *Reforesta*. 2017. No. 4. P. 21–26.

References

1. Landis T. D., Tinus R. W., McDonald S. E., Barnett J. P. The container tree nursery manual. Vol. 1: Nursery planning, development, and management. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service Publ., 1995. 188 p.
2. Hassan M. K., Kataja R., Pappinen A. State-of-the art and business development of a tree seedling nursery: A guidebook on advanced forest nursery management. Joensuu, University of Eastern Finland Publ., 2024. 180 p.
3. Mattsson A., Radoglou K., Kostopoulou P., Bellarosa R., Simeone M. C., Schirone B. Use of innovative technology for the production of high-quality forest regeneration materials. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2010, vol. 25, no. 8, pp. 3–9.
4. Mattsson A. Reforestation challenges in Scandinavia. *Reforesta*, 2016, no. 1, pp. 67–85.
5. Radoglou K., Dini-Papanastasi O., Kostopoulou P., Spyroglou G. Forest regeneration material: State of the art and a new European approach for pre-cultivated planting stock production. *Forest in Achieving Millennium Goals: materials of conference*. Novi Sad, Serbia, 2008, vol. 1, pp. 23–29.

6. Riikonen J., Luoranen J. Use of short-day treatment in the production of Norway spruce mini-plug seedlings under plant factory conditions. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2018, no. 33 (7), pp. 1–8. DOI: 10.1080/02827581.2018.1492011.
7. Urban L., Restrepo-Diaz H. Influences of abiotic factors in growth and development. *Ref. Modul. Life Sci*, 2009, no. 29, pp. 1330–1340.
8. Shibayev P., Pergolizzi R. The effect of circularly polarized light on the growth of plants. *International Journal of Botany*, 2011, vol. 7, pp. 113–117.
9. Landis T. D., Tinus R. W., McDonald S. E., Barnett J. P. The container tree nursery manual. Vol. 3: Atmospheric Environment. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service Publ., 1990. 49 p.
10. Kartashov A. V., Pashkovskij P. P., Ivanov Ju. V., Ivanova A. I., Savochkin Ju. V. Morphogenesis of assimilating organs of Scots pine and Norway spruce seedlings under the influence of red and blue light. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of Tomsk State University. Biology], 2014, no. 1 (26), pp. 167–182 (In Russian).
11. Riikonen J., Kettunen N., Gritsevich M., Hakala T., Särkkä L., Tahvonen R. Growth and development of Norway spruce and Scots pine seedlings under different light spectra. *Environmental and Experimental Botany*, 2016, vol. 121, pp. 112–120.
12. Nosnikov V. V., Selishcheva O. A., Sevrjuk T. D. Peculiarities of germination and formation of seedlings of Scots pine and Norway spruce depending on the spectral composition of LED lighting. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of forestry and silviculture: collection of scientific papers of the Forest Institute NAS of Belarus]. Gomel, 2024, issue 84, pp. 52–62 (In Russian).
13. Fedotov A. N., Zhigunov A. V. The influence of day length on the formation of apical buds in one-year containerized seedlings of Scots pine and Norway spruce. *Izvestiya Sankt-Peterburgskoy lesotekhnicheskoy akademii* [News of the Saint Petersburg Forestry Academy], 2016, no. 215, pp. 80–91. DOI: 10.21266/2079-4304.2016.215.80-91 (In Russian).
14. Nosnikov V. V., Bosovec M. M., Selishcheva O. A., Barkun M. I. The influence of LED lighting intensity on the development characteristics of pine and spruce seedlings with a closed root system. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (276), pp. 36–45 (In Russian).
15. Muhortov D. I., Tolchin A. E. The influence of technical characteristics of plastic cassettes on the growth of Scots pine seedlings with a closed root system. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research in the 21st century: theory and practice], series 1, 2014, no. 5–3 (10–3), pp. 52–56 (In Russian).
16. Devetaković J., Maksimović Z., Ivanović B., Baković Z., Ivetić V. Stocktype effect on field performance of Austrian pine seedlings. *Reforesta*, 2017, no. 4, pp. 21–26.

Информация об авторах

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Селищева Оксана Александровна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Сеvrjuk Татьяна Дмитриевна – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: tanjasevrjuk292@gmail.com

Синявская Софья Ивановна – студентка. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

Information about the authors

Nosnikov Vadim Valer'evich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Selishcheva Oksana Aleksandrovna – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: oksana_selishchava@mail.ru

Sevrjuk Tatyana Dmitrievna – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: tanjasevrjuk292@gmail.com

Sinyavskaya Sofya Ivanovna – student. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 14.03.2025

УДК 630*232.329.6

Е. В. Татун, В. В. Носников

Белорусский государственный технологический университет

ПРИМЕНЕНИЕ ПРОЛОНГИРОВАННЫХ УДОБРЕНИЙ ПРИ ВЫРАЩИВАНИИ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ С ЗАКРЫТОЙ КОРНЕВОЙ СИСТЕМОЙ

Целью исследования было установить степень влияния на биометрические показатели однолетних сеянцев березы повислой с закрытой корневой системой (ЗКС) удобрений пролонгированного действия, используемых в процессе приготовления субстрата.

В результате было установлено, что биометрические показатели сеянцев, завершивших вегетацию и полученных на субстрате с добавлением удобрения Basacote Plus 6M в количестве 1,5 кг/м³, превышали на 41% в высоте стволика, на 14% в диаметре стволика у корневой шейки, на 35% в массе в абсолютно сухом состоянии эти показатели для сеянцев, полученных на субстрате с добавлением того же удобрения в количестве 1,0 кг/м³. Применение удобрения Basacote Plus 6M в дозе 1,5–2,0 кг/м³ достаточно для получения стандартного посадочного материала березы повислой. Увеличение дозы с 1,5 до 2,0 кг/м³ привело к 14%-ному увеличению диаметра стволика, но не повлияло на высоту и массу сеянцев в абсолютно сухом состоянии.

Достоверных различий в биометрических показателях между сеянцами, полученными при основной заправке субстрата удобрением PG mix (1,0 кг/м³) с подкормками и Basacote Plus 6M (1,5 кг/м³) без подкормок не выявлено, при этом стоимость минеральных удобрений в первом случае была на 54% ниже.

Выращенные на субстратах с Basacote Plus 6M и Osmocote Exact Mini 5–6M (по 1,0 кг/м³) сеянцы березы повислой были меньше по высоте стволика на 46 и 34%, по диаметру стволика у корневой шейки на 17 и 9%, по абсолютно сухой массе на 42 и 38%, чем сеянцы, полученные с использованием PG mix (1,0 кг/м³) с подкормками. Сеянцы на субстрате с Osmocote Exact Mini 5–6M показали наибольший прирост стволика на начальных этапах роста, что делает это удобрение наиболее перспективным при приготовлении субстратов. Основная заправка субстрата вышеуказанными удобрениями пролонгированного действия в количестве 1,0 кг/м³ может использоваться для получения стандартного посадочного материала березы с учетом увеличения дозы этих удобрений, смешивания с другими удобрениями или внесения подкормок с третьей декады июля, когда снижается интенсивность роста из-за недостатка макроэлементов в субстрате.

Ключевые слова: береза повислая, сеянцы, закрытая корневая система, удобрения пролонгированного действия, закрытый грунт, биометрические показатели.

Для цитирования: Татун Е. В., Носников В. В. Применение пролонгированных удобрений при выращивании сеянцев березы повислой с закрытой корневой системой // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 69–77. DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-8.

Ya. U. Tatun, V. V. Nosnikov
Belarusian State Technological University

USE OF SLOW-RELEASE FERTILIZERS IN GROWING CONTAINERIZED SILVER BIRCH SEEDLINGS

The aim of the study was to determine the degree of influence on biometric indices of annual containerized silver birch seedlings of the use of slow-release fertilizers in substrate preparation.

As a result, it was found that biometric parameters of seedlings that completed vegetation and received on the substrate with the addition of fertilizer Basacote Plus 6M in the amount of 1.5 kg/m³, exceeded by 41% in stem height, by 14% in root collar diameter, by 35% in weight in the absolutely dry state of the seedlings received on the substrate with the addition of Basacote Plus 6M in the amount of 1.0 kg/m³. Application of Basacote Plus 6M fertilizer in the dosage of 1.5–2.0 kg/m³ is enough to obtain standard planting material of silver birch. Increasing the dose from 1.5 to 2.0 kg/m³ resulted in a 14% increase in root collar diameter, but did not affect the height and weight of seedlings in absolutely dry condition.

There were no significant differences in biometric indices between the seedlings obtained at the main filling of the substrate with PG mix fertilizer (1.0 kg/m³) with foliar application and Basacote Plus 6M (1.5 kg/m³) without foliar application, while the cost of mineral fertilizers in the first case was 54% lower.

Seedlings grown on substrates with Basacote Plus 6M and Osmocote Exact Mini 5–6M (1.0 kg/m³ each) were smaller in stem height by 46 and 34%, in root collar diameter by 17 and 9%, in absolute dry weight

by 42 and 38% in comparison with seedlings where PG mix with foliar application was used for the main dressing. Seedlings on the substrate with Osmocote Exact Mini 5–6M showed the greatest stem growth at the initial stages of growth, which makes this fertilizer the most promising. Addition of the above fertilizers of prolonged substrate action in the amount of 1.0 kg/m³ can be used to obtain standard planting material of birch, taking into account increasing the dose of these fertilizers, mixing with other fertilizers or feeding from the third decade of July, when the growth intensity decreases due to the lack of macronutrients in the substrate.

Keywords: silver birch, seedlings, closed root system, prolonged-action fertilizers, greenhouse, biometric parameters.

For citation: Tatum Ya. U., Nosnikov V. V. Use of slow-release fertilizers in growing containerized silver birch seedlings. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 69–77 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-8.

Введение. При получении сеянцев с ЗКС особое внимание должно быть уделено субстратам, так как правильно подобранный состав во многом определяет качество посадочного материала [1–7].

Исследования субстрата для получения посадочного материала березы повислой показали, что лучшей основой является чистый верховой торф или верховой торф в смеси с 20% агроперлита [5, 8]. Торф является наиболее распространенным компонентом субстрата в питомниках, однако его дефицит и высокая стоимость побуждают искать альтернативы. Одной из них может стать использование коры хвойных деревьев, смеси верхового торфа с биоуглем (biochar), компостом на основе тростника, коровьего навоза, древесных волокон, однако применимость таких составов субстратов в условиях нашей республики требует изучения [3, 6, 7, 9]. Добавление в субстрат на основе торфа песка снижает водоудерживающую способность субстрата [10]. Использование гидрогеля в приготовлении субстратов оказалось малоэффективным при выращивании березы в кассетах [11].

При приготовлении субстрата необходимо учитывать его кислотность. Для березы этот показатель не является критичным, так как она произрастает на почвах с уровнем pH от 3,7 до 6,5 [3, 12]. Не было обнаружено зависимости массы сеянцев в абсолютно сухом состоянии от pH субстрата, но возможно повреждение корней при pH ниже 3 [13, 14]. Исследования не выявили достоверных отличий во всхожести семян в диапазоне pH от 4,0 до 5,5, но незначительное уменьшение наблюдалось при pH 3,8 [15]. Для Беларуси рекомендовано использовать торф после нейтрализации доломитовой мукой до 4,0–6,5 pH [1, 16, 17]. В практике лесных питомников Финляндии для этих целей используют известняк с высоким содержанием магния (2,0 кг/м³) [18].

Важным компонентом субстратов, являются минеральные удобрения. Главным образом используются стартовые водорастворимые удобрения, однако для основной заправки могут применяться удобрения пролонгированного действия

(УПД). В производственной практике финских лесных питомников часть посадочного материала березы выращивается с использованием таких удобрений, как Nutricote и Osmocote [18]. УПД способствуют улучшению морфологических характеристик растений: высоты, диаметра стволика и биомассы, что подтверждается исследованиями на различных видах растений [19–22].

Основные преимущества УПД – это снижение потери элементов питания и риска возникновения осмотического токсического эффекта, обеспечение необходимым количеством питательных веществ растения на разных этапах роста [23, 24]. Главный недостаток таких удобрений – это высокая стоимость [23, 25].

При опросе сотрудников 73 питомников Республики Беларусь было установлено, что в субстратах для получения посадочного материала березы повислой УПД не используется.

Удобрение PG mix в смеси с другими минеральными удобрениями показало свою эффективность при получении стандартного посадочного материала березы повислой [1]. Однако исследование влияния на посадочный материал УПД в составе субстрата в сравнении со стартовыми минеральными удобрениями не проводилось. Именно это стало целью нашей опытной работы.

Основная часть. Объектами исследования являлись однолетние сеянцы березы повислой с ЗКС, полученные из семян местного происхождения в лесном питомнике Друйского лесничества (Браславский район, Витебская область, GPS 55.744314, 27.261671).

Во всех вариантах опыта для посева использовались семена березы повислой III класса качества, хранившихся в холодильнике (при $t = 4^{\circ}\text{C}$) в осенне-зимний период. Дата высева 15 мая 2024 г. В одну ячейку помещали по 3–5 семян. После их прорастания в кассетах проводилось прореживание всходов так, чтобы в каждой ячейке оставалось не более 1 сеянца. Использовались кассеты Plantek 35F, заполненные тщательно перемешанным субстратом на основе верхового торфа с фракцией 0–15, кислотностью 2,5–3,5 pH,

с добавлением доломитовой муки ($2,0 \text{ кг/м}^3$) и комплексного минерального удобрения.

В контрольном варианте опыта для приготовления субстрата использовали удобрение Yara PGmix NPK + Mg + micro (в количестве $1,0 \text{ кг/м}^3$) и подкормки 0,5–1,0%-ным раствором комплексного удобрения Kristalon различных видов 1 раз в 15 дней (Kristalon голубой и особый – в начале вегетации, Kristalon желтый – в середине, Kristalon коричневый – в конце вегетации).

В вариантах опыта с разным составом субстрата для основной заправки использовались комплексные минеральные гранулированные УПД Basacote Plus 6M 16-8-12 (+2) в количестве 1,0, 1,5, $2,0 \text{ кг/м}^3$ и Osmocote Exact Mini 5–6M 15-9-11 в количестве $1,0 \text{ кг/м}^3$ вместо PG mix. Подкормки в этих вариантах опыта не применялись.

Для создания оптимальных условий прорастания семян и произрастания сеянцев все кассеты были размещены в теплице. Уход за сеянцами включал в себя: мелкокапельный полив 2–3 раза в день в начале вегетации, 1–2 раза в середине и конце вегетации. После 10 августа сеянцы с ЗКС содержались в условиях открытого грунта для дальнейшего доращивания и закаливания.

Степень развития структурно-функциональных органов сеянцев изучалась посредством измерения высоты надземной части 1 раз в 7–10 дней линейкой вдоль оси стволика от корневой шейки до основания почки центрального побега после появления настоящих листьев и до прекращения вегетации, измерения диаметра сеянцев у корневой шейки электронным штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, измерения массы в абсолютно сухом состоянии сеянцев с точностью до 0,02 г.

Обработка полученных данных проводилась в программе STATISTICA 12. Для каждого показателя вычислялись: среднее арифметическое ($\bar{X}$), стандартное квадратическое (σ) отклонения, ошибка среднего ($\pm m$), коэффициент вариации (V), коэффициент корреляции (r), значение веро-

ятности (p). Варьирование признака считалось слабым при коэффициенте вариации 0–10%, средним – при 10–20%, высоким – при 20% и более [26, с. 41–42]. Варьирование признака на высоком уровне свидетельствует о малой предсказательности, соответствующей средней арифметической [27, с. 17]. Сохранность сеянцев определялась, как соотношение количества выживших на конец вегетации сеянцев к количеству изначально занятых сеянцами ячеек (табл. 1, 2).

Стандартные сеянцы определялись согласно показателям, указанным в ТУ ВУ 60022689.001–2020 «Материал лесной посадочный хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой. Технические условия» (высота надземной части – не менее 30 см для посадочного материала березы повислой с закрытой корневой системой в возрасте 1 год полученного в условиях закрытого грунта).

Сравнительный анализ биометрических показателей сеянцев березы повислой, выращенных на субстратах с различным составом, продемонстрировал следующее: наибольшие показатели были у сеянцев в контрольном варианте опыта 1к, где для основной заправки субстрата использовалось предпосевное удобрение PG mix, а также проводились подкормки комплексными минеральными удобрениями, и в вариантах опыта 3 и 4, где сеянцы развивались на субстрате, содержащем УПД Basacote Plus 6M в дозировках 1,5 и $2,0 \text{ кг/м}^3$ соответственно. Как видно из табл. 1 и 2, средние значения высоты надземной части для опытов 1к, 3 и 4 варьировались от 461,6 до 499,3 мм, средний диаметр стволика у корневой шейки от 5,1 до 5,9 мм, а средняя масса сеянцев в абсолютно сухом состоянии от 3,17 до 3,58 г.

Достоверные различия получены у сеянцев в вариантах опыта 2 и 3. Так, высота сеянцев в варианте 3 (Basacote, $1,5 \text{ кг/м}^3$) была больше на 41% ($p = 0,00$), диаметр стволика у корневой шейки на 14% ($p = 0,00$), средняя масса сеянцев в абсолютно сухом состоянии на 35% ($p = 0,00$), чем у сеянцев в варианте опыта 2 (Basacote $1,0 \text{ кг/м}^3$).

Таблица 1

Длина стволика и диаметра стволика у корневой шейки однолетних сеянцев березы повислой, выращенных на субстратах разного состава

Вариант опыта	Средние значения высоты надземной части, мм				Средние значения диаметра стволика у корневой шейки, мм				Сохранность сеянцев, %	Выход стандартных сеянцев, %
	$\bar{X} \pm m$	p	σ	$V, \%$	$\bar{X} \pm m$	p	σ	$V, \%$		
1к. PG mix + подкормка	$499,3 \pm 19,1$	–	93,6	18,7	$5,3 \pm 0,2$	–	1,0	18,6	97	91
2. Basacote, $1,0 \text{ кг/м}^3$	$271,3 \pm 10,9$	0,00	50,0	18,4	$4,4 \pm 0,2$	0,00	0,8	18,2	94	23
3. Basacote, $1,5 \text{ кг/м}^3$	$461,6 \pm 12,1$	0,65	52,9	11,5	$5,1 \pm 0,2$	0,67	0,7	13,2	94	88
4. Basacote, $2,0 \text{ кг/м}^3$	$449,2 \pm 16,1$	0,09	68,4	15,2	$5,9 \pm 0,2$	0,06	0,9	16,0	94	88
5. Osmocote, $1,0 \text{ кг/м}^3$	$330,3 \pm 12,9$	0,00	65,5	19,8	$4,8 \pm 0,1$	0,00	0,5	10,8	100	49

Примечание. 1к – контрольный опыт. Различия в средних значениях существенны при $p < 0,05$ (критерий знаковых рангов Уилкоксона).

Таблица 2

Абсолютно сухая масса однолетних сеянцев березы повислой, выращенных на субстратах разного состава

Вариант опыта	Средние значения сухой массы сеянцев, г										Соотношение сухой массы «стволик : корень»
	Всего				Стволик			Корень			
	$X \pm m$	p	σ	$V, \%$	$X \pm m$	σ	$V, \%$	$X \pm m$	σ	$V, \%$	
1к. PG mix + подкормка	3,58±0,19	–	0,70	19,6	2,19±0,14	0,5	22,9	1,39±0,09	0,3	22,7	1,6
2. Basacote, 1,0 кг/м³	2,07±0,08	0,00	0,30	15,1	0,96±0,06	0,2	23,4	1,11±0,04	0,1	13,5	0,9
3. Basacote, 1,5 кг/м³	3,17±0,14	0,27	0,57	18,1	1,78±0,10	0,4	23,9	1,39±0,09	0,4	26,1	1,3
4. Basacote, 2,0 кг/м³	3,54±0,23	0,33	0,83	23,4	2,14±0,15	0,6	25,5	1,40±0,11	0,4	28,3	1,5
5. Osmocote, 1,0 кг/м³	2,21±0,06	0,01	0,20	10,8	1,07±0,05	0,2	16,6	1,14±0,05	0,2	13,2	0,9

Примечание. 1к – контрольный опыт. Различия в средних значениях существенны при $p < 0,05$ (критерий знаковых рангов Уилкоксона).

Сравнение сеянцев, выращенных на субстрате с добавлением удобрения Basacote Plus 6М в количестве 1,5 и 2,0 кг/м³, выявило увеличение на 14% ($p = 0,03$) диаметра стволика у корневой шейки при увеличении основной заправки на 0,5 кг. Высота стволика ($p = 0,79$) и масса сеянцев в абсолютно сухом состоянии ($p = 0,80$) достоверно не отличались (табл. 1, 2).

Достоверные различия во всех изученных показателях были выявлены между контрольным вариантом 1к и опытами 2 и 5, где сеянцы получали на субстрате с УПД Basacote Plus 6М в количестве 1,0 кг/м³ и Osmocote Exact Mini 5–6М в количестве 1,0 кг/м³ (рис. 1). Контрольный опыт превысил варианты опытов 2 и 5 в высоте стволика на 46 и 34%, в диаметре стволика у корневой шейки на 17 и 9%, а также по абсолютно сухой массе сеянцев на 42 и 38% соответственно (табл. 1, 2).

При равном количестве УПД, добавленного в субстрат, более эффективным оказалось ис-

пользование удобрения Osmocote Exact Mini 5–6М. Сеянцы, полученные в варианте опыта 5 (с Osmocote Exact Mini 5–6М в количестве 1,0 кг/м³), превысили по показателям сеянцы из варианта опыта 2 (с Basacote Plus 6М в количестве 1,0 кг/м³) по высоте надземной части на 17% ($p = 0,00$), по диаметру стволика у корневой шейки на 8% ($p = 0,00$) и по абсолютно сухой массе на 6% ($p = 0,00$) (табл. 1, 2).

Была установлена корреляция между увеличением дозы удобрения, добавляемого в субстрат, и значениями биометрических показателей. При этом высокая положительная связь наблюдалась между увеличением добавки удобрения Basacote Plus 6М (в дозах 1,0, 1,5 и 2,0 кг) и средними значениями высоты надземной части, а также диаметром стволика у корневой шейки. Средняя положительная связь наблюдалась у массы сеянцев в абсолютно сухом состоянии со средней сухой массой стволиков (табл. 3).



Рис. 1. Однолетние сеянцы березы повислой, полученные на субстрате с добавкой PG mix в количестве 1,0 кг/м³ и подкормками (1), с Basacote Plus 6М в количестве 1,0 кг/м³ (2), с Osmocote Exact Mini 5–6М в количестве 1,0 кг/м³ (3)

Таблица 3

**Корреляционный анализ влияния увеличения количества применяемого
УПД Basacote Plus 6M на биометрические показатели сеянцев березы повислой**

Значения	Средние значения высоты надземной части	Средние значения диаметра стволика у корневой шейки	Средние значения сухой массы сеянцев		
			Всего	Стволик	Корень
<i>r</i>	0,71	0,72	0,52	0,63	0,22
<i>p</i>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,23

Примечание. Отмеченные корреляции значимы при $p < 0,05$.

Сохранность сеянцев во всех вариантах опыта имела высокий показатель и находилась в диапазоне 94–100%. Выход стандартных сеянцев разнился сильно. Так, самый большой показатель был у вариантов опыта 1к, 3, 4 и находился в диапазоне 88–91%. У опытов 2 и 5 выход стандартных сеянцев был значительно меньше и составлял 23 и 49% соответственно, что может свидетельствовать о недостаточном количестве УПД, внесенных для основной заправки в субстрат.

Соотношение сухой массы «стволик : корень» составляет для варианта опыта 1к – 1,6, для опытов 3 и 4 – 1,3 и 1,5. У вариантов опытов 2 и 3 результат не отличался и составлял 0,9 (рис. 2). Во всех указанных вариантах опыта это соотношение меньше 2,5 и близко к оптимуму [28, с. 24].

Изученные показатели в вариантах опыта 1к–5 изменялись на среднем и высоком уровне, что указывает на неоднородный рост сеянцев. Коэффициент вариации находился в диапазоне 11,5–19,8% для значений высоты надземной части, 10,8–18,6% для диаметра стволика у корневой шейки, 10,8–23,4% для сухой массы сеянцев (табл. 1, 2).

Как показало исследование, использование для основной заправки субстрата комплексных удобрений с подкормками и УПД без подкормок в количестве 1,0 кг/м³ в разной степени повлияло на темпы роста и на прекращение ростовых процессов надземной части сеянцев. Самыми высокими начальными темпами роста обладали сеянцы в варианте опыта 5, однако темпы роста снизились и сравнялись с показателями в вариантах опыта 1к и 2 ко второй декаде июля. Это может говорить о более сбалансированном составе питательных элементов в удобрении Osmocote Exact Mini 5–6M, но недостаточном его количестве (1,0 кг/м³) для сохранения высоких темпов роста. В варианте опыта 1к высокие темпы наблюдались на протяжении всего периода роста. Конечного показателя в 99% высота стволика в варианте опыта 2 достигала в первой декаде августа, в варианте опыта 5 – в третьей декаде августа, в варианте опыта 1к – в первой декаде сентября. Более раннее прекращение роста соответствует и меньшей средней высоте сеянцев в вариантах опыта 2 и 5 после прекращения вегетации (рис. 3).

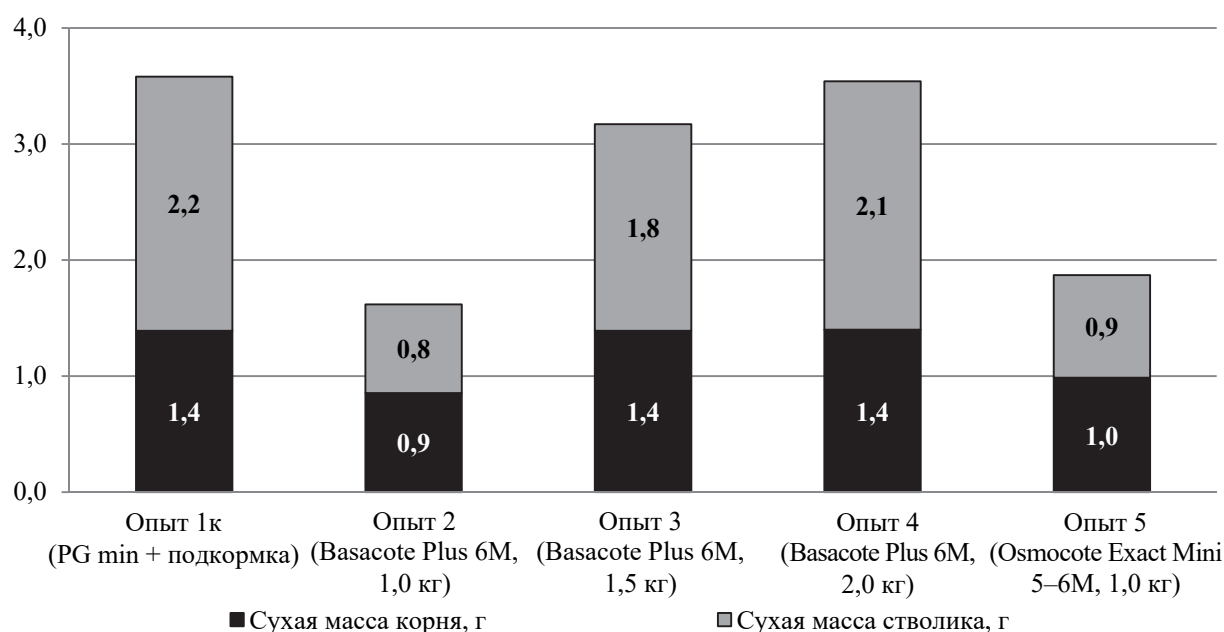


Рис. 2. Средняя сухая масса однолетних сеянцев березы повислой, выращенных на субстратах разного состава

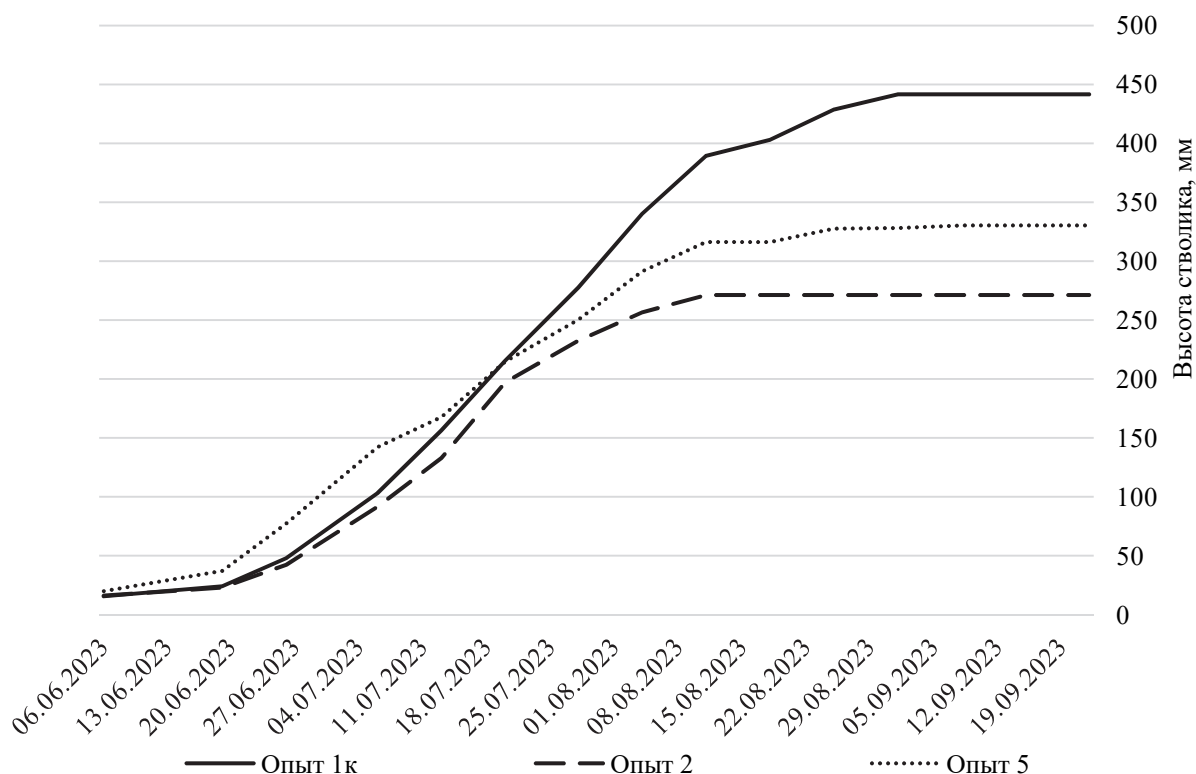


Рис. 3. Средняя высота стволика при выращивании однолетних сеянцев березы повислой на субстратах разного состава в разное время произрастания

Наше исследование показало, что основная заправка субстрата минеральным удобрением Yara PG mix в количестве 1 кг/м³ с применением подкормок минеральными удобрениями Kristalon различных видов (0,14 кг на 1000 сеянцев) и минеральным УПД Basacote Plus 6М в количестве 1,5 кг/м³ (без подкормок) для приготовления субстратов является наиболее эффективным. Как видно из табл. 4, стоимость заправки удобрения и УПД при прочих равных составляющих, разнится сильно. Так, стоимость примененного предпосевного удобрения в совокупности со

стоимостью применяемых подкормок в варианте опыта 1к на 54% меньше, чем УПД без применения подкормок в варианте опыта 3. Вклад в стоимость субстрата предпосевного удобрения в количестве 1,0 кг/м³ вместе с подкормками (0,14 кг на 1000 сеянцев) составляет 70% (вариант опыта 1к), УПД в количестве 1,5 кг/м³ – 90% (вариант опыта 3).

Полученные различия в сравниваемых биометрических показателях сеянцев березы повислой являются достоверными и подтверждаются статистическими значениями теста Уилкоксона (табл. 1, 2).

Таблица 4

Стоимость компонентов субстрата для производства сеянцев березы повислой с ЗКС в кассетах Plantek 35F

Вариант опыта 1к				Вариант опыта 3			
Наименование компонента	Цена за 1 кг, руб.	Объем на 1000 сеянцев, кг	Стоимость, руб.	Наименование компонента	Цена за 1 кг, руб.	Объем на 1000 сеянцев, кг	Стоимость, руб.
Yara PG mix	19,00	0,30	5,65	Basacote Plus 6M	47,70	0,45	21,26
Верховой торф фракцией 0–15, рН 2,5–3,5	0,04	75	2,67	Верховой торф фракцией 0–15, рН 2,5–3,5	0,04	75	2,67
Доломитовая мука	0,56	0,59	0,33				
Kristalon особый	17,20	0,07	1,18				
Kristalon коричневый	19,60	0,02	0,34	Доломитовая мука	0,56	0,59	0,33
Kristalon желтый	21,20	0,03	0,73				
Kristalon голубой	13,60	0,02	0,23				
Итого		76.03	11,13	Итого		76.04	24,26

Выводы. Для получения стандартного посадочного материала березы повислой при выращивании семян в условиях закрытого грунта достаточно применения для основной заправки удобрения пролонгированного действия Basacote Plus 6M в дозе 1,5–2,0 кг/м³. Увеличение дозы с 1,5 до 2,0 кг/м³ привело к 14%-ному увеличению диаметра стволика у корневой шейки, но не оказало влияния на высоту стволика и абсолютно сухую массу семян.

Не было выявлено достоверных различий в биометрических показателях между сеянцами, выращенными на субстрате с PG mix (1,0 кг/м³ + подкормки) и Basacote Plus 6M (1,5 кг/м³), при этом общая стоимость минеральных удобрений в первом случае была на 54% ниже.

Исследование показало, что сеянцы, выращенные на субстратах с Basacote Plus 6M (основная заправка 1,0 кг/м³) и Osmocote Exact Mini 5–6M (основная заправка 1,0 кг/м³), были меньше по высоте стволика на 46 и 34% соответственно,

по диаметру стволика у корневой шейки на 17 и 9%, а также по абсолютной сухой массе на 42 и 38% по сравнению с контрольным опытом, где использовалось удобрение PG mix (1,0 кг/м³) с подкормками. Сеянцы, полученные на субстрате с Osmocote Exact Mini 5–6M, показали наибольший прирост стволика на начальных этапах роста и обладали большими биометрическими показателями, что делает это удобрение наиболее перспективным для приготовления субстратов. Добавка исследуемых удобрений пролонгированного действия в количестве 1,0 кг/м³ может применяться для получения стандартного посадочного материала березы повислой при использовании их в смеси с другими удобрениями или внесении подкормок с третьей декады июля, когда, как показали исследования, снижается интенсивность ростовых процессов из-за недостаточного количества макроэлементов, содержащихся в субстрате [29].

Список литературы

1. Выращивание сеянцев с закрытой корневой системой на субстратах с внесением разных доз удобрений и муки доломитовой / В. В. Носников [и др.] // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса НАН Беларуси. Гомель, 2019. Вып. 79. С. 62–67.
2. Juntunen M.-L., Hammar T., Rikala R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers // Journal of Environmental Quality. 2002. Vol. 31, issue 6. P. 1868–1874. DOI: 10.2134/jeq2002.1868.
3. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i technik w szkółkarstwie leśnym. Wyd. II. Warszawa: CILP, 2009. 251 s.
4. Altland J. Lime rate affects substrate pH and container-grown birch trees // Communications in Soil Science and Plant Analysis. 2019. Vol. 50, issue 1. P. 93–101. DOI: 10.1080/00103624.2018.1554670.
5. Memisoglu T., Tilki F. Growth of Scots pine and silver birch seedlings on different nursery container media // Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca. 2014. Vol. 42, no. 2. P. 565–572. DOI: 10.15835/nbha4229551.
6. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized Norway spruce, Scots pine, and silver birch seedlings / E. Köster [et al.] // Canadian Journal of Forest Research. 2021. Vol. 51, no. 1. P. 31–40. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0399.
7. Growth of Nordic container forest tree seedlings in some peatless and peat-reduced growing media / J. Heiskanen [et al.] // New Forests. 2024. Vol. 55. P. 1499–1517. DOI: 10.1007/s11056-024-10048-8.
8. Heiskanen J., Rikala R. Effect of peat-based container media on establishment of Scots pine, Norway spruce and silver birch seedlings after transplanting in contrasting water conditions // Scand. J. For. Res. 2000. Vol. 15. P. 49–57.
9. Niemiera A. X., Wright R. D. Effect of liming rate on nitrification in a pine bark medium // Journal of the American Society for Horticultural Science. 1986. Vol. 111, no 5. P. 708–712.
10. Heiskanen J., Rikala R. Influence of different nursery container media on rooting of Scots pine and silver birch seedlings after transplanting // New Forests. 1998. Vol. 16. P. 27–42. DOI: 10.1023/A:1006583831189.
11. Birch seedling response to irrigation frequency and a hydrophilic polymer amendment in a container medium / R. R. Tripepi [et al.] // Journal of Environmental Horticulture. 1991. Vol. 9, issue 3. P. 119–123.
12. Niemiera A. X. European White Birch (*Betula pendula*) // Virginia Cooperative Extension. Virginia State University. URL: http://pubs.ext.vt.edu/2901/2901-1043/2901-1043_pdf.pdf (дата обращения: 12.09.2024).
13. Rikala R., Jozefek H. J. Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings // Silva Fenn. 1990. Vol. 24. P. 323–334.
14. The effects of calcium on stem lesions of silver birch seedlings / A. Lilja [et al.] // Forest Pathology. 2007. Vol. 37. P. 96–104. DOI: 10.1111/J.1439-0329.2007.00484.X.
15. Tylkowski T. *Betula pendula* seed storage and sowing pre-treatment: effect on germination and seedling emergence in container cultivation // Dendrobiology. 2012. Vol. 67. P. 49–58.
16. Якимов Н. И., Крук Н. К., Юренин А. В. Особенности агротехники выращивания сеянцев березы повислой в лесных питомниках // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 196–199.

17. Несекреты выращивания березы... // Лесное и охотничье хозяйство. 2023. № 5. С. 2–13.
18. Juntunen M.-L., Rikala R. Fertilization practice in Finnish forest nurseries from the standpoint of environmental impact // *New Forests*. 2001. Vol. 21. P. 141–158. DOI: 10.1023/A:1011837800185.
19. Smiderle O. J., Souza A. G., Menegatti R. Controlled-release fertilizer in the production of seedlings of *Annona cacans* Warm // *Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 8. P. 125–133. DOI: 10.5296/jas.v8i3.16163.
20. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* zucc. in nursery / R. E. Madrid-Aispuro [et al.] // *Forests*. 2020. Vol. 11. P. 1–13. DOI: 10.3390/f11010071.
21. Controlled-release fertilizer in cordyline spectabilis seedlings production, a potential species of the *Asparagaceae* family / D. C. Pereira de Matos [et al.] // *Floresta e Ambiente*. 2021. Vol. 28. P. 1–5. DOI: 10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0047.
22. Controlled-release fertiliser and substrates on seedling growth and quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima / A. G. Souza [et al.] // *Journal of Animal Science*. 2020. Vol. 8. P. 70–80. DOI: 10.5296/jas.v8i3.16363.
23. Мухина М. Т., Боровик Р. А., Коршунов А. А. Удобрения пролонгированного действия: основные этапы и направления развития // *Плодородие*. 2021. № 4. С. 77–82.
24. Efficiency of slow release fertilizers in the production of *Eucalyptus grandis* seedlings / F. L. Cunha [et al.] // *Floresta e Ambiente*. 2021. Vol. 28. P. 1–9. DOI: 10.1590/2179-8087-floram-2021-0059.
25. Slow release fertilizers or fertigation for sugarcane and passion fruit seedlings? Agronomic performance and costs / P. C. Rosa da Silva [et al.] // *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*. 2020. Vol. 20. P. 2175–2181. DOI: 10.1007/s42729-020-00285-z.
26. Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 256 с.
27. Gomez K. A., Gomez A. A. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edit. New York: John Wiley and Sons, 1984. 680 p.
28. Landis D. T., Dumroese R. K., Haase D. L. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 7: Seedling processing, storage, and outplanting. Washington, DC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2010. 199 p.
29. Newton A. C., Pigott C. D. Mineral nutrition and mycorrhizal infection of seedling oak and birch // *New Phytologist*. 1991. Vol. 117, issue 1. P. 45–52. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00943.x.

References

1. Nosnikov V. V., Domasevich A. A., Sokolovsky I. V., Romanchuk A. V. Growing seedlings with a closed root system on substrates with the application of different doses of fertilizers and dolomite flour. *Problemyi lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov* [Problems of forestry and silviculture: collection of scientific works Institute of Forests of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2019, issue 79, pp. 62–67 (In Russian).
2. Juntunen M.-L., Hammar T., Rikala R. Leaching of nitrogen and phosphorus during production of forest seedlings in containers. *Journal of Environmental Quality*, 2002, vol. 31, issue 6, pp. 1868–1874. DOI: 10.2134/jeq2002.1868.
3. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i technik w szkółkarstwie leśnym. Warsaw, CILP Publ., 2009. 251 p. (In Poland).
4. Altland J. Lime rate affects substrate pH and container-grown birch trees. *Comm. in Soil Sci. and Plant Analysis*, 2019, vol. 50, issue 1, pp. 93–101. DOI: 10.1080/00103624.2018.1554670.
5. Memisoglu T., Tilki F. Growth of Scots pine and silver birch seedlings on different nursery container media. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 2014, vol. 42, no. 2, pp. 565–572. DOI: 10.15835/nbha4229551.
6. Köster E., Pumpanen J., Palviainen M., Zhou X., Köster K. Effect of biochar amendment on the properties of growing media and growth of containerized Norway spruce, Scots pine, and silver birch seedlings. *Canadian Journal of Forest Research*, 2021, vol. 51, no. 1, pp. 31–40. DOI: 10.1139/cjfr-2019-0399.
7. Heiskanen J., Ruhanen H., Himanen K., Kivimäenpää M., Silvan N. Growth of Nordic container forest tree seedlings in some peatless and peat-reduced growing media. *New Forests*, 2024, vol. 55, pp. 1499–1517. DOI: 10.1007/s11056-024-10048-8.
8. Heiskanen J., Rikala R. Effect of Peat-based Container Media on Establishment of Scots Pine, Norway Spruce and Silver Birch Seedlings after Transplanting in Contrasting Water Conditions. *Scand. J. For. Res.*, 2000, vol. 15, pp. 49–57.
9. Niemiera A. X., Wright R. D. Effect of liming rate on nitrification in a pine bark medium. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 1986, vol. 111, no. 5, pp. 708–712.
10. Heiskanen J., Rikala R. Influence of different nursery container media on rooting of Scots pine and silver birch seedlings after transplanting. *New Forests*, 1998, vol. 16, pp. 27–42. DOI: 10.1023/A:1006583831189.
11. Tripepi R. R., George M. W., Dumroese R. K., Wenny D. L. Birch seedling response to irrigation frequency and a hydrophilic polymer amendment in a container medium. *Journal of Environmental Horticulture*, 1991, vol. 9, issue 3, pp. 119–123.

12. Niemiera A. X. European White Birch (*Betula pendula*). Available at: http://pubs.ext.vt.edu/2901/2901-1043/2901-1043_pdf.pdf (accessed 12.09.2024).
13. Rikala R., Jozefek H. J., Effect of dolomite lime and wood ash on peat substrate and development of tree seedlings. *Silva Fenn.*, 1990, vol. 24, pp. 323–334.
14. Lilja A., Luoranen J., Rikala R., Heinonen R. The effects of calcium on stem lesions of silver birch seedlings. *Forest Pathology*, 2007, vol. 37, pp. 96–104. DOI: 10.1111/J.1439-0329.2007.00484.X.
15. Tytkowski T. *Betula pendula* seed storage and sowing pre-treatment: effect on germination and seedling emergence in container cultivation. *Dendrobiology*, 2012, vol. 67, pp. 49–58.
16. Yakimov N. I., Kruk N. K., Yurenka A. V. Features of agrotechnics of growing silver birch seedlings in forest nurseries. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 196–199 (In Russian).
17. Not the secrets of growing birch. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2023, no. 5, pp. 2–13 (In Russian).
18. Juntunen M.-L., Rikala R. Fertilization practice in Finnish forest nurseries from the standpoint of environmental impact. *New Forests*, 2001, vol. 21, pp. 141–158. DOI: 10.1023/A:1011837800185.
19. Smiderle O. J., Souza A. G., Menegatti R. Controlled-release fertilizer in the production of seedlings of *Annona cacans* Warm. *Journal of Animal Science*, 2020, vol. 8, pp. 125–133. DOI: 10.5296/jas.v8i3.16163.
20. Madrid-Aispuro R. E., Prieto-Ruiz J. A., Aldrete A., Hernández-Díaz J., Wehenkel C., Chávez-Simental J. A., Mexal J. Alternative substrates and fertilization doses in the production of *Pinus cembroides* zucc. in nursery. *Forests*, 2020, vol. 11, pp. 1–13. DOI: 10.3390/f11010071.
21. Pereira de Matos D. C., Félix F. C., Moreno Gabira M., Aguiar N. S. D., Walter L. S., Dal Forno Mastella A., Kratz D. Controlled-release fertilizer in cordyline spectabilis seedlings production, a potential species of the *Asparagaceae* family. *Floresta e Ambiente*, 2021, vol. 28, pp. 1–5. DOI: 10.1590/2179-8087-FLORAM-2020-0047.
22. Souza A. G., Smiderle O. J., Montenegro R. A., Moriyama T. K., Dias T. J. Controlled-release fertiliser and substrates on seedling growth and quality in *Agonandra brasiliensis* in Roraima. *Journal of Animal Science*, 2020, vol. 8, pp. 70–80. DOI: 10.5296/jas.v8i3.16363.
23. Muhina M. T., Borovik R. A., Korshunov A. A. Controlled-release fertilizer: main stages and directions of development. *Plodorodiye* [Fertility], 2021, no. 4, pp. 77–82.
24. Leite Cunha F., Nieri E., Melo L. A., Nunes Miranda E., Fernandes T. J., Venturin N. Efficiency of slow release fertilizers in the production of *Eucalyptus grandis* seedlings. *Floresta e Ambiente*, 2021, vol. 28, pp. 1–9. DOI: 10.1590/2179-8087-floram-2021-0059.
25. Rosa da Silva P. C., Paiva P., Charlo H. C. D. O., Coelho V. P. M. Slow release fertilizers or fertigation for sugarcane and passion fruit seedlings? Agronomic performance and costs. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 2020, vol. 20, pp. 2175–2181. DOI: 10.1007/s42729-020-00285-z.
26. Zaitsev G. N. *Metodika biometricheskikh raschetov. Matematicheskaya statistika v eksperimental'noy botanike* [Methodology of biometric calculations. Mathematical statistics in experimental botany]. Moscow, Nauka Publ., 1973. 256 p. (In Russian).
27. Gomez K. A., Gomez A. A. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edit. New York, John Wiley and Sons Publ., 1984. 680 p.
28. Landis D. T., Dumroese R. K., Haase D. L. The Container Tree Nursery Manual. Vol. 7: Seedling processing, storage, and outplanting. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service, 2010. 199 p.
29. Newton A. C., Pigott C. D. Mineral nutrition and mycorrhizal infection of seedling oak and birch. *New Phytologist*, 1991, vol. 117, issue 1, pp. 45–52. DOI: 10.1111/j.1469-8137.1991.tb00943.x.

Информация об авторах

Татун Евгений Владимирович – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: evgeniy.tatun@mail.ru

Носников Вадим Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: nosnikov@belstu.by

Information about the authors

Tatun Yauheni Uladzimiravich – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evgeniy.tatun@mail.ru

Nosnikov Vadim Valer'evich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nosnikov@belstu.by

Поступила 14.03.2025

УДК 630*232.318

Е. В. Татун

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ СОРТИРОВКИ ОРГАНИЧЕСКИМИ РАСТВОРИТЕЛЯМИ,
ЗАМАЧИВАНИЯ В ВОДЕ И СТИМУЛЯТОРАХ РОСТА НА ПРОРАСТАНИЕ
СЕМЯН БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ**

Цель проведенного исследования заключалась в определении влияния сортировки органическими растворителями, замачивания в воде разной продолжительности и использования стимуляторов роста на всхожесть и энергию прорастания семян березы повислой.

В результате проведенного исследования было установлено, что разделение семян на фракции при помощи ацетона положительно сказывается на всхожести и энергии прорастания семян березы повислой. Сортироваться таким способом могут как обескрыленные семена, так и необескрыленные. Наблюдалось повышение всхожести на 36% и энергии прорастания на 9% по отношению к контрольному опыту у обескрыленных отсортированных ацетоном семян, а также возрастание всхожести на 41% и энергии прорастания на 9% по отношению к контрольному опыту у необескрыленных отсортированных ацетоном семян. В вариантах опыта, где семена разделялись на фракции с помощью ацетона, заплесневелые семена не регистрировались, а в вариантах опыта без сортировки доля заплесневелых семян составляла от 3 до 5%.

Разделение семян березы повислой на фракции при помощи 96%-ного этилового спирта значительно снижает всхожесть семян березы – по результату нашего исследования на 20%.

Замачивание семян березы повислой в воде в течение 5 суток не оказало существенного воздействия на их всхожесть, но способствовало более быстрому прорастанию и значительно увеличило энергию прорастания (на 31%). Использование стимуляторов роста Эпин-экстра и Циркон не оказало значительного влияния на регистрируемые нами показатели.

Ключевые слова: береза повислая, семена, обескрыливание, сортировка, органические растворители, подготовка к посеву, лабораторная всхожесть, энергия прорастания.

Для цитирования: Татун Е. В. Влияние сортировки органическими растворителями, замачивания в воде и стимуляторах роста на прорастание семян березы повислой // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 78–83.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-9.

Ya. U. Tatun

Belarusian State Technological University

**EFFECT OF SORTING WITH ORGANIC SOLVENTS, SOAKING IN WATER
AND GROWTH STIMULANTS ON GERMINATION OF SILVER BIRCH SEEDS**

The aim of the study was to determine the effect of sorting with organic solvents, soaking in water of different duration and use of growth stimulants on germination and germination energy of silver birch seeds.

As a result of the study it was found that the separation of seeds into fractions using acetone has a positive effect on germination and germination energy of birch seeds. Both unpeeled seeds and wingless seeds can be sorted in this way. Increase of germination by 36% and germination energy by 9% was observed in relation to the control experiment in unpeeled seeds sorted by acetone. The same increase in germinability by 41%, germination energy by 9% in relation to the control experiment in wingless seeds sorted by acetone. In the variants of the experiment, where seeds were separated into fractions using acetone, moldy seeds were not registered, and where separation into fractions was not carried out, the share of moldy seeds was from 3 to 5%.

Separation of birch seeds into fractions by means of 96% ethyl alcohol significantly reduces germination of birch seeds, according to the results of our study by 20%.

Soaking silver birch seeds in water for 5 days had no significant effect on their germination, but promoted faster germination and significantly increased germination energy by 31%. The use of growth stimulants Epin-extra and Zirkon did not have a significant effect on the germination rates.

Keywords: silver birch, seeds, decoating, sorting, organic solvents, preparation for sowing, laboratory germination, germination energy.

For citation: Tatun Ya. U. Effect of sorting with organic solvents, soaking in water and growth stimulants on germination of silver birch seeds. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 78–83 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-9.

Введение. Посевной материал березы повислой обладает большой изменчивостью. На это влияет ряд факторов. Одним из таких факторов является способность к партенокарпии, когда в неурожайные годы 50–100% плодов оказываются без семян [1, с. 90]. Из-за этой особенности возникает необходимость в сортировке.

При сортировке семян березы повислой возможно разделение их гравитационным сепаратором или ацетоном на фракции, где в дальнейшем для хранения используют отсортированные семена, отделенные от пустых, поврежденных и недоразвитых [2, с. 127–128; 3]. Перед сортировкой семена лучше обескрыливать, так как это снижает потери при очистке и в несколько раз уменьшает объем семян, что сокращает затраты на хранение и транспортировку [4, с. 123]. Обескрыливание с разделением приобретает большое значение, когда появляется необходимость в долговременном хранении семян, в особенности элитных партий [2].

Сортировка позволяет отбирать семена с высокими показателями всхожести и жизнеспособности [5–7]. Использование для высева отсортированных семян может способствовать появлению дружных всходов и одновременному развитию растений [8–12]. Особенно важно использовать посевной материал высокого качества при получении сеянцев с закрытой корневой системой. В обычной практике питомников в одну ячейку высевают несколько семян березы повислой (2–3) [2, с. 128; 13, с. 87]. Но при этом часть ячеек остается без всходов или с наличием нескольких сеянцев в одной ячейке. Использование отсортированных семян может уменьшить трудозатраты, возникающие при таком способе посева. Для облегчения автоматизации обескрыленные и отсортированные семена можно дражировать и использовать автоматические механизмы посева, уменьшив трудозатраты на заполнение ячеек в кассетах семенами [2, с. 127–128].

В литературе отсутствуют сведения о влиянии разделения семян березы повислой органическими растворителями на посевные качества. В роли растворителя, применяемого для сортировки, упоминается только ацетон – широко используемый в промышленности органический растворитель [2]. Альтернативой может стать сходный по плотности и столь же распространенный 96%-ный этиловый спирт, сведения об использовании которого для сортировки семян березы отсутствуют в литературе.

Предпосевная подготовка семян, направленная на повышение всхожести и энергии прорастания, является важным агротехническим приемом [14, 15]. Одним из способов подготовки семян березы повислой к посеву выступает замачивание их в воде. Однако сроки этого за-

мачивания отличаются у разных авторов: до состояния частичного наклеивания (2–3 суток), 1, 7 суток [2, с. 127; 16, с. 280]. Учитывая положительное влияние замачивания в воде на посевные качества семян березы повислой, а также низкую стоимость и экологичность способа, необходимо уточнить оптимальные сроки этой обработки. Кроме того, актуальным является сравнение эффективности замачивания в воде и применения стимуляторов роста для подготовки семян березы повислой к посеву.

Цель исследования – определить влияние сортировки органическими растворителями, замачивания в воде разной продолжительности и использования стимуляторов роста на всхожесть и энергию прорастания семян березы повислой.

Основная часть. Объектами исследования являлись семена березы повислой после хранения в холодильнике при $t = 4^{\circ}\text{C}$ на протяжении 6 месяцев.

Обескрыливание семян происходило путем перетирания их через сито с диаметром отверстий 2 мм.

При разделении семян березы повислой на фракции использовался ацетон технический и этиловый спирт (96%). Для разделения семян помещали в колбы, а затем заливали растворителем в соотношении 30 частей растворителя к 1 части семян по объему. Семена и примеси, всплывшие на поверхность после размешивания, удалялись, а растворитель сливался. Далее семена, оставшиеся на дне колбы, просушивались до состояния сыпучести и использовались в опыте (таблица).

В вариантах опыта с разной продолжительностью замачивания отсортированные семена заливали водой (50 : 1 по объему к семенам) на 1, 3, 5, 7 суток. В вариантах со стимуляторами роста семена замачивались на протяжении 2 ч в растворах стимуляторов Эпин-экстра (1 мл / 2 л) или Циркон (1 мл / 4 л) (согласно рекомендациям производителя). После этого семена извлекались из воды и растворов, просушивались до состояния сыпучести. Причем время начала замачивания подбиралось таким образом, чтобы проращивание семян с разным сроком замачивания начиналось одновременно.

В контрольном опыте использовались семена без очистки и подготовки.

Проращивание семян происходило согласно ГОСТ 13056.6–97 «Семена деревьев и кустарников. Методы определения всхожести» [17]. Для каждого из вариантов эксперимента выполнялось 4 повтора, каждый включал 100 семян. Процесс проращивания проводился при температуре 24°C . Подсчет нормально проросших семян осуществлялся ежедневно в течение 15 дней (после восьмого дня проращивания новых семян не регистрировалось ни у одного из вариантов опыта). Энергия прорастания определялась на

день достижения максимального количества нормально проросших семян. Такой способ расчета использовался в исследованиях [18]. Этот подход обусловлен тем, что к седьмому дню (срок определения энергии прорастания для березы повислой) семена в разных вариантах опыта достигнут 93–100% от итоговой всхожести. То есть всхожесть будет равняться энергии прорастания для большинства вариантов опыта.

Результаты проб находились в пределах допустимых расхождений [17].

Наше исследование показало, что обескрыливание улучшает посевное качество семян. Как видно из таблицы, всхожесть обескрыленных семян возросла на 7%, энергия прорастания при этом изменилась на 3% (рис. 1). Возрастание всхожести обескрыленных семян может быть связано с механическим разрушением пустых плодов в процессе перетирания их через сито.

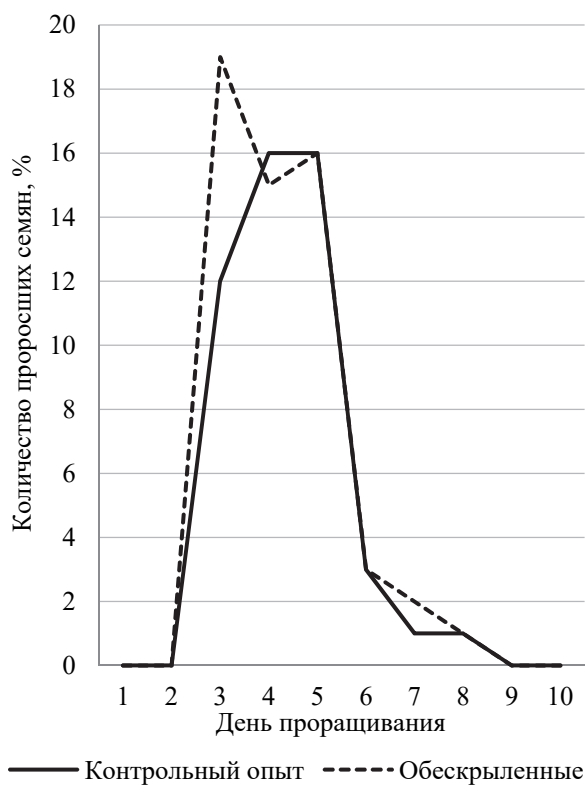


Рис. 1. Проращивание семян березы повислой в контрольном опыте и обескрыленных

Разделять ацетоном на фракции эффективно как обескрыленные семена, так и необескрыленные. Всхожесть обескрыленных семян, подвергшихся разделению на фракции в ацетоне, составила 85%, а энергия прорастания 41% (рис. 2). По показателям всхожести они превосходят контрольный опыт на 36%, а по энергии прорастания на 9%. Всхожесть семян, не обескрыленных и разделенных на фракции в ацетоне, составила 90%, а энергия прорастания 41% (рис. 2).

По показателям всхожести такие семена превосходят контрольный опыт на 41%, а по энергии прорастания на 9%.

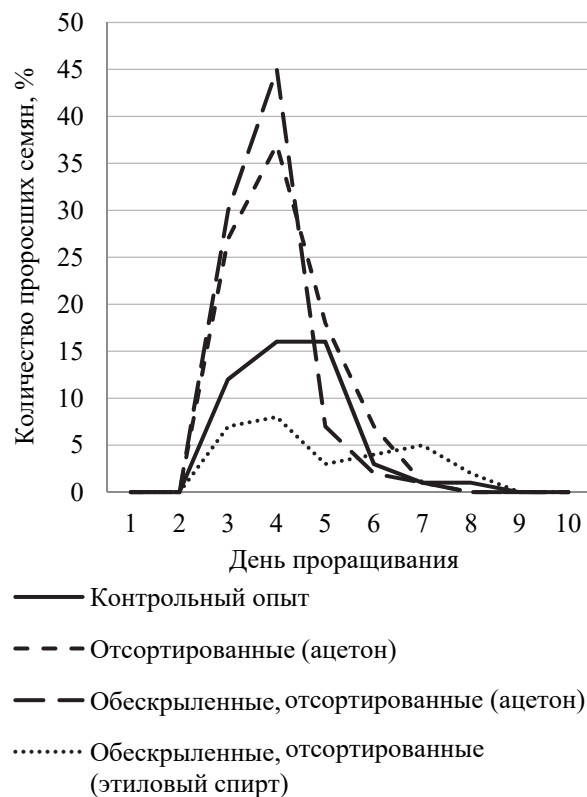


Рис. 2. Проращивание семян березы повислой в контрольном опыте, с сортировкой в ацетоне, обескрыленных с сортировкой в ацетоне и в этиловом спирте

Стоит отметить, что в вариантах опыта, где проращивались семена после разделения на фракции ацетоном, не регистрировались заплесневелые семена. В опытах, где семена не сортировались ацетоном, заплесневелых семян было от 3 до 5% (таблица).

При сортировке семян этиловым спиртом мы наблюдали разделение обескрыленных семян березы повислой на фракции. Так, на дне используемого сосуда с этиловым спиртом оказались семена более крупные, а часть семян и примесей всплыла к поверхности. Однако этиловый спирт отрицательно сказался на посевных качествах семян, оставшихся на дне сосуда (рис. 2). Всхожесть составила 29%, а энергия прорастания 28%. По отношению к контролю всхожесть снизилась на 20%, а энергия прорастания на 1% (таблица). 2% семян заплесневели.

Семена, замоченные в воде на протяжении 5 суток, имели самый низкий процент всхожести и отличались по этому показателю от семян, замоченных на 1 сутки, на 5%. Увеличение продолжительности замачивания семян в воде больше влияло на энергию прорастания.

Данные по проращению семян березы повислой, подвергшихся обескрыливанию, сортировке, разному замачиванию в воде и обработке стимуляторами роста

Обработка семян	Дни учета результата										За- плес- нев- ые, шт.	Процент всхоже- сти, %	Энергия прорас- тания, %
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10			
	Количество проросших семян на день учета, шт.												
Контрольный опыт	0	0	12	28	44	47	48	49	49	49	3	49	32
Обескрыленные	0	0	19	34	50	53	55	56	56	56	5	56	29
Отсортированные (ацетон)	0	0	27	64	82	89	90	90	90	90	0	90	41
Обескрыленные, отсортированные (ацетон)	0	0	30	75	82	84	85	85	85	85	0	85	41
Обескрыленные, отсортированные (этиловый спирт)	0	0	7	15	18	22	27	29	29	29	2	29	28
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные в воде на 1 сутки	0	0	36	73	89	90	90	90	90	90	0	90	41
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные в воде на 3 суток	0	5	45	78	86	86	86	86	86	86	0	86	47
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные в воде на 5 суток	0	8	62	81	85	85	85	85	85	85	0	85	64
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные в воде на 7 суток	0	3	48	79	88	88	88	88	88	88	0	88	51
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные на 2 ч в растворе Эпин-экстра (1 мл / 2 л)	0	0	36	74	85	86	87	87	87	87	0	87	44
Обескрыленные, отсортированные (ацетон), замоченные на 2 ч в растворе Циркон (1 мл / 4 л)	0	0	34	70	83	85	85	86	86	86	0	86	42

Замоченные на протяжении 5 суток семена превосходили по этому параметру контрольный опыт, показатель находился на уровне 64% и превышал контрольный на 31%. Замачивание семян на протяжении 7 суток также положительно сказалось на энергии проращения семян, по отношению к контролю этот показатель возрос на 19% и находился на уровне 51% (рис. 3). Первые всходы в вариантах с замачиванием продолжительностью 3, 5, 7 суток появились на 1 сутки раньше, чем в контрольном опыте (таблица).

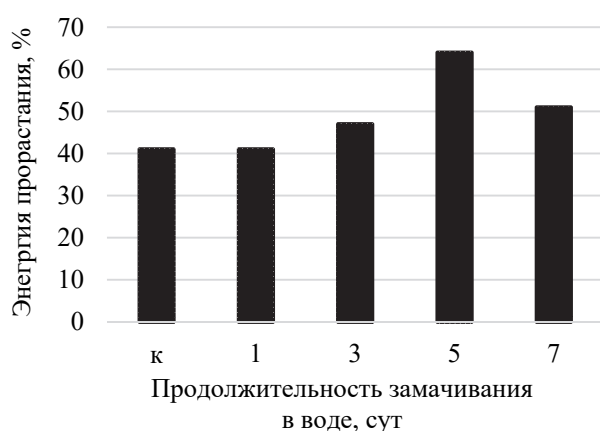


Рис. 3. Энергия проращения обескрыленных семян березы повислой с разделением в ацетоне и замачиванием в воде на протяжении 1, 3, 5, 7 суток, к – контроль

Использование стимуляторов роста Эпин-экстра и Циркон не оказало значительного влияния на регистрируемые нами показатели (рис. 4). Так, семена, замоченные в растворах Эпин-экстра и Циркон, по всхожести на 2 и 1%, а по энергии проращения на 3 и 1% соответственно превосходили семена, отсортированные ацетоном без замачивания в стимуляторах (таблица).

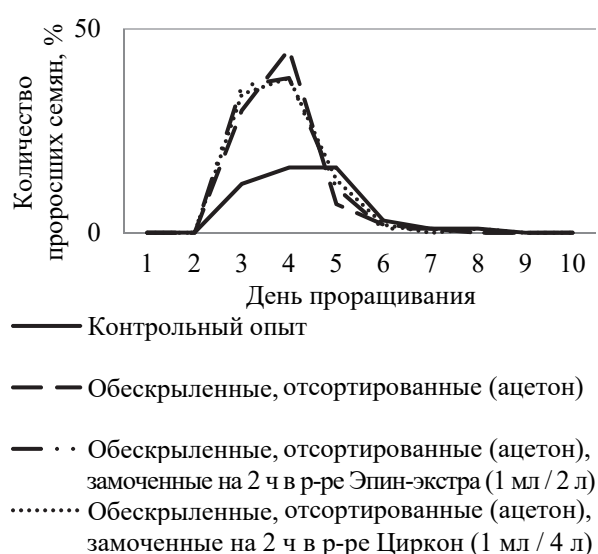


Рис. 4. Проращение семян березы повислой в контрольном опыте, отсортированных ацетоном и обескрыленных, без обработки стимулятором роста и с обработкой растворами Эпин-экстра, Циркон

Заключение. Разделение семян на фракции при помощи ацетона положительно сказывается на всхожести и энергии прорастания посевного материала березы повислой. Мы наблюдали возрастание всхожести на 36% и энергии прорастания на 9% по отношению к контрольному опыту у обескрыленных отсортированных в ацетоне семян, а также возрастание всхожести на 41% и энергии прорастания на 9% по отношению к контрольному опыту у необескрыленных отсортированных ацетоном семян.

В вариантах опыта, где проращивались семена, разделенные на фракции ацетоном, не регистрировались заплесневелые семена. В опытах, где семена не сортировались, заплесневелых семян было от 3 до 5%.

Разделение семян березы повислой на фракции при помощи 96%-ного этилового спирта зна-

чительно снижает посевные качества семян березы. Всхожесть при таком способе сортировки уменьшилась на 20%.

Оптимальный срок замачивания в воде семян березы повислой 5 суток. Такой способ ускорил прорастание семян и увеличил энергию прорастания на 31%. Увеличение сроков замачивания привело к снижению энергии прорастания. Замачивание семян в воде на протяжении 7 суток уменьшило энергию прорастания на 12% по отношению к семенам, замоченным на протяжении 5 суток.

Использование стимуляторов роста Эпин-экстра и Циркон незначительно повлияло на регистрируемые нами показатели. Семена, замоченные в растворах Эпин-экстра и Циркон, по всхожести на 2 и 1%, а по энергии прорастания на 3 и 1% соответственно превосходили семена без обработки стимуляторами.

Список литературы

1. Родионова А. С. Лесная ботаника (Морфология и систематика растений). М.: Лесная пром-сть, 1980. 243 с.
2. Tytkowski T. *Betula pendula* seed storage and sowing pre-treatment: effect on germination and seedling emergence in container cultivation // Dendrobiology. 2012. Vol. 67. P. 49–58.
3. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i technik w szkółkarstwie leśnym. Wyd. II. Warszawa: CILP, 2009. 251 s.
4. Лесная энциклопедия: в 2 т. / редкол.: Г. И. Воробьев (гл. ред.) [и др.]. М.: Сов. энцикл., 1985–1986. Т. 2. 1985. 631 с.
5. Himanen K., Nygren M. Seed soak-sorting prior to sowing affects the size and quality of 1.5-year-old containerized *Picea abies* seedlings // Silva Fenn. 2015. Vol. 49, no. 3. P. 1–14. DOI: 10.14214/SF.1056.
6. Influence of *Scot pine* seed size on the quality of seedlings produced / V. Knyazev [et al.] // IOP Conference. Series: Earth and Environmental Science. Vol. 1112. Tashkent, 2022. P. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/1112/1/012111.
7. Sanogo S., Sacande M., Damme P. Gravimetric sorting to improve germination of *Anogeissus leiocarpa* seed lots // Seed Science and Technology. 2015. Vol. 43. P. 318–323. DOI: 10.15258/SST.2015.43.2.20.
8. Kaliniewicz Z., Tylek P. Aspects of the process of sorting European black pine seeds // Forests. 2019. Vol. 10. P. 1–11. DOI: 10.3390/f10110966.
9. Казаков В. И., Казаков И. В. Влияние сортировки семян хвойных пород на посевные качества // Лесотехнический журнал. 2016. № 3. С. 161–167.
10. An evaluation of the physical characteristics of seeds of selected lilac species for seed sorting purposes and sustainable forest management / Z. Kaliniewicz [et al.] // Sustainability. 2024. Vol. 16. P. 1–18. DOI: 10.3390/su16156340.
11. Study on the selection of processing process and parameters of *Platycodon grandiflorum* seeds assisted by machine vision technology / W. Wu [et al.] // Agronomy. 2022. Vol. 12. P. 1–10. DOI: 10.3390/agronomy12112764.
12. Ламан Н. А., Алексейчук Г. Н., Калацкая Ж. Н. Современная технология предпосевной обработки семян // Наука и инновации. 2006. № 9 (43). С. 37–41.
13. Tytkowski T. Przedsiewne traktowanie nasion drzew, krzewów, pnączy i krzewinek. Warszawa: CILP, 2016. 476 s.
14. Effect of soaking treatment on germination of hard coated tropical forest tree seeds / J. Odoi [et al.] // Uganda Journal of Agricultural Sciences. 2021. Vol. 19. P. 1–9. DOI: 10.4314/UJAS.V19I2.1.
15. Himanen K., Nygren M. Effects of seed pre-soaking on the emergence and early growth of containerized Norway spruce seedlings // New Forests. 2013. Vol. 45. P. 71–82. DOI: 10.1007/s11056-013-9392-6.
16. Кречетова Н. В. Справочник по лесосеменному делу. М.: Лесная пром-сть, 1978. 334 с.
17. Семена деревьев и кустарников. Метод определения всхожести: ГОСТ 13056.6–97. М.: Госстандарт, 1997. 31 с.
18. Chengjun Y., Guiying L. Effect of NaCl stress on germination of birch seeds // Journal of Chemical and Pharmaceutical Research. 2014. No. 6 (6). P. 1980–1986.

References

1. Rodionova A. S. *Lesnaya botanika (Morfologiya i sistematika rasteniy)* [Forest botany (Morphology and systematics of plants)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 243 p. (In Russian).
2. Tylkowski T. *Betula pendula* seed storage and sowing pre-treatment: effect on germination and seedling emergence in container cultivation. *Dendrobiology*, 2012, vol. 67, pp. 49–58.
3. Szabla K., Pabian R. Szkółkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i technik w szkółkarstwie leśnym. Warsaw, CILP Publ., 2009. 251 p. (In Poland).
4. *Lesnaya entsiklopediya: v 2 tomakh* [Forest Encyclopedia: in 2 vol.]. Moscow, Sovetskaya Entsiklopediya Publ., 1985. Vol. 2. 631 p. (In Russian).
5. Himanen K., Nygren M. Seed soak-sorting prior to sowing affects the size and quality of 1.5-year-old containerized *Picea abies* seedlings. *Silva Fenn.*, 2015, vol. 49, no. 3, pp. 1–14. DOI: 10.14214/SF.1056.
6. Knyazev V., Lapshina M., Borodin N., Tkachev V. V., Lebedev V. Influence of Scott pine seed size on the quality of seedlings produced. *IOP Conference*, series: Earth and Environmental Science, vol. 1112. Tashkent, 2022, pp. 1–6. DOI: 10.1088/1755-1315/1112/1/012111.
7. Sanogo S., Sacande M., Damme P. Gravimetric sorting to improve germination of *Anogeissus leiocarpa* seed lots. *Seed Science and Technology*, 2015, vol. 43, pp. 318–323. DOI: 10.15258/SST.2015.43.2.20.
8. Kaliniewicz Z., Tylek P. Aspects of the process of sorting European black pine seeds. *Forests*, 2019, vol. 10, pp. 1–11. DOI: 10.3390/f10110966.
9. Kazakov V. I., Kazakov I. V. Influence of conifer seed sorting on sowing qualities. *Lesotekhnicheskii zhurnal* [Forestry Engineering Journal], 2016, no. 3, pp. 161–167 (In Russian).
10. Kaliniewicz Z., Konopka S., Krzysiak Z., Tylek P. An evaluation of the physical characteristics of seeds of selected lilac species for seed sorting purposes and sustainable forest management. *Sustainability*, 2024, vol. 16, pp. 1–18. DOI: 10.3390/su16156340.
11. Wu W., Cheng Y., Tu K., Ning C., Yang C., Dong X., Cao H., Sun Q. Study on the selection of processing process and parameters of *Platycodon grandiflorum* seeds assisted by machine vision technology. *Agronomy*, 2022, vol. 12, pp. 1–10. DOI: 10.3390/agronomy12112764.
12. Laman N. A., Alekseychuk G. N., Kalackaja Zh. N. Modern technology of pre-sowing seed treatment. *Nauka i innovatsii* [Science and innovation], 2006, no. 9 (43), pp. 37–41 (In Russian).
13. Tylkowski T. Przedsiewne traktowanie nasion drzew, krzewów, pnączy i krzewinek. Warsaw, CILP Publ., 2016. 476 p. (In Poland).
14. Odoi J., Mugeni D., Kiiza R., Apolot B., Gwali S. Effect of soaking treatment on germination of hard coated tropical forest tree seeds. *Uganda Journal of Agricultural Sciences*, 2021, vol. 19, pp. 1–9. DOI: 10.4314/UJAS.V19I2.1.
15. Himanen K., Nygren M. Effects of seed pre-soaking on the emergence and early growth of containerized Norway spruce seedlings. *New Forests*, 2013, vol. 45, pp. 71–82. DOI: 10.1007/s11056-013-9392-6.
16. Krechetova N. V. *Spravochnik po lesosemennomu delu* [Handbook of forest seed production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 334 p. (In Russian).
17. GOST 13056.6–97. Seeds of trees and shrubs. Method for determination of germination. Moscow, Gosstandart Publ., 1997. 31 p. (In Russian).
18. Chengjun Y., Guiying L. Effect of NaCl stress on germination of birch seeds. *Journal of Chemical and Pharmaceutical Research*, 2014, no. 6 (6), pp. 1980–1986.

Информация об авторе

Татун Евгений Владимирович – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: evgeniy.tatun@mail.ru

Information about the author

Tatun Yauheni Uladzimiravich – PhD student, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: evgeniy.tatun@mail.ru

Поступила 14.03.2025

УДК 630*561.21

Л. Ф. Поплавская, С. В. Ребко, П. В. Тупик

Белорусский государственный технологический университет

**ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТИЧЕСКИХ ФАКТОРОВ И ИХ ВЛИЯНИЕ
НА РАДИАЛЬНЫЙ ПРИРОСТ СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
РАЗЛИЧНЫХ ПРОВЕНИЕНЦИЙ**

В статье дается оценка изменения климатических факторов (сумма эффективных температур выше 10°C и сумма осадков), рассмотрено их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различного географического происхождения при произрастании климатических экотипов в географических лесных культурах на территории Березинско-Предполесского геоботанического района подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов Республики Беларусь. Показано изменение основных климатических показателей в районе произрастания географических лесных культур сосны обыкновенной по 5-летним периодам исследований. Определена средняя ширина годичных слоев древесины у различных климатических экотипов сосны обыкновенной за более чем полувековой период, выявлены предельные значения их параметров по годам исследований (минимум, максимум, размах), определены коэффициенты вариации исследуемых провениенций сосны обыкновенной по ширине годичного кольца. Рассчитаны коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя у различных климатических экотипов сосны обыкновенной с суммой эффективных температур выше 10°C, суммой осадков за вегетационный период, рассеянной солнечной радиацией, высотой снежного покрова, гидротермическим коэффициентом Селянинова. Установлена взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провениенций с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период.

Ключевые слова: сосна обыкновенная, климатический экотип, радиальный прирост, ширина годичного кольца древесины, ранняя и поздняя древесина.

Для цитирования: Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Изменение климатических факторов и их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провениенций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 84–107.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-10.

L. F. Paplauskaya, S. U. Rabko, P. V. Tupik

Belarusian State Technological University

**CHANGES IN CLIMATIC FACTORS AND THEIR IMPACT ON RADIAL
GROWTH OF SCOTS PINE OF DIFFERENT PROVENANCES**

The article provides an assessment of changes in climatic factors (the sum of effective temperatures above 10°C and the sum of precipitation) and studies their influence on the radial growth of Scots pine of different geographical origins when growing climatic ecotypes in geographical forest plantations on the territory of the Berezinsko-Predpolessky geobotanical region of the hornbeam-oak-dark coniferous forest subzone of the Republic of Belarus. The change in the main climatic indicators in the area of growth of geographical forest plantations of Scots pine is shown over 5-year research periods. The average width of annual wood rings in different climatic ecotypes of Scots pine was determined for more than half a century, the limiting values of their parameters were identified by years of research (minimum, maximum, range), and the coefficients of variation of the studied Scots pine provenances by the width of the annual ring were determined. The correlation coefficients between the width of the annual layer in different climatypes of Scots pine with the sum of effective temperatures above 10°C, the sum of precipitation during the growing season, scattered solar radiation, the depth of snow cover, and the Selyaninov hydrothermal coefficient were calculated. A relationship has been established between the index of the annual ring width of Scots pine wood of various provenances and the indices of the sum of effective temperatures above 10°C and the sum of precipitation during the growing season.

Keywords: Scots pine, climatic ecotype, radial growth, width of annual wood ring, early and late wood.

For citation: Paplauskaya L. F., Rabko S. U., Tupik P. V. Changes in climatic factors and their impact on radial growth of Scots pine of different provenances. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 84–107 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-10.

Введение. Для изучения географической изменчивости видов древесных растений, которые имеют обширный ареал распространения, создают географические лесные культуры. Под влиянием климата, почв, продолжительности вегетационного периода, светового периода у древесных пород с обширным ареалом произрастания сформировались наследственные географические расы, или климатические экотипы (климатипы). При произрастании в других климатических условиях ряд признаков и свойств, присущих климатипам, сохраняется. Вместе с тем новые условия произрастания оказывают влияние на рост и развитие растений. Наиболее важные проблемы, с которыми сталкиваются лесоводы, требуют выяснения роли различных факторов внешней среды на рост многолетних древесных растений.

Согласно закону минимума, сформулированному Либихом (Liebich, 1843) и позднее измененному Блэкманом (Blackman, 1905) и Митчерлихом (Mitscherlich, 1909), предполагается, что если на рост растений влияет ряд отдельных факторов, его интенсивность будет ограничена тем фактором, который имеется в меньшем количестве. Однако впоследствии многими исследователями было доказано, что факторы, ограничивающие рост, действуют в комплексе внешних условий. Исследования, проведенные Фритсом (Frits, 1958), показали, что около 50% различий в росте бука по диаметру было вызвано изменением максимальной температуры и влажности почвы. При этом изменение температуры было важным весной, а влажность почвы – летом. Третьим фактором по важности была относительная влажность воздуха, затем интенсивность солнечного света и количество осадков [1].

В настоящее время изменения климата стали общепризнанным фактом, они отмечаются практически во всех природных зонах и фиксируются по всем компонентам экосистем. Наблюдаются изменения режима атмосферных осадков в различных регионах мира и в этой связи отмечается варьирование температуры приземного воздуха. Глобальное повышение температуры воздуха может привести к уменьшению снегового запаса, речного стока, почвенной влаги, увеличению засушливости и другим негативным последствиям. Древесная растительность является достоверным индикатором преобразования природной среды и климата. В связи с этим в дендроэкологических исследованиях широко используется метод древесно-кольцевого анализа, который позволяет оценить реакцию радиального прироста деревьев на изменения основных климатических факторов – температуры воздуха и осадков [2].

Анализ роста климатических экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах позволяет выявить их адаптацию к новым

условиям произрастания и установить перспективные из них для дальнейшего использования при лесоразведении и лесовосстановлении. Одним из наиболее важных показателей адаптации древесных видов к изменившимся условиям произрастания является радиальный прирост деревьев. Изучение реакции ширины годичного слоя на погодные условия позволяет выявить лимитирующие факторы на формирование запаса древесины определенных географических рас. Результаты, полученные в Швеции и Финляндии, положены в основу моделей для прогнозирования влияния климатических факторов на запас древесины и сохранность потомства сосны обыкновенной при перемещении семян. В географических лесных культурах сосны обыкновенной в Латвии исследование ширины годичного слоя показало, что климатипы из более теплых мест произрастания имеют меньшую чувствительность роста к погодным условиям и более устойчивы к неблагоприятным погодным условиям из-за способности использовать более длинный вегетационный период [3, 4].

Исследованиями Н. С. Воробьева, А. А. Епishкова и Д. В. Белоброва установлено, что на прирост сосны обыкновенной оказывают выраженное положительное влияние температуры января, при этом недостаток осадков в июле ведет к формированию экстремально узких годичных колец. Также выявлено, что в динамике индексов радиального прироста присутствует выраженная периодическая составляющая с периодом 12,3 года, при этом связь индексов прироста с солнечной активностью имеет разный характер на разных временных интервалах [5].

А. Е. Кухта, О. В. Максимова, В. В. Кузнецова установили, что по рядам радиальных приростов сосны обыкновенной возможно проводить наблюдения за типичным поведением изменчивости деревьев вне зависимости от типа биотопа. Это дает основание к осуществлению долгосрочного ретроспективного анализа взаимоотношений древостоев и среды с использованием древесно-кольцевых хронологий без учета условий произрастания. Авторами подтверждена роль осадков как лимитирующего фактора для радиальных и линейных приростов в ходе фенофазы роста междоузлий и развития ранней древесины. Лимитирующая роль температур обнаружена для радиальных приростов лишь на этапах формирования поздней древесины и накопления ресурсов для роста в следующем вегетационном сезоне [6].

О. С. Железновой и С. А. Тобратовым проанализированы закономерности радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных топоэкологических условиях Мещерской низменности (Рязанская область России), результатом которых стало построение обобщенных

хронологий для 16 местообитаний, отличающихся особенностями рельефа дневной поверхности и коренных пород. Несмотря на относительно мало-контрастный рельеф, средний прирост по диаметру сосны обыкновенной в пределах территории исследования различается в 2,5 раза (1,5–3,9 мм/год). Показано, что ключевым фактором, влияющим на ширину годичных колец сосны, является количество доступной почвенной влаги. Как ее избыток (в условиях болот), так и недостаток (в местообитаниях, приуроченных к песчаным массивам) негативно сказываются на величине радиального прироста. Установлено, что в переувлажненных местообитаниях наблюдается положительная корреляция прироста сосны с температурой и отрицательная – с осадками осени предыдущего года. Для сосны обыкновенной из засушливых местообитаний типична положительная корреляция прироста с осадками осени, мая и с температурой зимы. Отрицательная связь прироста болотных сосен с количеством осадков и стоком может проявляться с лагом 1–4 года [7].

С. Р. Кузьминым и Р. В. Роговцевым установлено, что условия в южной тайге Средней Сибири по сравнению с лесостепью в Западной Сибири способствуют более отчетливо выраженным различиям между климатипами сосны обыкновенной, которые проявляются в достижении максимальных приростов по диаметру в разном возрасте, в средних значениях ширины годичного кольца и доли поздней древесины, а также в разной реакции поздней древесины на погодные условия [8].

И. В. Никифорошкиным с соавторами методами корреляционного анализа выявлено, что в условиях Ленинградской области России среднегодовые температура воздуха и количество осадков оказывают куда большее влияние на величину радиального прироста сосны обыкновенной, чем эти климатические показатели за вегетационный период или за июль [2].

В. А. Симоненковой и А. Ю. Кулагиным получены результаты оценки радиального прироста сосны обыкновенной на зональном экотоне леса и степи России. Установлено, что в условиях экотона изменения в окружающей среде приводят к значительным изменениям в экосистемах. В таких ситуациях адаптивные реакции лесообразующих видов древесных растений, по мнению авторов, обеспечивают устойчивость экосистем в изменяющихся условиях окружающей среды. Динамика радиального прироста деревьев в условиях зонального экотона позволяет прогнозировать состояние лесных насаждений. Результаты измерений радиального прироста сосны обыкновенной на зональном экотоне леса и степи подтверждают тесную связь деятельности камбия с количеством атмосферных осадков, которая наиболее отчетливо проявляется в минимальной ширине древесных

колец при минимуме осадков в текущем или предыдущем сезоне вегетации. Недостаток увлажнения является одним из лимитирующих факторов для прироста сосны обыкновенной [9].

Р. Т. Шереметовым и В. И. Уфимцевым [10] изучено влияние температуры воздуха на радиальный прирост сосны обыкновенной как один из важных экологических факторов, определяющих прирост деревьев на отвалах угольных предприятий Кузбасса. Проведен анализ корреляционных связей радиального прироста со среднемесячной температурой и суммами положительных температур как вегетационного, так и предшествующего ему осенне-зимнего периода в условиях техногенного воздействия. Авторами установлено, что вклад тепловых условий в годичный прирост сосны обыкновенной на отдельных этапах осенне-зимнего и вегетационного периодов не равноценный. Существенные различия проявляются по температуре и между исследованными площадками. Наибольшее значение в осенне-зимний этап имеют температурные условия октября, когда средняя месячная температура колеблется от 5 до 0°C (в среднем 33%). В зимнее время наибольшее влияние оказывает температура февраля, который часто бывает самым холодным месяцем в году (22%). В целом наиболее существенными для динамики годичного прироста являются температурный режим осени и начала зимы (59%). Исследования влияния температурных условий текущего и предшествующего месяцев осенне-зимнего времени значимых корреляционных связей с приростом не выявили. Значения термических условий отдельных этапов вегетационного периода для годичного прироста существенно различаются. Наибольшее значение для прироста имеет температура мая (38%) и августа (26%). Существенного влияния температуры июня и июля, а также суммарного вклада температуры за период с мая по август не выявлено. Значимый вклад в прирост сосны вносит суммарная величина средних температур мая и июня (31%) и еще больший – августа и сентября (49%). Оценка тесноты связи годичного прироста с суммой положительных температур показала, что влияние тепловых ресурсов августа (43%) более чем в 2 раза превышает влияние мая (18%).

С. А. Лысенко и В. Ф. Логиновым проведен анализ связи лесистости и количества летних осадков на территории Беларуси. Показано, что пространственная структура многолетнего поля осадков во многом объясняется пространственными особенностями ее лесного покрова. В районах с высокой лесистостью летом выпадает на 5–15% больше осадков, чем на обезлесенной местности. После экстремально засушливых 2014–2015 гг. произошла существенная трансформация поля летних осадков: оно стало практически зеркально

противоположным полю летней температуры воздуха, что свидетельствует о важной роли местного испарения в формировании осадков в летние месяцы. Для предотвращения дальнейшего снижения уровня поверхностных и грунтовых вод в Беларуси необходимы дополнительные площади лесонасаждений, способные уменьшить поверхностный сток в холодный период года [11].

С. А. Лысенко для региона Белорусского Полесья (юг Беларуси) получены оценки изменений микроклимата в результате повторного заболачивания земель на основе мезомасштабной гидродинамической модели WRF (Weather Research and Forecasting), балансовой модели атмосферной влаги и данных дистанционного зондирования Земли. По результатам моделирования (в численных экспериментах рассмотрены наиболее засушливые летние периоды последних двух десятилетий) построены карты изменений среднесуточной температуры, амплитуды суточного хода температуры, суммарного испарения и атмосферных осадков, которые могут использоваться для прогнозирования последствий мелиорации в различных сценариях адаптации к изменению климата [12].

Рядом ученых также проведены исследования по изучению эколого-климатических откликов и построению закономерностей изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной [13–16].

Цель наших исследований – выявить влияние климатических факторов на изменения радиального прироста у 17 потомств сосны обыкновенной 60-летнего возраста, произрастающих в географических культурах Негорельского учебно-опытного лесхоза, расположенного в пределах Березинско-Предполесского геоботанического района подзоны грабово-дубово-темнохвойных лесов.

Среди климатических показателей, влияющих на рост сосны различных географических экотипов были выбраны сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период (с апреля по октябрь), сумма осадков и суммарная солнечная радиация. Материалы изменения климатических показателей за 1968 по 1985 г. по сумме эффективных температур и осадкам были взяты из данных метеостанции Негорельского учебно-опытного лесхоза, а с 1986 по 2021 г. – по метеостанции «Столбцы». Данные по суммарной солнечной радиации за 1968–2021 гг. взяты по метеостанции «Минск».

Изменение ширины годичного слоя и доли в нем поздней древесины изучали по модельным деревьям. У каждого климатипа были отобраны по три модели, которые соответствовали средним показателям климатипа по диаметру и высоте с хорошей очищаемостью от сучьев.

Лучшими показателями роста как по высоте, так и по диаметру характеризуются прибалтий-

ские (латвийский, эстонский) и витебский климатипы. Северные климатипы (архангельский, ленинградский, вологодский) имеют медленный рост, особенно в высоту, образуют более сбежистые стволы. Южные климатипы образуют полндревесные стволы (коэффициент формы составляет 0,72–0,74) и имеют средний рост как по высоте, так и по диаметру. Анализ изменения климатических показателей проводили по пятилетним периодам.

Основная часть. Для успешного роста растений, в том числе и древесных, важным показателем является сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период. Анализируя изменение данного показателя за 60-летний период роста географических культур сосны обыкновенной, можно сделать вывод о постепенном его увеличении с $2124,4^{\circ}\text{C}$ в первом периоде до $2914,1^{\circ}\text{C}$ в период с 2016 по 2021 г. (табл. 1). Минимальная сумма эффективных температур выше 10°C зафиксирована в 1978 г., когда этот показатель был равным $1710,8^{\circ}\text{C}$ или только 69,9% от средней многолетней величины за период наблюдений. Максимальная теплообеспеченность за вегетационный период отмечена в 2020 г., сумма эффективных температур выше 10°C в этом году составила $3791,6^{\circ}\text{C}$, что превысило среднюю многолетнюю норму на 55%.

Наиболее существенное повышение суммы эффективных температур выше 10°C наблюдается в последние 20 лет, начиная с 2001 г. (рис. 1). Сумма осадков за наблюдаемый период распределена более равномерно, однако и здесь наряду с периодами обильных осадков встречаются засушливые годы. Периоды с минимальным количеством осадков отмечены с 1991 по 2000 г. Сумма осадков за вегетационный период в этот десятилетний интервал составляла 368,7–385,2 мм.

В это десятилетие встречались годы с минимальным количеством осадков – в 1995 г. сумма осадков составила 252,4 мм, в 1999 г. – 248,6 мм. Максимальное количество осадков за вегетационный период отмечено в 1998 г. (631,6 мм).

Анализ радиального прироста за 60-летний период показал значительные различия данного показателя у исследуемых климатипов (табл. 2, рис. 2–17). У сосны обыкновенной северного происхождения (архангельский, вологодский климатипы) максимальная ширина годичного слоя наблюдается в возрасте 30–35 лет. Начиная с 50-летнего возраста происходит резкое снижение радиального прироста (рис. 2, 5).

У томского климатипа, который относится к сибирскому подвиду сосны обыкновенной, максимальный прирост формируется на 10 лет раньше (в 20-летнем возрасте) и продолжается на протяжении последующих 30 лет (рис. 4).

Таблица 1

**Изменение основных климатических показателей в районе произрастания
географических культур сосны обыкновенной**

Климатический показатель	Период										
	1968–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2021
Сумма эффективных температур выше 10°C за вегетационный период с апреля по октябрь, °C	2088,4	2303,6	1947,0	2367,9	2288,4	2431,7	2372,1	3122,3	2842,9	2652,9	2682,3
	2105,4	2432,7	1950,8	2088,4	1869,3	2469,2	2270,2	2818,5	2596,9	2722,5	2460,2
	2180,5	2061,8	1710,4	2508,9	2463,2	2286,9	2373,7	2486,2	2388,2	2742,6	3103,8
		1956,8	2143,8	2146,1	2500,6	2441,8	2754,0	2364,2	2421,6	2637,0	2881,7
		2567,7	2016,5	2244,1	2153,3	2603,2	2566,2	2631,3	2759,2	2591,0	3791,6
Среднее значение	2124,7	2264,5	1953,7	2274,0	2254,9	2446,5	2460,3	2684,5	2617,2	2644,4	2914,1
Сумма осадков за вегетационный период с апреля по октябрь, мм	422,2	356,9	318,0	491,7	439,9	329,8	346,3	538,3	511,2	418,0	541,2
	559,0	414,5	561,1	529,9	394,4	383,7	334,6	393,2	327,8	565,7	582,1
	558,4	532,0	527,2	302,2	380,7	454,5	631,6	401,5	467,8	404,4	387,3
		533,0	364,0	323,8	500,8	423,3	248,6	423,9	447,3	494,1	376,6
		412,2	466,4	516,8	454,8	252,4	365,2	310,9	475,9	412,6	339,0
Среднее значение	513,2	449,7	447,3	434,0	434,1	368,7	385,2	413,5	446,0	458,9	519,0

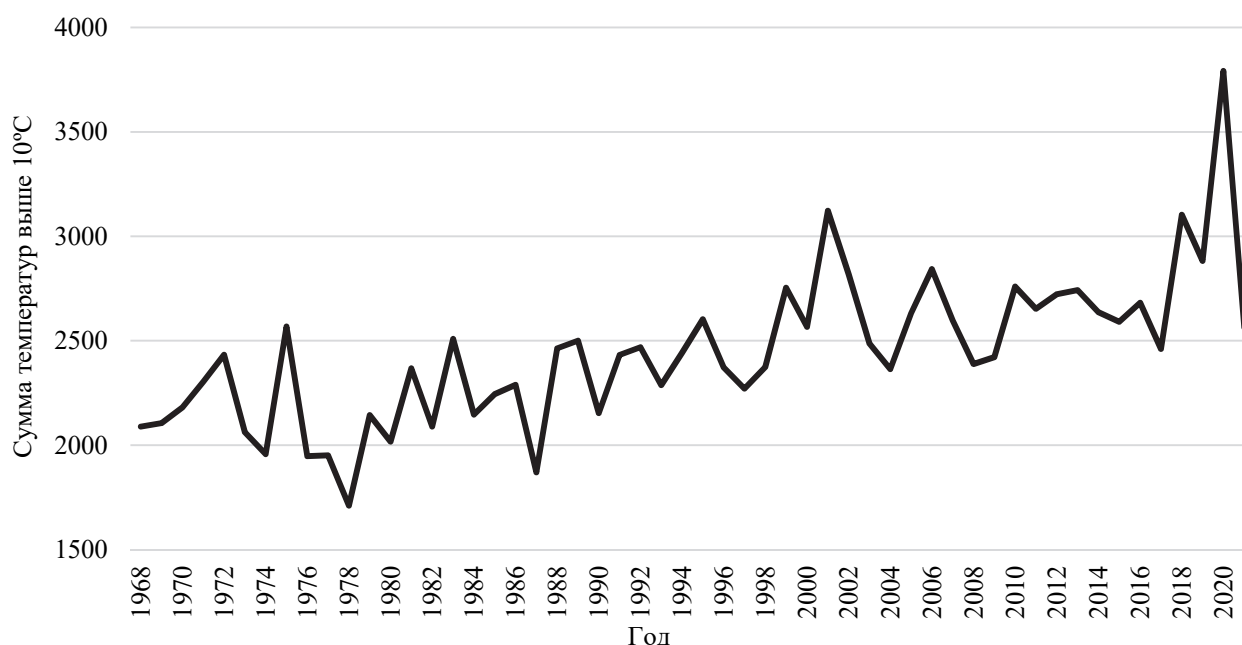


Рис. 1. Изменение суммы эффективных температур выше 10°C по годам исследований

Снижение радиального прироста ниже среднего отмечается в возрасте 55 лет.

Формирование годичного слоя в период раннего возраста происходит в основном за счет ранней древесины, которая формируется в первой половине вегетации.

С возрастом в годичном слое возрастает доля поздней древесины – к 60 годам у архангельского, вологодского, ленинградского и томского климатипов она составляет более 50%. Средний возраст максимального радиального прироста у южных климатипов курского, белгородского, волгоградского, ростовского, полтавского происхождений отмечается в 10 лет и продолжается до 30–35-летнего возраста.

В 40-летнем возрасте происходит значительное сокращение радиального прироста. Наиболее раннее снижение радиального прироста отмечено у ростовского климатипа, ширина годичного слоя которого в возрасте 15 лет не превышала 2 мм. У курского, белгородского, волгоградского и полтавского происхождений также наблюдается снижение радиального прироста, однако оно проходит постепенно и до 30-летнего возраста превышает показатели среднего прироста за весь период наблюдения. Башкирский и ульяновский климатипы, также имеют максимальный прирост в возрасте 10–15 лет. Значительное снижение наблюдается у этих климатипов уже в 20–25-летнем возрасте.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя различных климатипов сосны обыкновенной с суммой эффективных температур выше 10°C (над чертой) и суммой осадков (под чертой)

Климатип	Период											
	1968–1970	1971–1975	1976–1980	1981–1985	1986–1990	1991–1995	1996–2000	2001–2005	2006–2010	2011–2015	2016–2021	За весь период
Архангельский	<u>-0,61</u> <u>0,99</u>	<u>-0,71</u> <u>0,30</u>	<u>-0,52</u> <u>0,46</u>	<u>-0,04</u> <u>0,56</u>	<u>0,39</u> <u>0,81</u>	<u>0,14</u> <u>-0,35</u>	<u>-0,69</u> <u>-0,07</u>	<u>0,04</u> <u>0,86</u>	<u>0,29</u> <u>0,85</u>	<u>0,68</u> <u>-0,08</u>	<u>-0,58</u> <u>0,76</u>	<u>-0,10</u> <u>-0,41</u>
Ленинградский	<u>0,20</u> <u>-0,62</u>	<u>0,31</u> <u>-0,78</u>	<u>0,18</u> <u>-0,01</u>	<u>0,47</u> <u>-0,63</u>	<u>-0,33</u> <u>0,44</u>	<u>-0,18</u> <u>0,08</u>	<u>0,51</u> <u>0,07</u>	<u>-0,24</u> <u>-0,56</u>	<u>0,26</u> <u>0,43</u>	<u>0,29</u> <u>-0,31</u>	<u>-0,20</u> <u>-0,44</u>	<u>-0,02</u> <u>0,12</u>
Томский	<u>0,96</u> <u>0,81</u>	<u>0,13</u> <u>0,20</u>	<u>-0,55</u> <u>-0,21</u>	<u>0,54</u> <u>-0,58</u>	<u>-0,47</u> <u>0,06</u>	<u>-0,23</u> <u>0,10</u>	<u>-0,32</u> <u>-0,30</u>	<u>0,16</u> <u>0,21</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,26</u>	<u>0,71</u> <u>0,02</u>	<u>-0,68</u> <u>0,78</u>	<u>-0,09</u> <u>-0,46</u>
Вологодский	<u>-0,04</u> <u>-0,79</u>	<u>0,04</u> <u>0,09</u>	<u>-0,71</u> <u>0,65</u>	<u>-0,42</u> <u>0,16</u>	<u>0,56</u> <u>0,81</u>	<u>-0,59</u> <u>0,72</u>	<u>0,58</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,08</u> <u>0,51</u>	<u>-0,02</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,72</u> <u>0,08</u>	<u>0,20</u> <u>-0,41</u>	<u>0,05</u> <u>-0,08</u>
Эстонский	–	–	<u>-0,67</u> <u>0,40</u>	<u>0,55</u> <u>-0,19</u>	<u>0,21</u> <u>0,25</u>	<u>0,62</u> <u>-0,74</u>	<u>-0,41</u> <u>0,46</u>	<u>0,34</u> <u>-0,49</u>	<u>0,39</u> <u>0,45</u>	<u>0,42</u> <u>-0,52</u>	<u>0,31</u> <u>0,84</u>	<u>-0,64</u> <u>-0,05</u>
Латвийский	<u>-0,83</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,03</u> <u>-0,50</u>	<u>-0,47</u> <u>0,67</u>	<u>0,27</u> <u>-0,46</u>	<u>0,09</u> <u>0,66</u>	<u>0,39</u> <u>-0,47</u>	<u>-0,10</u> <u>0,76</u>	<u>-0,01</u> <u>-0,91</u>	<u>-0,30</u> <u>0,13</u>	<u>0,79</u> <u>0,54</u>	<u>-0,83</u> <u>0,55</u>	<u>0,01</u> <u>0,23</u>
Витебский	<u>0,70</u> <u>0,99</u>	<u>-0,02</u> <u>-0,07</u>	<u>0,38</u> <u>-0,79</u>	<u>0,77</u> <u>-0,64</u>	<u>-0,02</u> <u>0,30</u>	<u>0,14</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,07</u> <u>-0,02</u>	<u>0,08</u> <u>0,93</u>	<u>-0,57</u> <u>0,39</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,45</u>	<u>-0,57</u> <u>0,18</u>	<u>-0,09</u> <u>-0,14</u>
Минский	<u>-0,96</u> <u>-0,42</u>	<u>-0,37</u> <u>-0,02</u>	<u>-0,56</u> <u>0,69</u>	<u>0,19</u> <u>0,13</u>	<u>0,54</u> <u>0,47</u>	<u>0,74</u> <u>0,70</u>	<u>0,51</u> <u>0,45</u>	<u>-0,71</u> <u>-0,51</u>	<u>-0,27</u> <u>-0,55</u>	<u>0,61</u> <u>-0,11</u>	<u>-0,05</u> <u>-0,23</u>	<u>-0,08</u> <u>0,04</u>
Ульяновский	<u>-0,99</u> <u>-0,59</u>	<u>0,18</u> <u>-0,65</u>	<u>-0,35</u> <u>0,23</u>	<u>-0,38</u> <u>0,74</u>	<u>0,48</u> <u>0,62</u>	<u>0,04</u> <u>-0,16</u>	<u>-0,24</u> <u>0,81</u>	<u>-0,55</u> <u>-0,14</u>	<u>0,87</u> <u>0,11</u>	<u>0,21</u> <u>-0,18</u>	<u>-0,85</u> <u>0,55</u>	<u>-0,14</u> <u>-0,31</u>
Башкирский	<u>0,25</u> <u>-0,57</u>	<u>0,54</u> <u>-0,12</u>	<u>0,31</u> <u>-0,87</u>	<u>-0,72</u> <u>0,28</u>	<u>-0,73</u> <u>-0,60</u>	<u>0,10</u> <u>-0,43</u>	<u>0,57</u> <u>0,40</u>	<u>0,80</u> <u>0,73</u>	<u>-0,43</u> <u>0,65</u>	<u>0,83</u> <u>0,29</u>	<u>0,41</u> <u>-0,33</u>	<u>-0,18</u> <u>-0,56</u>
Гродненский	<u>-0,78</u> <u>-0,98</u>	<u>0,01</u> <u>-0,41</u>	<u>0,59</u> <u>-0,09</u>	<u>0,01</u> <u>0,15</u>	<u>-0,26</u> <u>0,20</u>	<u>0,35</u> <u>-0,62</u>	<u>-0,63</u> <u>0,40</u>	<u>-0,21</u> <u>-0,76</u>	<u>0,61</u> <u>-0,06</u>	<u>-0,64</u> <u>0,40</u>	<u>0,08</u> <u>-0,08</u>	<u>-0,18</u> <u>-0,62</u>
Курский	<u>0,59</u> <u>0,99</u>	<u>0,55</u> <u>-0,81</u>	<u>-0,77</u> <u>0,31</u>	<u>0,78</u> <u>-0,04</u>	<u>-0,75</u> <u>-0,62</u>	<u>-0,61</u> <u>0,60</u>	<u>0,60</u> <u>-0,89</u>	<u>-0,04</u> <u>0,92</u>	<u>0,92</u> <u>0,19</u>	<u>-0,47</u> <u>-0,10</u>	<u>-0,66</u> <u>0,63</u>	<u>-0,15</u> <u>-0,71</u>
Белгородский	<u>0,99</u> <u>0,54</u>	<u>0,48</u> <u>-0,26</u>	<u>0,08</u> <u>0,59</u>	<u>0,01</u> <u>-0,54</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,37</u>	<u>-0,07</u> <u>0,30</u>	<u>-0,86</u> <u>0,16</u>	<u>-0,01</u> <u>0,84</u>	<u>-0,78</u> <u>-0,47</u>	<u>0,52</u> <u>0,27</u>	<u>0,16</u> <u>0,49</u>	<u>0,01</u> <u>-0,61</u>
Волгоградский	<u>0,77</u> <u>0,01</u>	<u>-0,73</u> <u>0,42</u>	<u>-0,72</u> <u>0,07</u>	<u>0,32</u> <u>0,06</u>	<u>0,22</u> <u>0,46</u>	<u>0,41</u> <u>-0,70</u>	<u>0,67</u> <u>-0,70</u>	<u>0,43</u> <u>0,52</u>	<u>-0,62</u> <u>-0,22</u>	<u>0,86</u> <u>0,14</u>	<u>-0,41</u> <u>0,78</u>	<u>-0,21</u> <u>-0,54</u>
Ростовский	<u>-0,91</u> <u>-0,89</u>	<u>0,15</u> <u>-0,10</u>	<u>-0,05</u> <u>-0,64</u>	<u>0,32</u> <u>-0,44</u>	<u>0,23</u> <u>0,31</u>	<u>0,40</u> <u>-0,28</u>	<u>0,38</u> <u>0,44</u>	<u>-0,57</u> <u>-0,57</u>	<u>-0,14</u> <u>0,68</u>	<u>-0,23</u> <u>-0,48</u>	<u>-0,56</u> <u>0,83</u>	<u>-0,13</u> <u>-0,32</u>
Хмельницкий	<u>-0,44</u> <u>-0,47</u>	<u>0,09</u> <u>-0,53</u>	<u>0,26</u> <u>0,03</u>	<u>-0,40</u> <u>0,10</u>	<u>-0,59</u> <u>-0,44</u>	<u>-0,21</u> <u>0,31</u>	<u>-0,85</u> <u>0,56</u>	<u>-0,62</u> <u>-0,41</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,24</u>	<u>0,70</u> <u>0,32</u>	<u>-0,12</u> <u>-0,33</u>	<u>-0,03</u> <u>-0,07</u>
Полтавский	<u>-0,93</u> <u>-0,87</u>	<u>0,14</u> <u>0,01</u>	<u>0,13</u> <u>-0,14</u>	<u>-0,42</u> <u>-0,48</u>	<u>-0,31</u> <u>-0,09</u>	<u>0,19</u> <u>-0,46</u>	<u>0,46</u> <u>-0,59</u>	<u>0,61</u> <u>0,22</u>	<u>-0,71</u> <u>0,19</u>	<u>0,57</u> <u>0,20</u>	<u>-0,57</u> <u>0,70</u>	<u>-0,14</u> <u>-0,61</u>

Примечание. Полуужирным шрифтом выделены коэффициенты корреляции, статистически достоверно подтверждающие имеющийся уровень корреляционной связи.

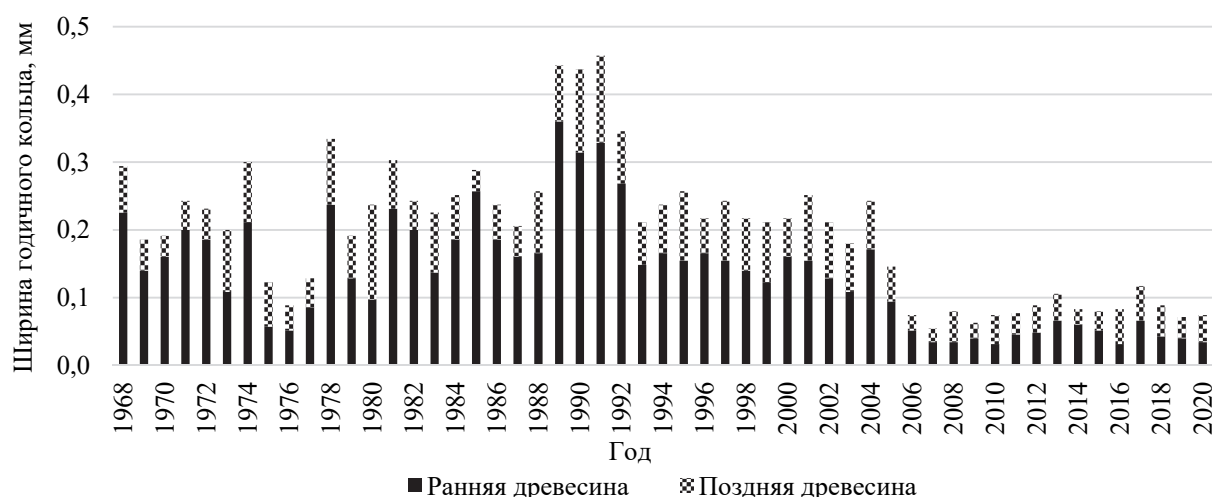


Рис. 2. Изменение ширины годичного слоя древесины архангельского климатипа сосны обыкновенной

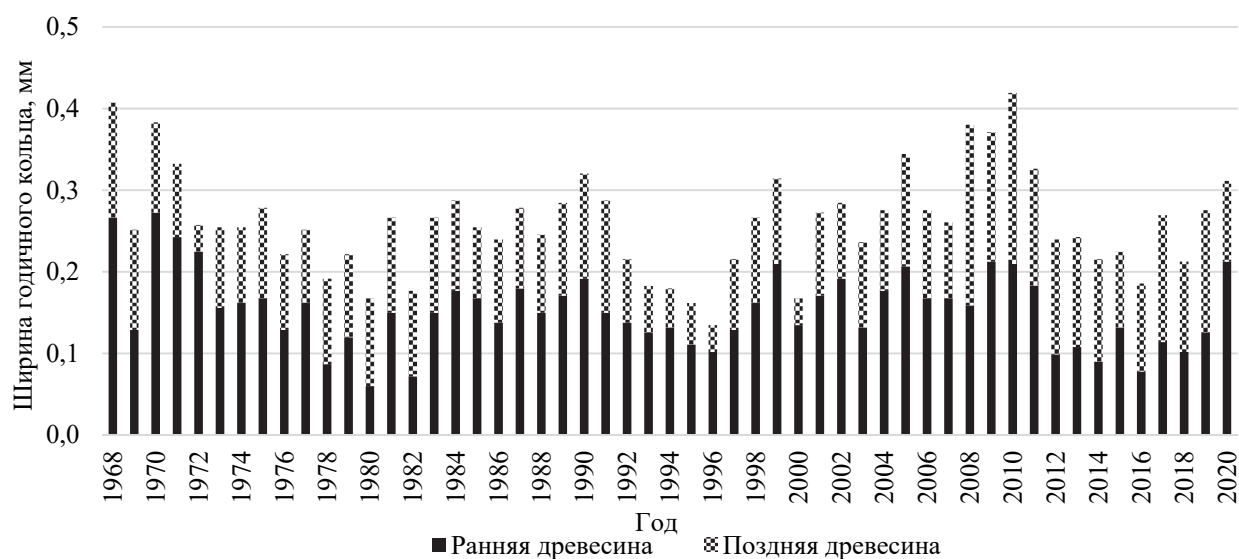


Рис. 3. Изменение ширины годичного слоя древесины ленинградского климатипа сосны обыкновенной

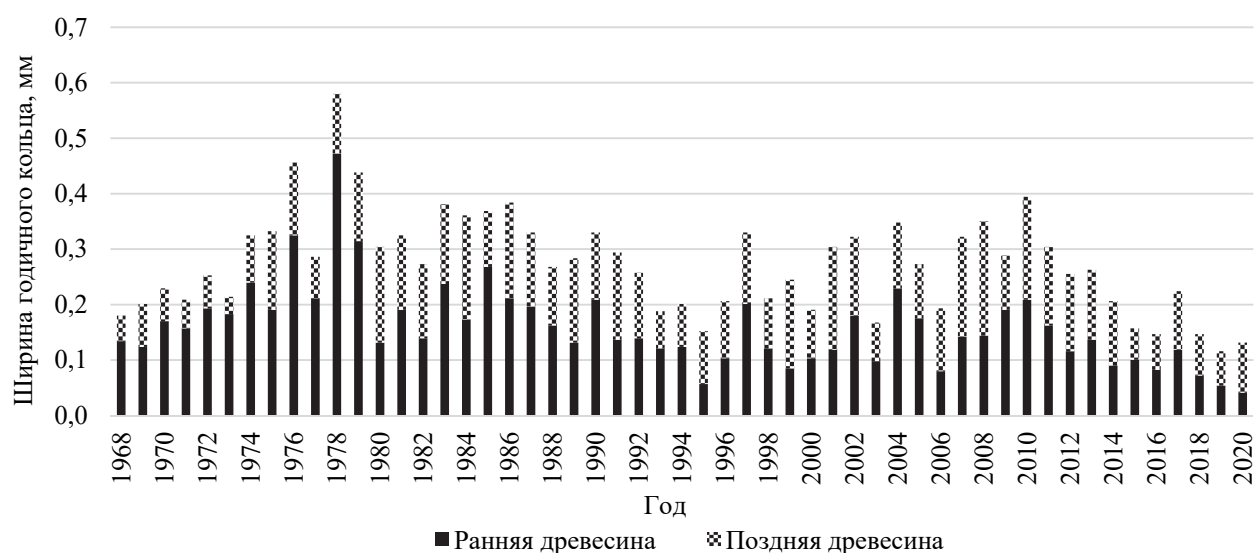


Рис. 4. Изменение ширины годичного слоя древесины томского климатипа сосны обыкновенной

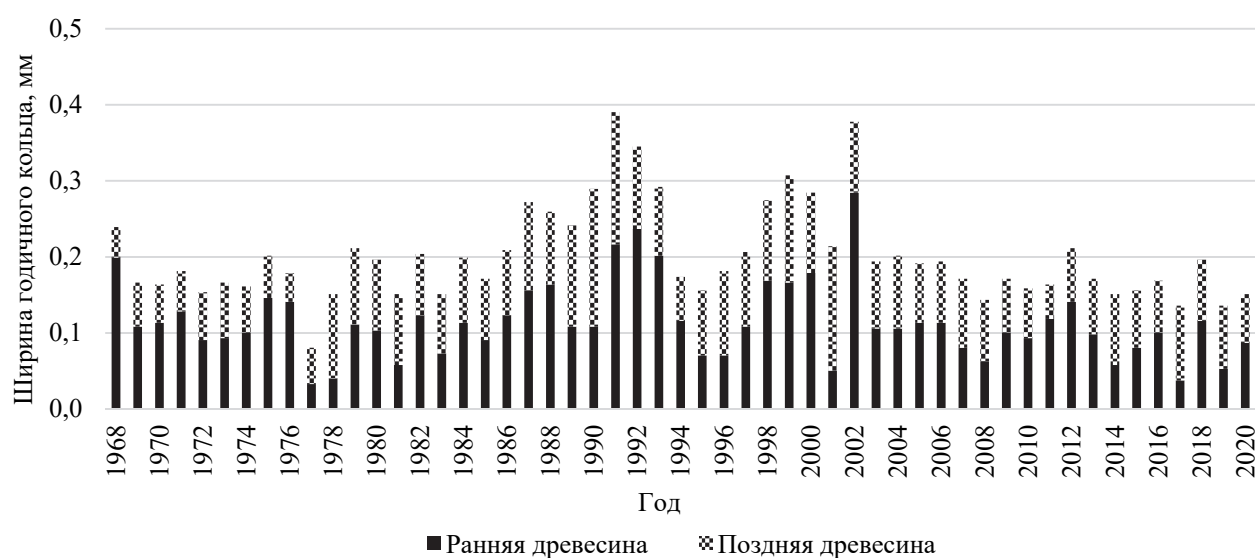


Рис. 5. Изменение ширины годичного слоя древесины вологодского климатипа сосны обыкновенной

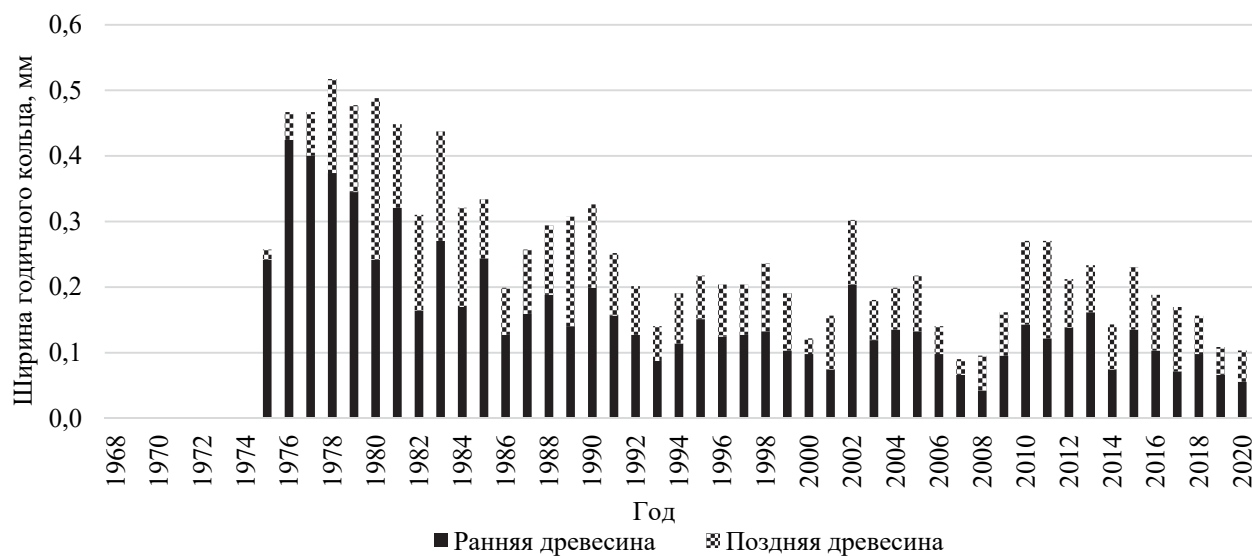


Рис. 6. Изменение ширины годичного слоя древесины эстонского климатипа сосны обыкновенной

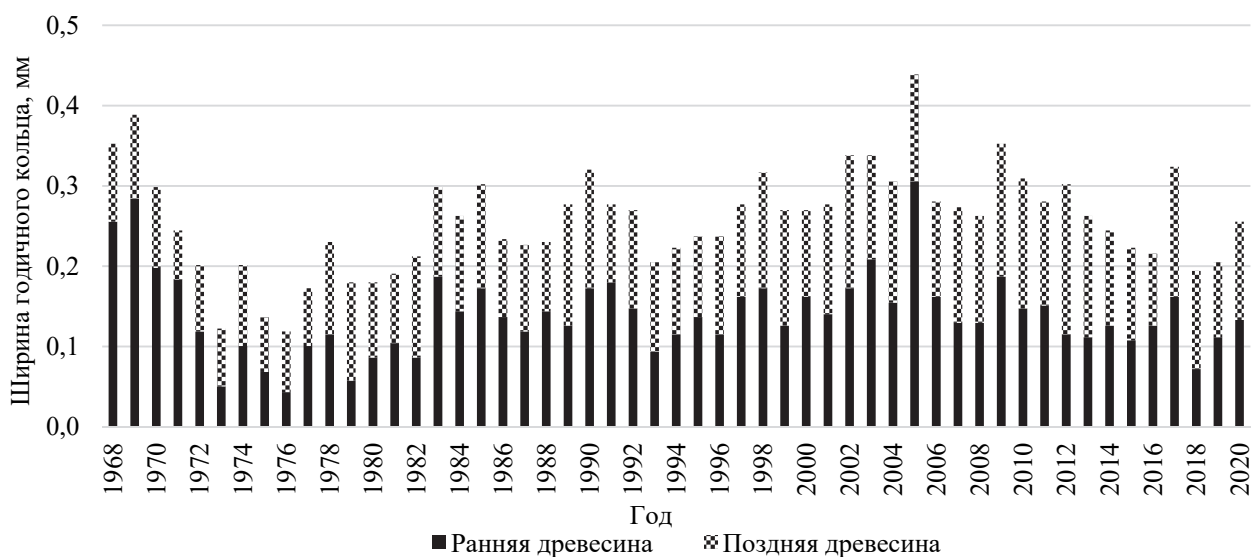


Рис. 7. Изменение ширины годичного слоя древесины латвийского климатипа сосны обыкновенной

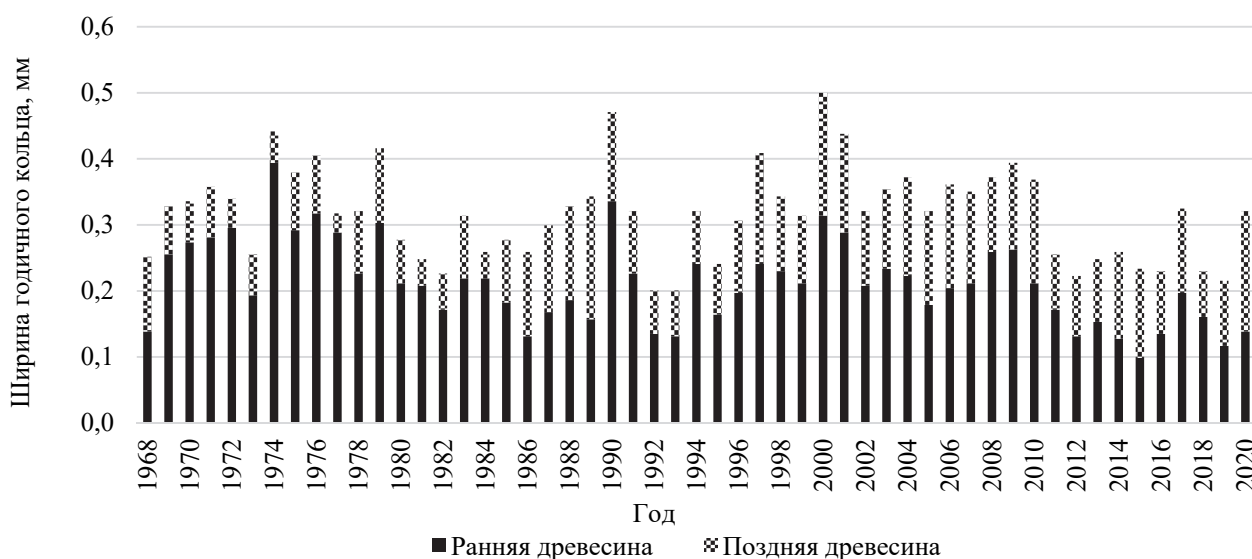


Рис. 8. Изменение ширины годичного слоя древесины витебского климатипа сосны обыкновенной

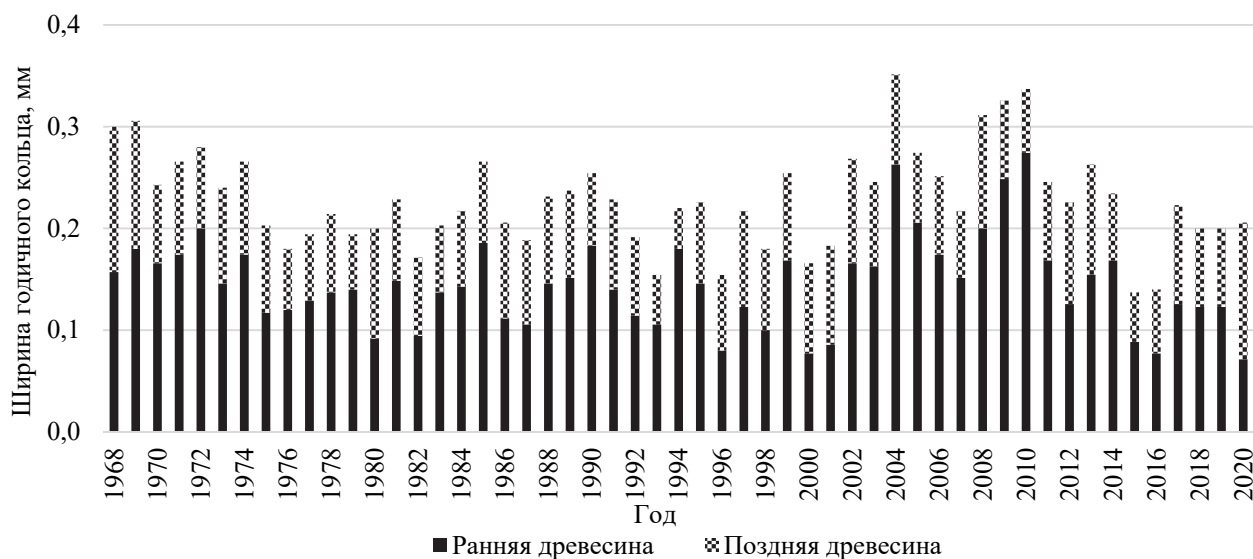


Рис. 9. Изменение ширины годичного слоя древесины минского климатипа сосны обыкновенной

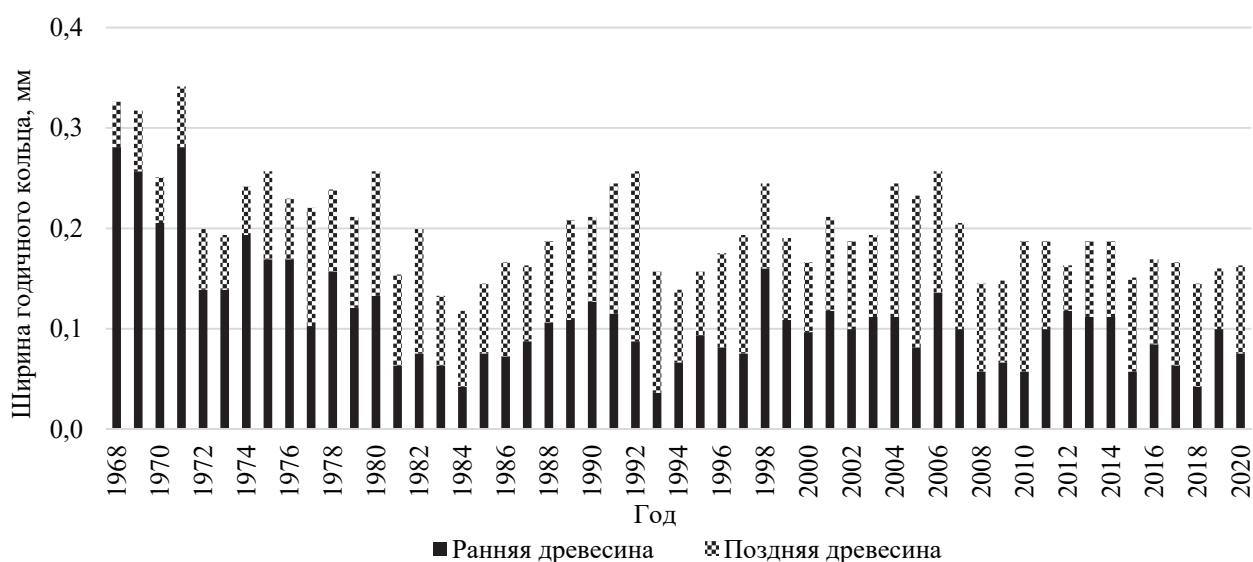


Рис. 10. Изменение ширины годичного слоя древесины ульяновского климатипа сосны обыкновенной

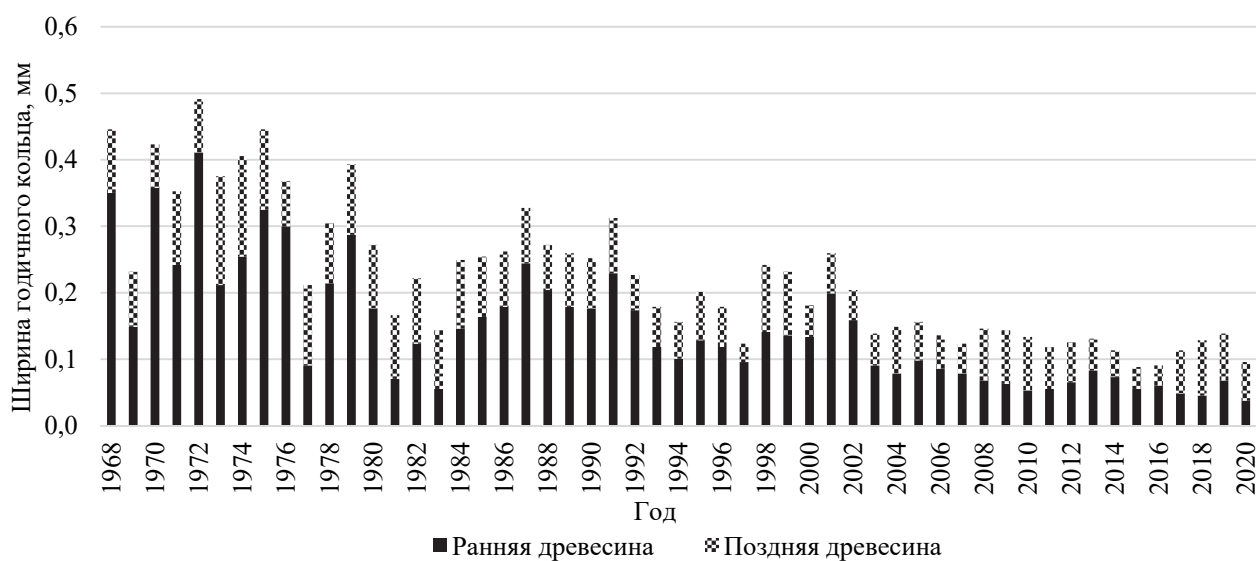


Рис. 11. Изменение ширины годичного слоя древесины башкирского климатипа сосны обыкновенной

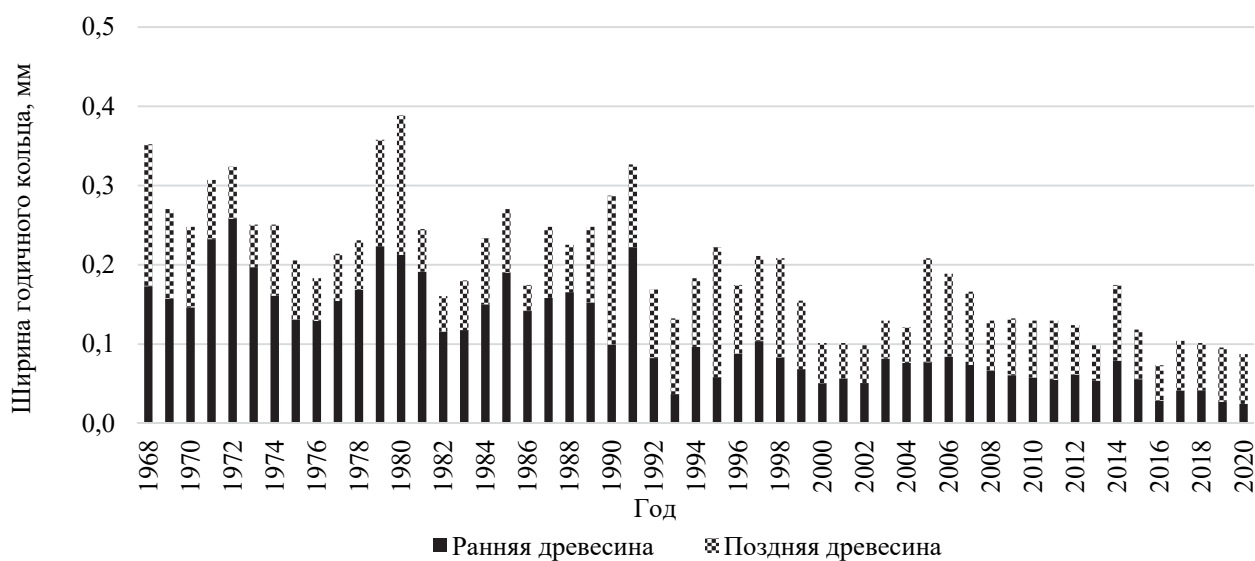


Рис. 12. Изменение ширины годичного слоя древесины гродненского климатипа сосны обыкновенной

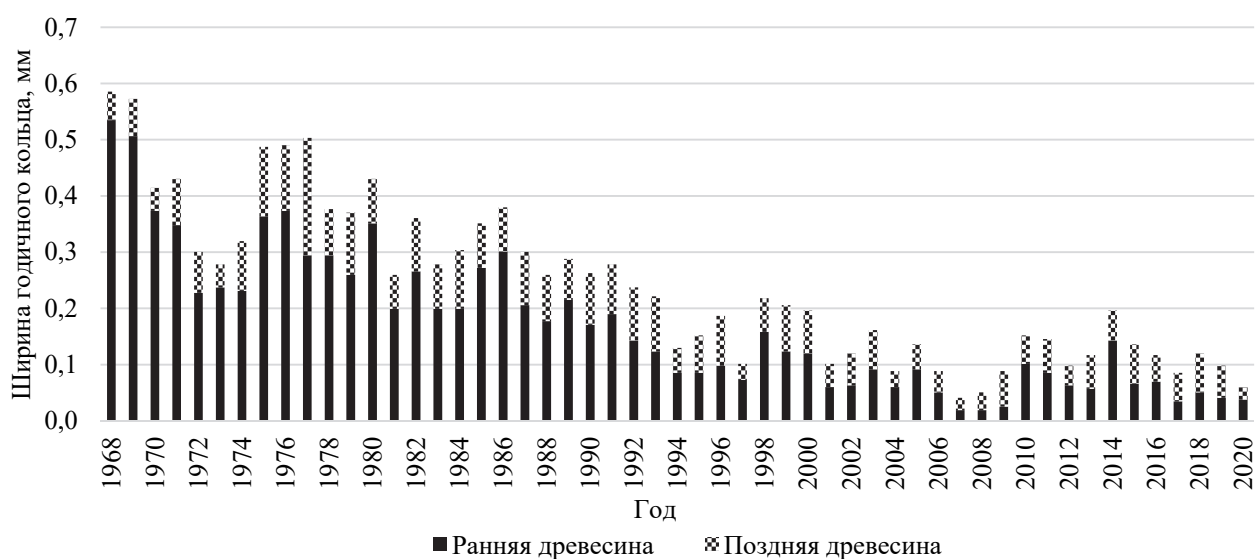


Рис. 13. Изменение ширины годичного слоя древесины курского климатипа сосны обыкновенной

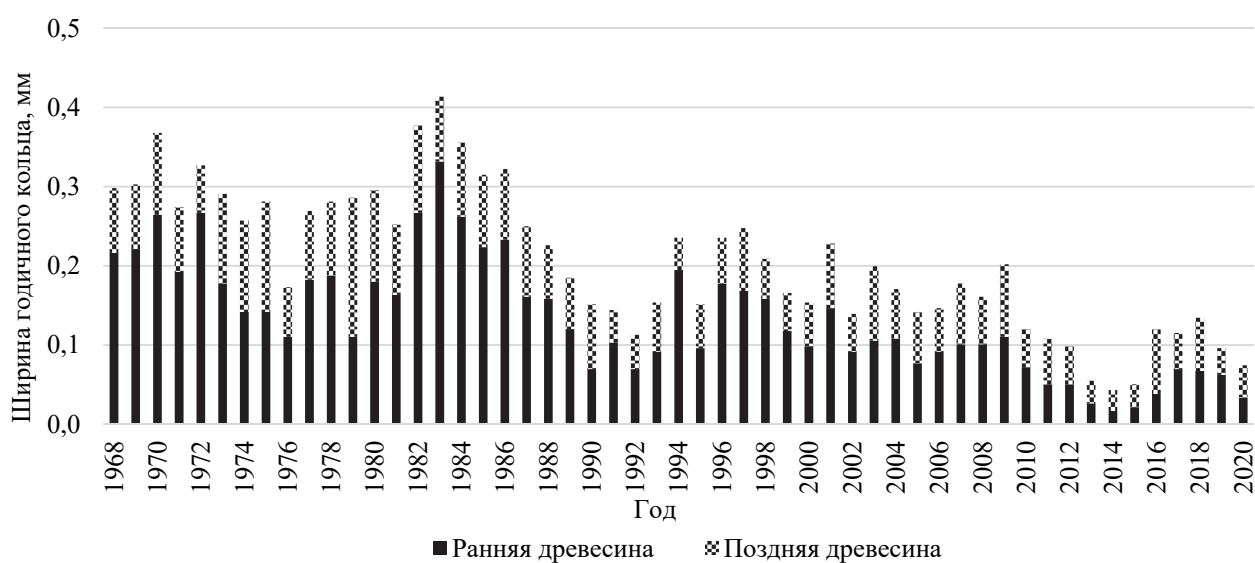


Рис. 14. Изменение ширины годичного слоя древесины белгородского климатипа сосны обыкновенной

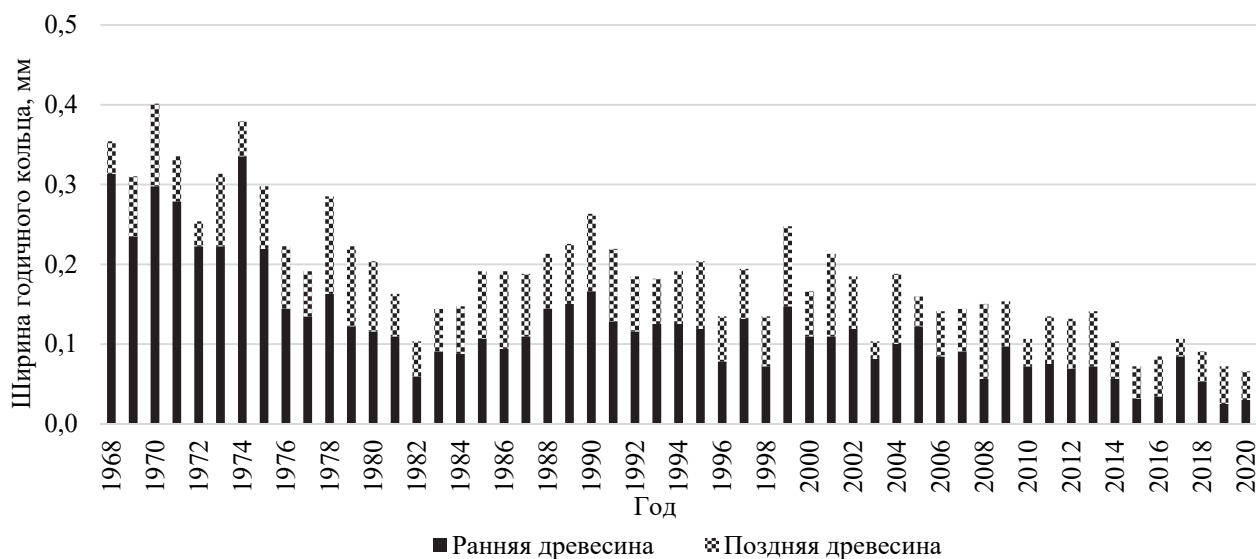


Рис. 15. Изменение ширины годичного слоя древесины волгоградского климатипа сосны обыкновенной

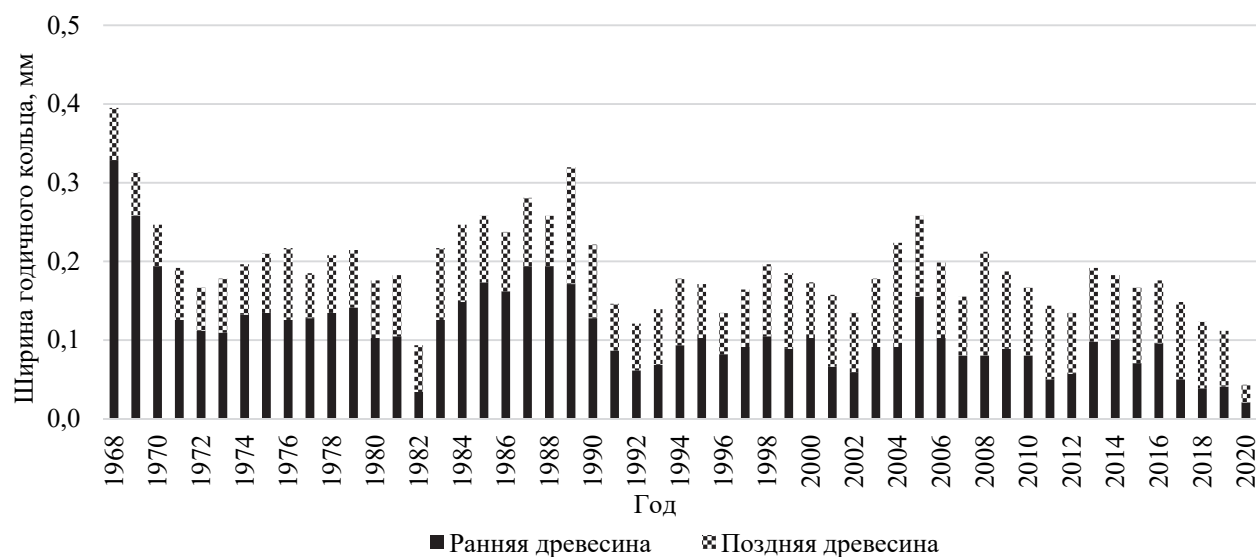


Рис. 16. Изменение ширины годичного слоя древесины ростовского климатипа сосны обыкновенной

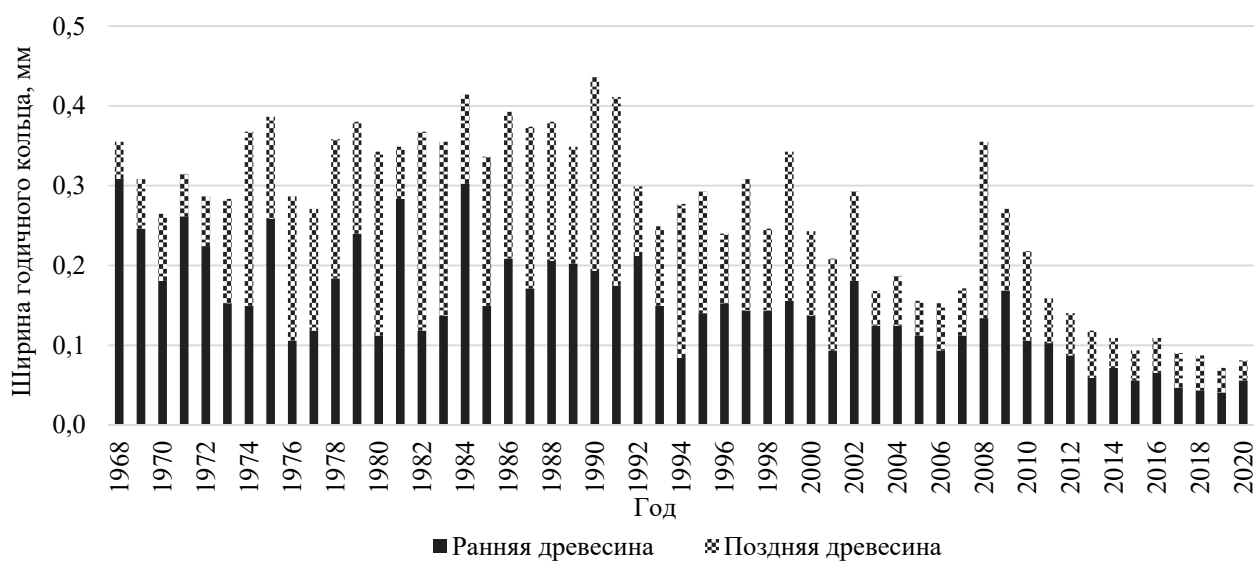


Рис. 17. Изменение ширины годичного слоя древесины полтавского климатипа сосны обыкновенной

Южные климатипы также формируют годичные слои с большей долей поздней древесины в более зрелом возрасте, у прибалтийских (латвийский, эстонский) и местных (минский и витебский) климатипов показатели ширины годичного слоя по периодам колеблются в пределах средней, а наблюдаемые снижения в отдельные периоды связаны с погодными условиями, тормозящими рост. Доля поздней древесины по периодам распределена более равномерно. Эстонский и гродненский климатипы показали максимальный прирост с 1965 по 1995 г. в возрасте 10–30 лет. Наблюдаемые различия в радиальном приросте сосны обыкновенной различного географического происхождения в значительной степени зависят от погодных условий в период активного роста.

Анализ связи ширины годичного слоя у северных климатипов показал значимые отрицательные коэффициенты корреляции с суммой эффективных температур выше 10°C и положительные с суммой осадков за вегетационный период (табл. 2). Наиболее тесная связь между климатическими факторами и шириной годичного слоя отмечается в молодом возрасте. Так, у архангельского, вологодского, ленинградского и томского климатипов коэффициент корреляции с осадками в первый десятилетний период роста составил от 0,62 до 0,99. С возрастом связь ослабевает, но в определенные периоды, связанные в основном с максимальным приростом, коэффициент корреляции колеблется от 0,41 до 0,86, что также свидетельствует о положительном влиянии осадков на радиальный прирост сосны экотипов

северного происхождения. Влияние температуры для северных климатипов менее существенное и в основном отрицательное, за исключением отдельных периодов у томского климатипа, который относится к сибирскому подвиду сосны.

У южных климатипов в целом наблюдается отрицательная существенная связь с осадками и положительная связь с температурой. Эти климатипы являются более засухоустойчивыми, менее подвержены влиянию осадков и более требовательны к теплообеспеченности. Значительное возращание температуры, которое наблюдается в последние годы, привело к ее отрицательному влиянию на радиальный прирост сосны обыкновенной.

Так, по всем климатипам в период с 2016 по 2021 г. отмечена отрицательная корреляция радиального прироста и суммы эффективных температур выше 10°C за вегетационный период. Более существенная связь с данным климатическим показателем наблюдается у северных климатипов (от $r = -0,20$ у ленинградской до $r = -0,68$ у томской сосны).

У южных климатипов повышение суммы эффективных температур также отрицательно повлияло на радиальный прирост (от $r = -0,12$ у хмельницкой до $r = -0,66$ у курской сосны).

Средняя ширина годичного слоя у исследуемых климатипов сосны обыкновенной колеблется от 0,19 до 0,27 см (табл. 3), коэффициент вариации составляет от 21,1% (средний уровень изменчивости) до 59,0% (очень высокий уровень изменчивости).

Таблица 3

Сводная таблица по ширине годичного слоя сосны обыкновенной в географических лесных культурах

Климатип сосны обыкновенной	Ширина годичного слоя древесины ($M \pm mM$), см	Предельные значения, мм		Размах, мм	Коэффициент вариации V , %
		min	max		
Архангельский	$0,20 \pm 0,014$	0,05	0,46	0,41	50,8
Ленинградский	$0,26 \pm 0,009$	0,13	0,42	0,29	24,1
Томский	$0,27 \pm 0,013$	0,12	0,58	0,46	33,3
Вологодский	$0,20 \pm 0,009$	0,08	0,39	0,31	31,1
Эстонский	$0,25 \pm 0,017$	0,09	0,52	0,43	45,6
Латвийский	$0,26 \pm 0,009$	0,12	0,44	0,32	24,7
Витебский	$0,32 \pm 0,010$	0,20	0,50	0,30	22,2
Минский	$0,23 \pm 0,007$	0,14	0,35	0,21	21,1
Ульяновский	$0,20 \pm 0,007$	0,12	0,34	0,22	24,5
Башкирский	$0,22 \pm 0,014$	0,09	0,49	0,40	47,0
Гродненский	$0,19 \pm 0,011$	0,07	0,39	0,32	40,2
Курский	$0,24 \pm 0,019$	0,04	0,59	0,55	59,0
Белгородский	$0,21 \pm 0,012$	0,04	0,41	0,37	43,9
Волгоградский	$0,19 \pm 0,011$	0,07	0,40	0,33	42,0
Ростовский	$0,19 \pm 0,008$	0,04	0,39	0,35	30,8
Хмельницкий	$0,20 \pm 0,008$	0,11	0,42	0,31	28,4
Полтавский	$0,27 \pm 0,014$	0,07	0,44	0,37	38,8

Минимальное значение ширины годичного слоя в отдельные годы характерно для ростовского, белгородского, курского климатипов – по 0,04 см, максимальный прирост наблюдался у сосны курского происхождения – 0,59 см.

Анализ полученных данных за весь период наблюдений показал, что существует средняя отрицательная корреляционная связь между шириной годичного слоя и суммой эффективных температур воздуха выше 10°C за вегетационный период для климатических экотипов сосны обыкновенной курского ($r = -0,65$), эстонского ($r = -0,61$), гродненского и полтавского ($r = -0,59$), белгородского ($r = -0,57$) и волгоградского ($r = -0,50$) происхождений. Не обнаружено корреляционной связи между шириной годичного слоя и суммой осадков за вегетационный период. Умеренная положительная связь выявлена между шириной годичного слоя и рассеянной солнечной радиацией у сосны полтавской ($r = -0,49$), томской ($r = 0,43$), белгородской ($r = 0,41$) провениенций.

Также умеренная положительная связь установлена между шириной годичного слоя и высотой снежного покрова только для деревьев сосны курского и белгородского происхождений ($r = 0,45$). Положительная умеренная корреляционная связь установлена для ширины годичного

слоя и гидротермического коэффициента Селянинова у сосны курской ($r = 0,42$) и эстонской ($r = 0,40$) провениенций (табл. 4).

Соотношение индексов ширины годичного слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период по годам у различных климатипов представлено на рис. 18–33.

Анализ полученных данных показывает, что значения индексов ширины годичного слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период имеют неодинаковые соотношения у исследуемых климатипов на всем временном отрезке периодов их роста и развития.

Все исследуемые климатипы сосны обыкновенной можно условно подразделить на две большие группы. Первую группу составляют провениенции, у которых четко прослеживается взаимосвязь оцениваемых индексов и их изменение по годам исследований. К этой группе относятся климатипы сосны обыкновенной ленинградского, вологодского, латвийского, эстонского, витебского, минского, ульяновского, томского и ростовского происхождений. Географические координаты указанной группы провениенций сосны обыкновенной составляют от 50 до 61° с. ш. и от 22 до 85° в. д.

Таблица 4

Коэффициенты корреляции между шириной годичного слоя, суммой эффективных температур выше 10°C и суммой осадков за вегетационный период у климатических экотипов сосны обыкновенной (за весь период)

Климатип сосны обыкновенной	Значения коэффициента корреляции между шириной годичного слоя климатипа и следующими показателями				
	суммой активных температур воздуха за вегетационный период	суммой осадков за вегетационный период	рассеянной солнечной радиацией	высотой снежного покрова	гидротермическим коэффициентом Селянинова
Архангельский	-0,43	-0,02	0,29	0,03	0,18
Ленинградский	0,15	0,04	0,19	-0,09	-0,05
Томский	-0,46	0,00	0,43	0,28	0,23
Вологодский	0,08	-0,25	0,18	-0,14	-0,25
Эстонский	-0,61	0,09	0,36	0,39	0,40
Латвийский	0,26	0,03	0,02	-0,01	-0,11
Витебский	-0,15	-0,03	0,02	-0,07	0,03
Минский	0,08	0,04	0,22	0,02	0,00
Ульяновский	-0,27	0,17	0,13	0,20	0,26
Башкирский	-0,50	0,05	0,30	0,33	0,27
Гродненский	-0,59	0,00	0,31	0,32	0,26
Курский	-0,65	0,15	0,35	0,45	0,42
Белгородский	-0,57	0,11	0,41	0,45	0,35
Волгоградский	-0,50	0,10	0,28	0,25	0,32
Ростовский	-0,35	0,10	0,35	0,31	0,22
Хмельницкий	0,02	-0,07	-0,01	0,27	-0,07
Полтавский	-0,59	-0,10	0,49	0,18	0,19



Рис. 18. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины архангельского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

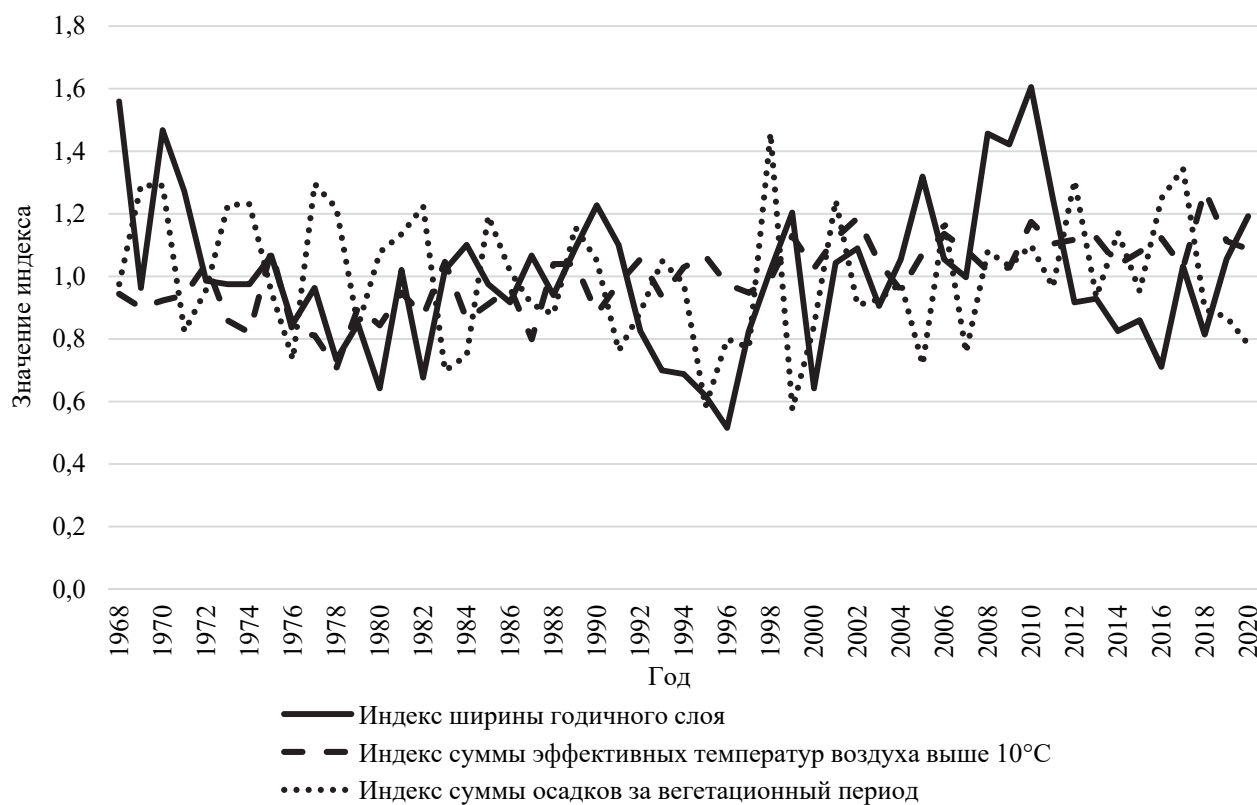


Рис. 19. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ленинградского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период



Рис. 20. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины томского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

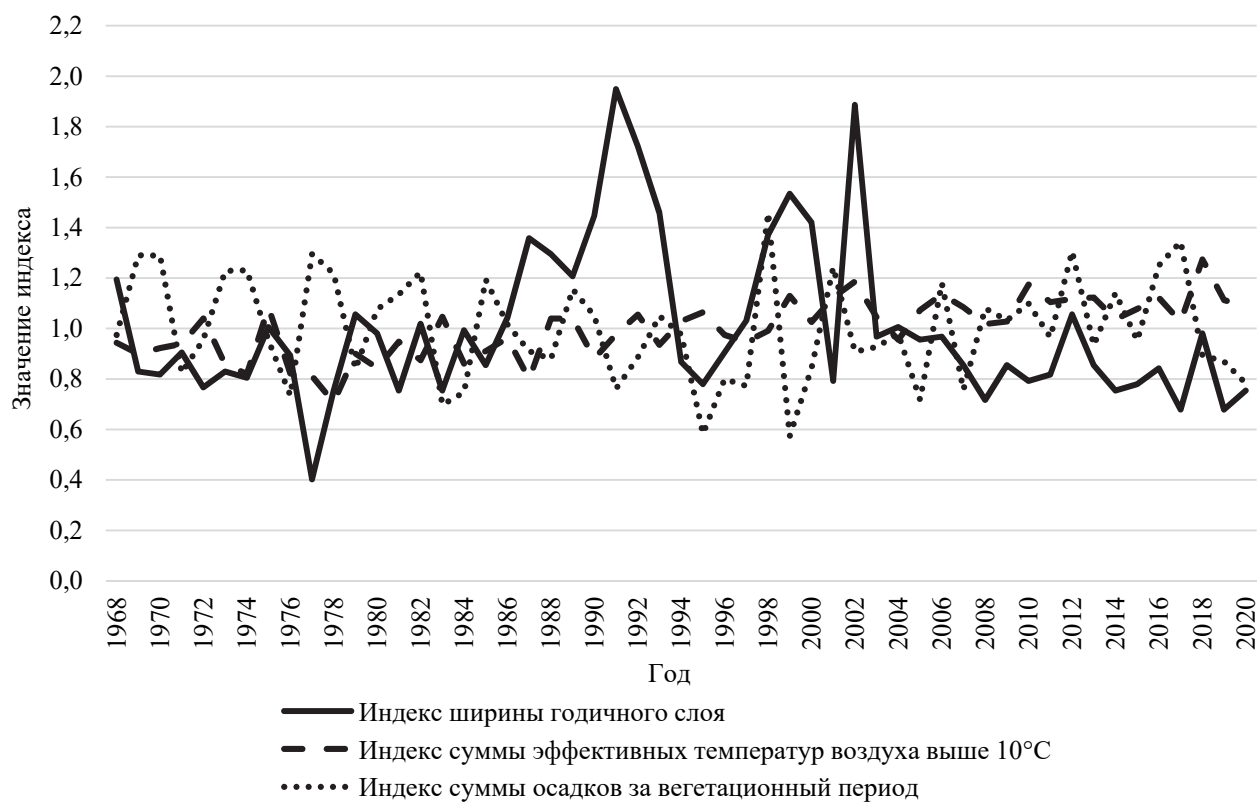


Рис. 21. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины вологодского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

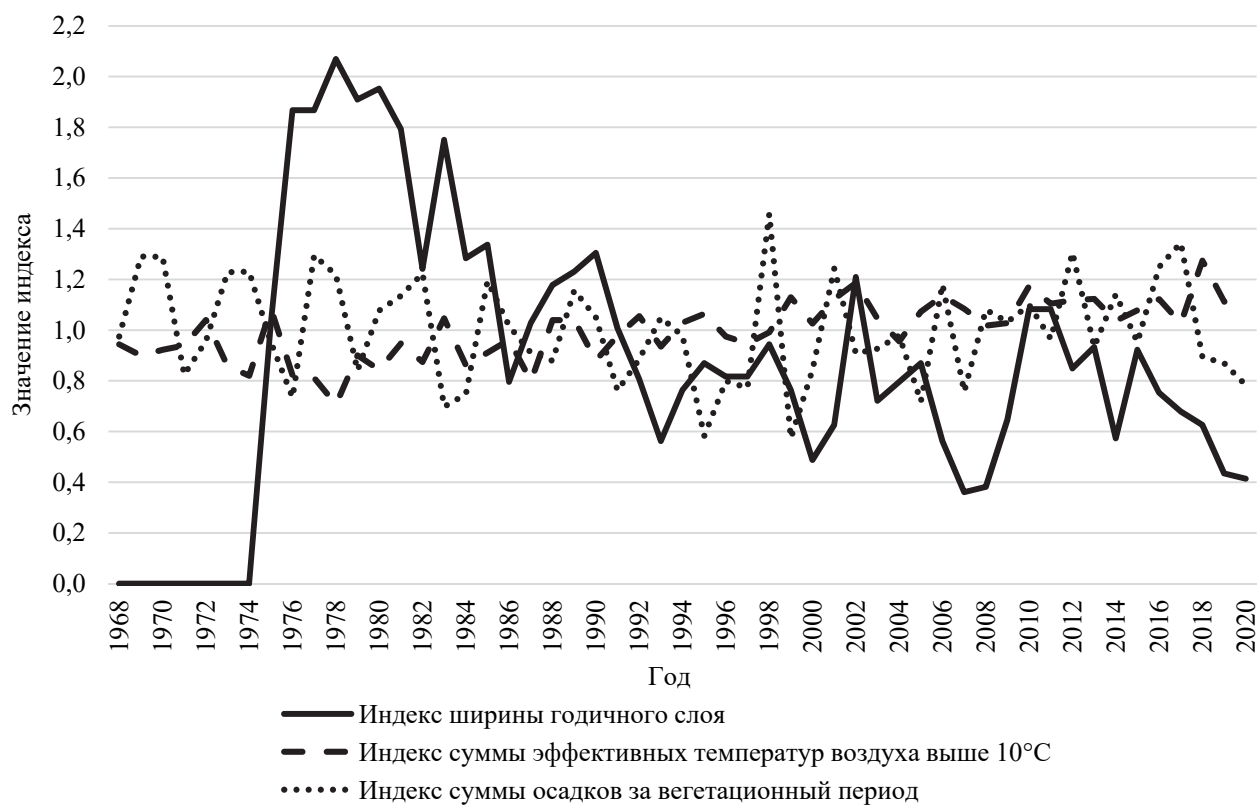


Рис. 22. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины эстонского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

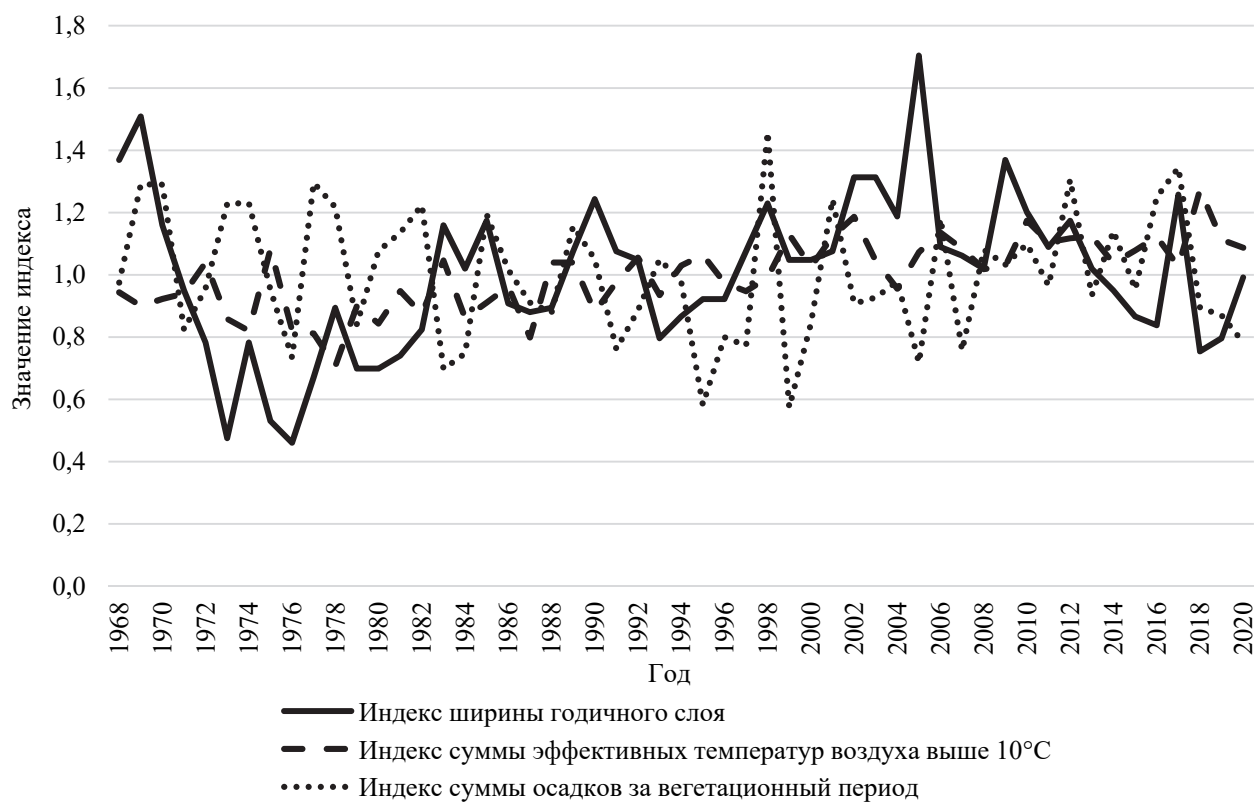


Рис. 23. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины латвийского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

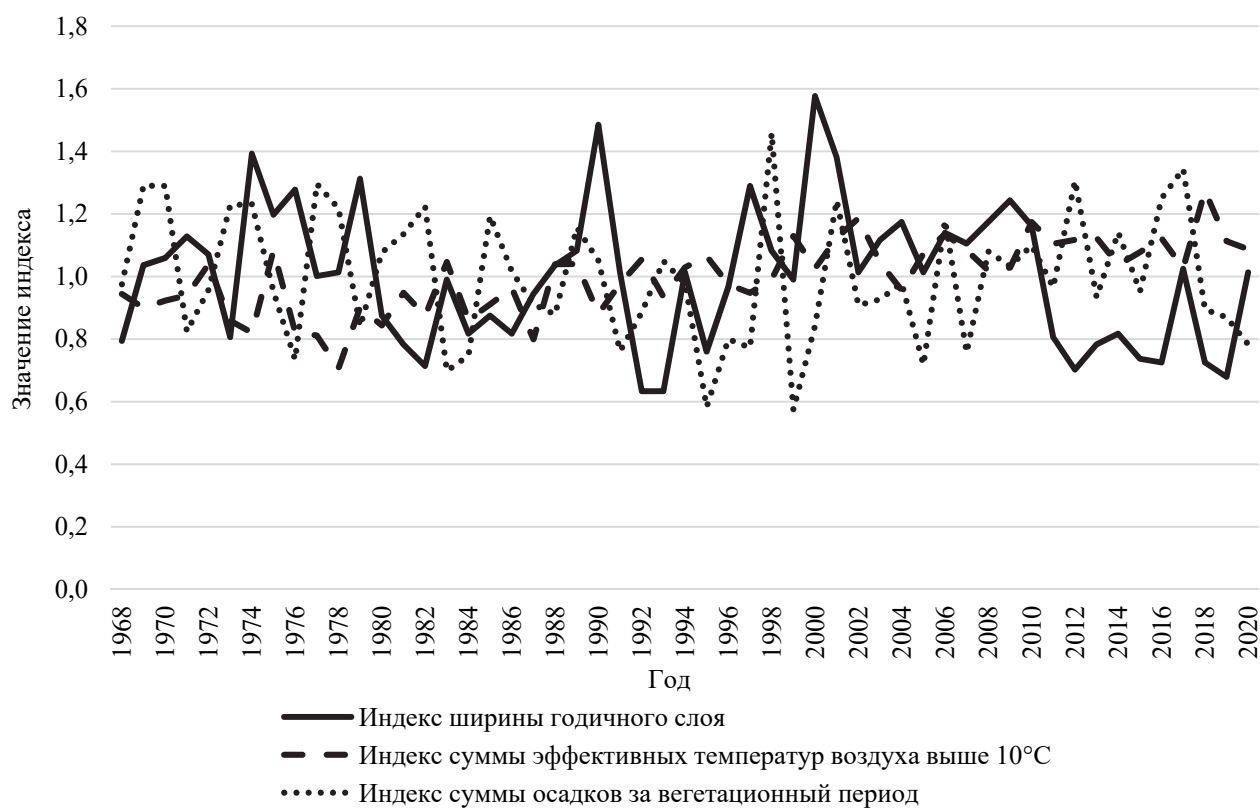


Рис. 24. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины витебского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

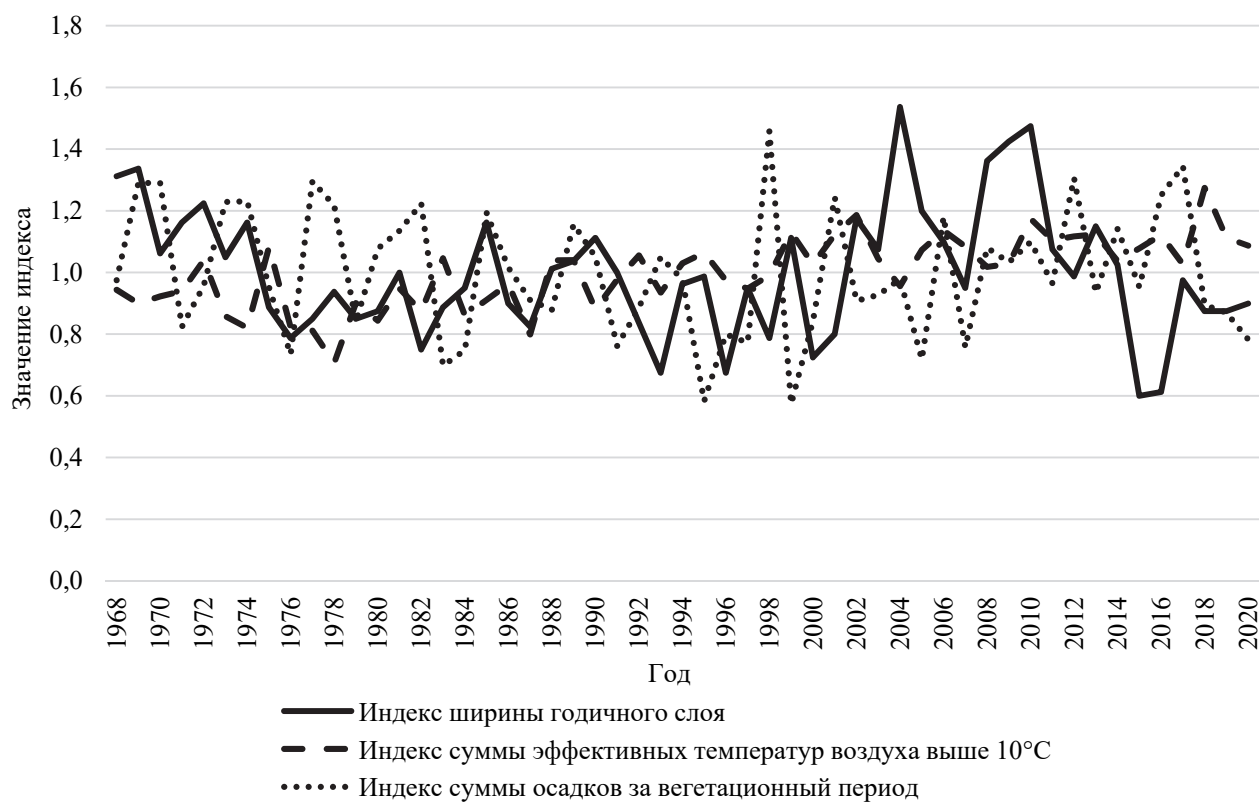


Рис. 25. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины минского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

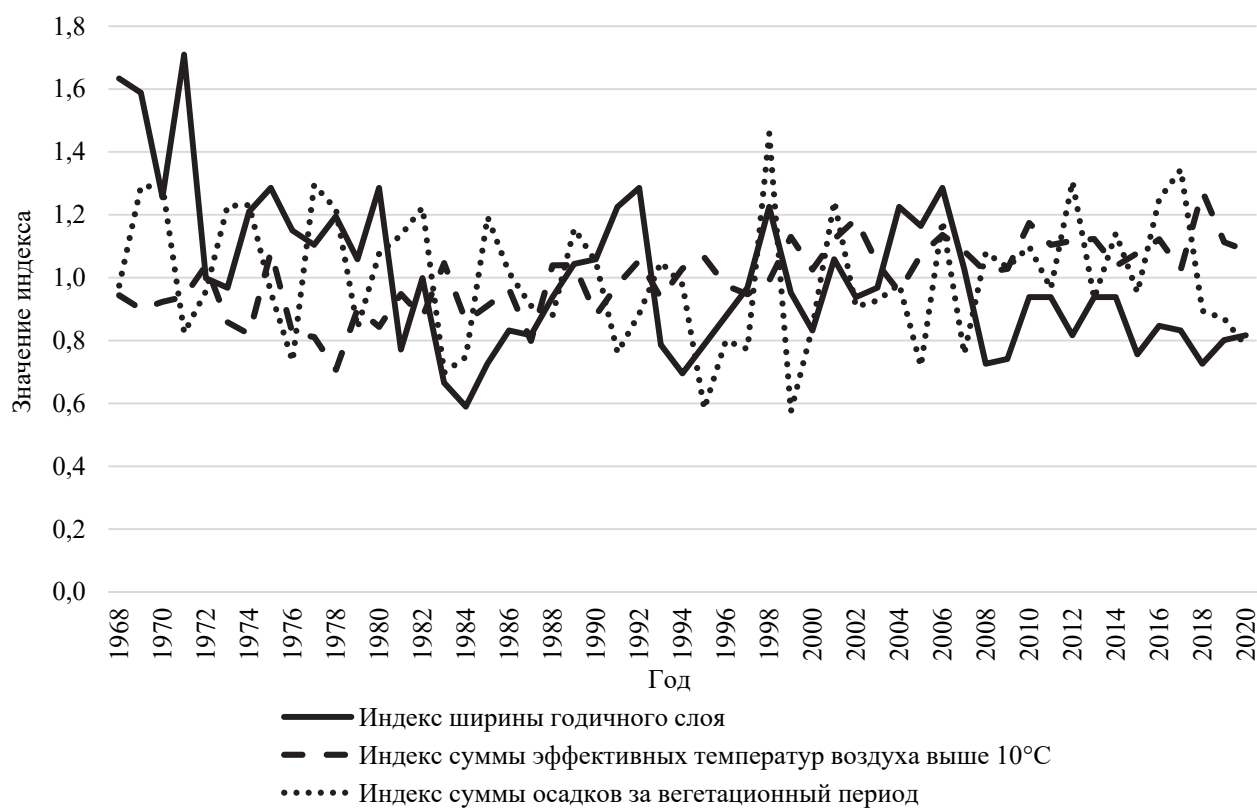


Рис. 26. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ульяновского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

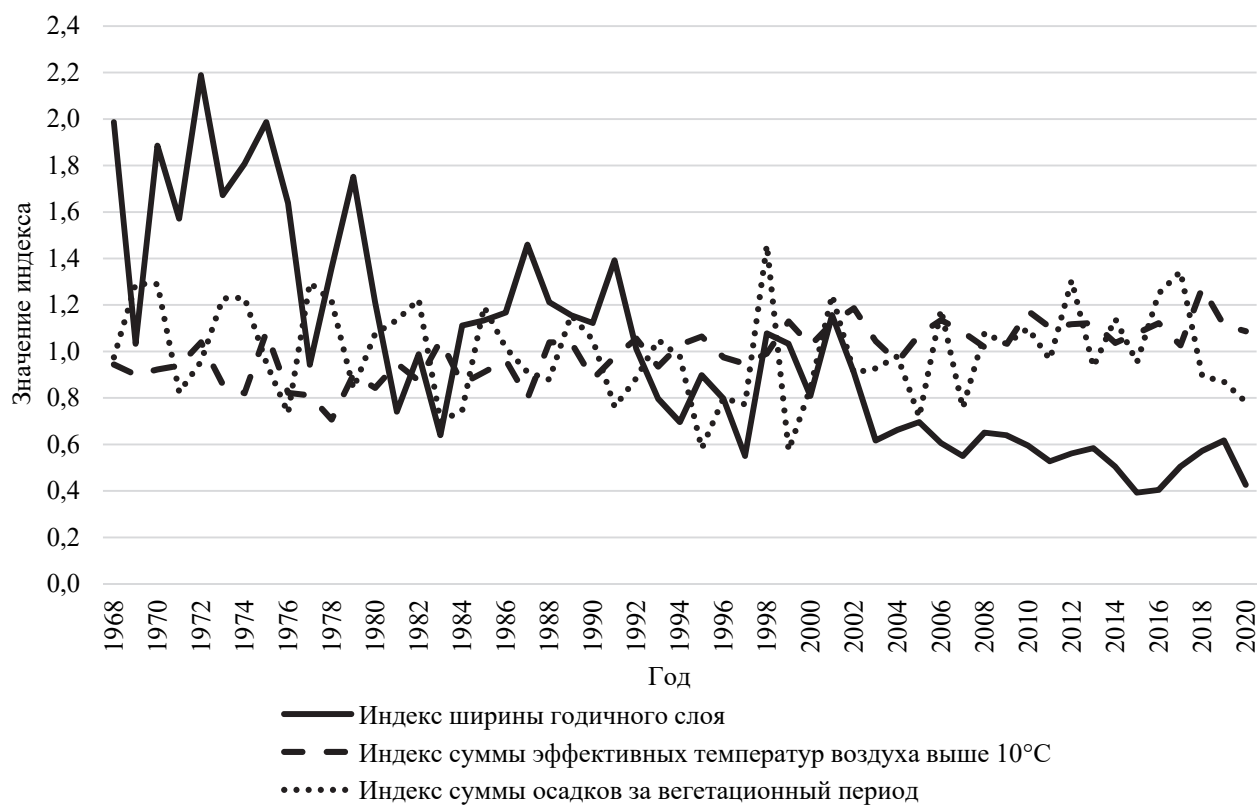


Рис. 27. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины башкирского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

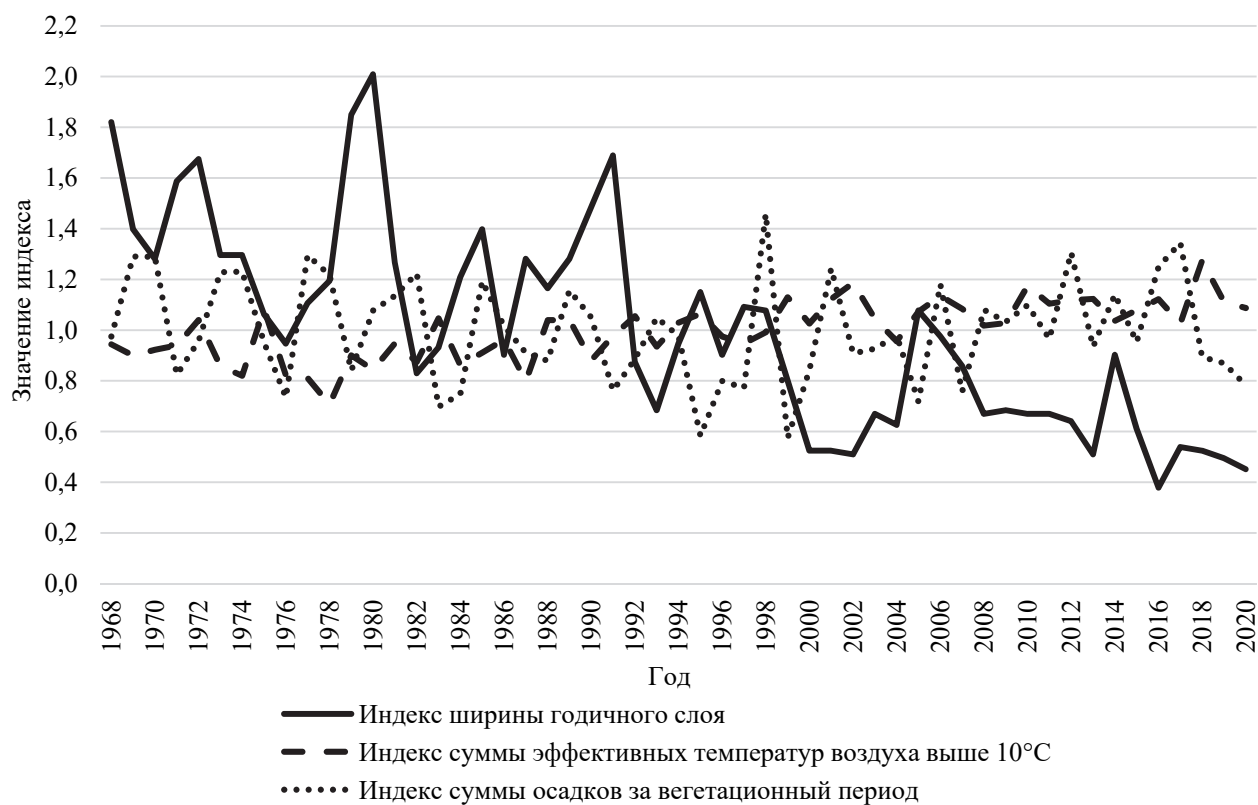


Рис. 28. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины гродненского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

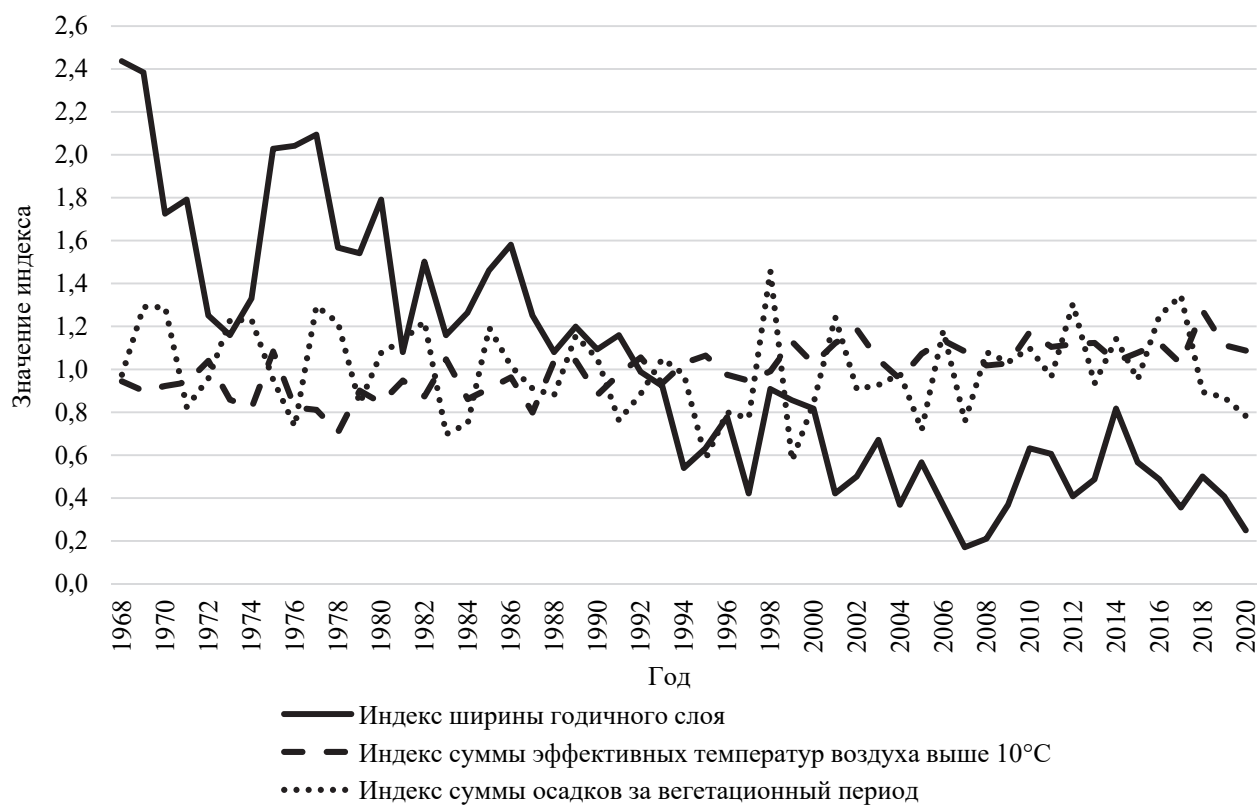


Рис. 29. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины курского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

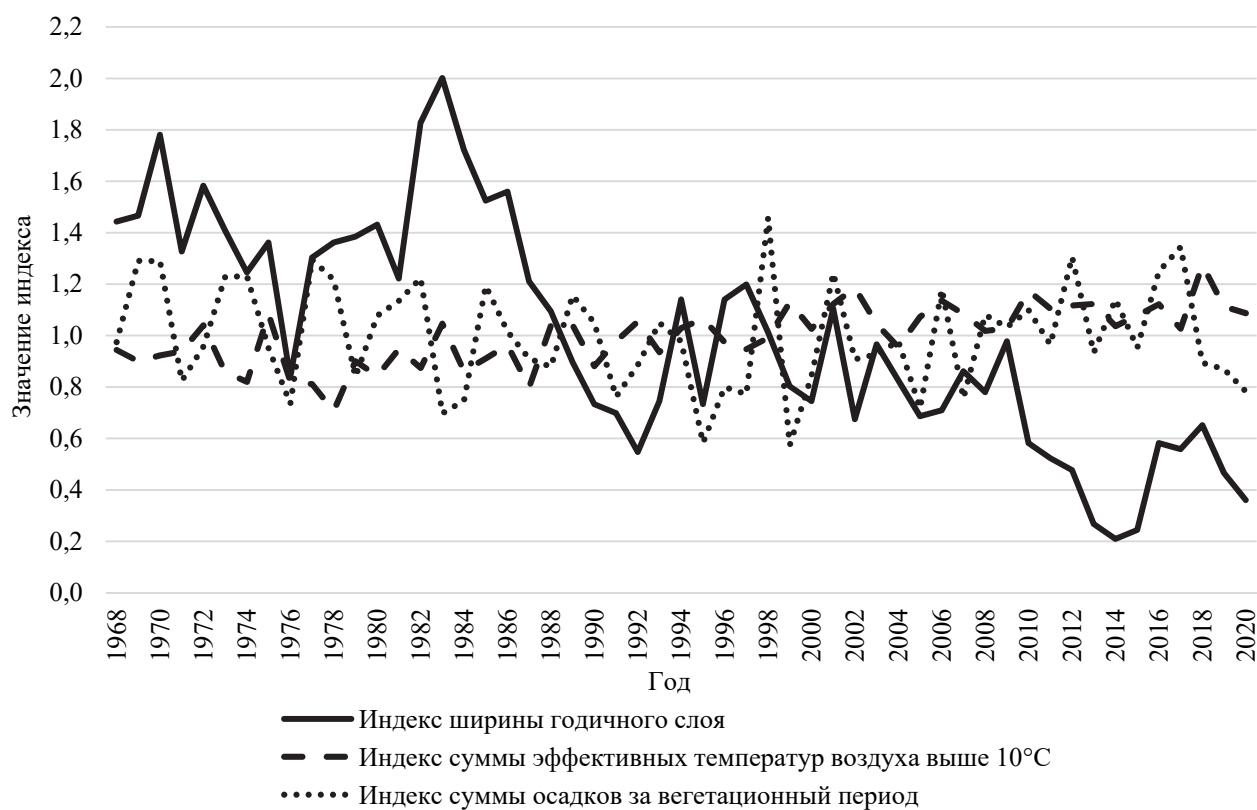


Рис. 30. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины белгородского климатотипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

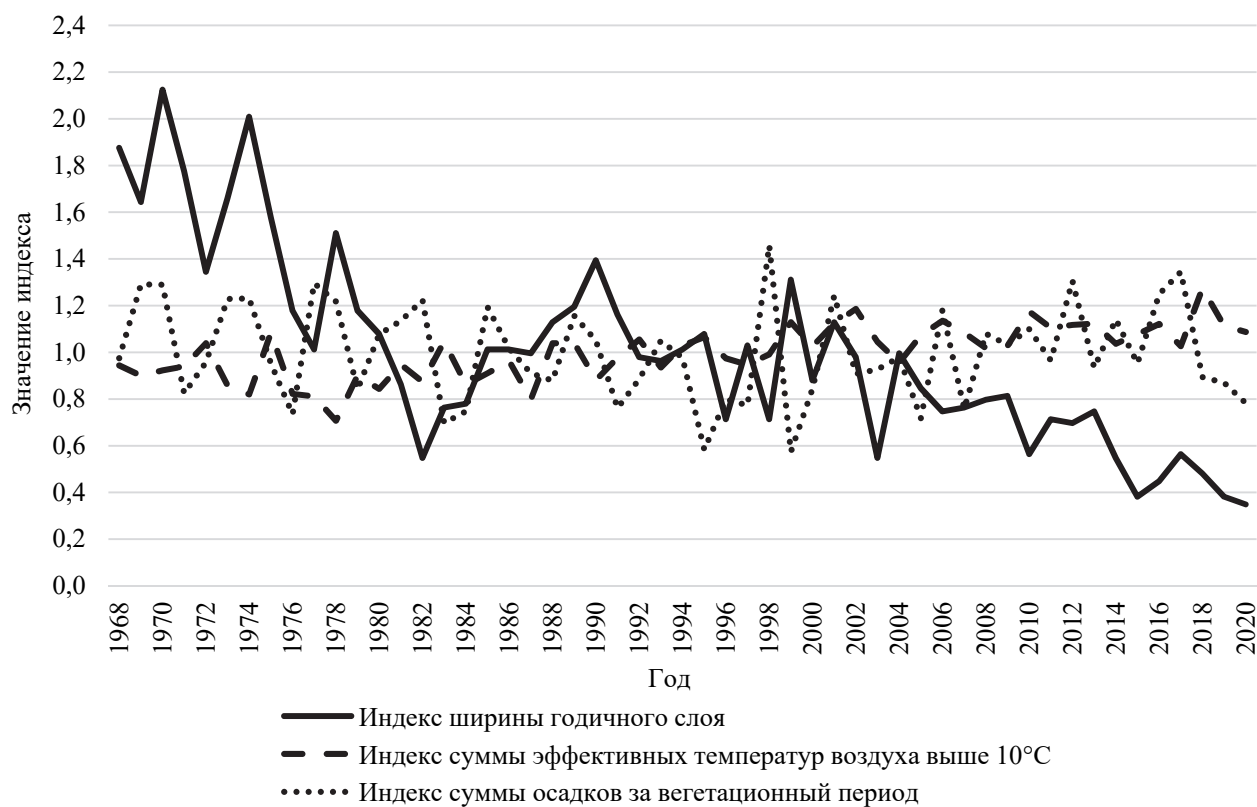


Рис. 31. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины волгоградского климатотипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

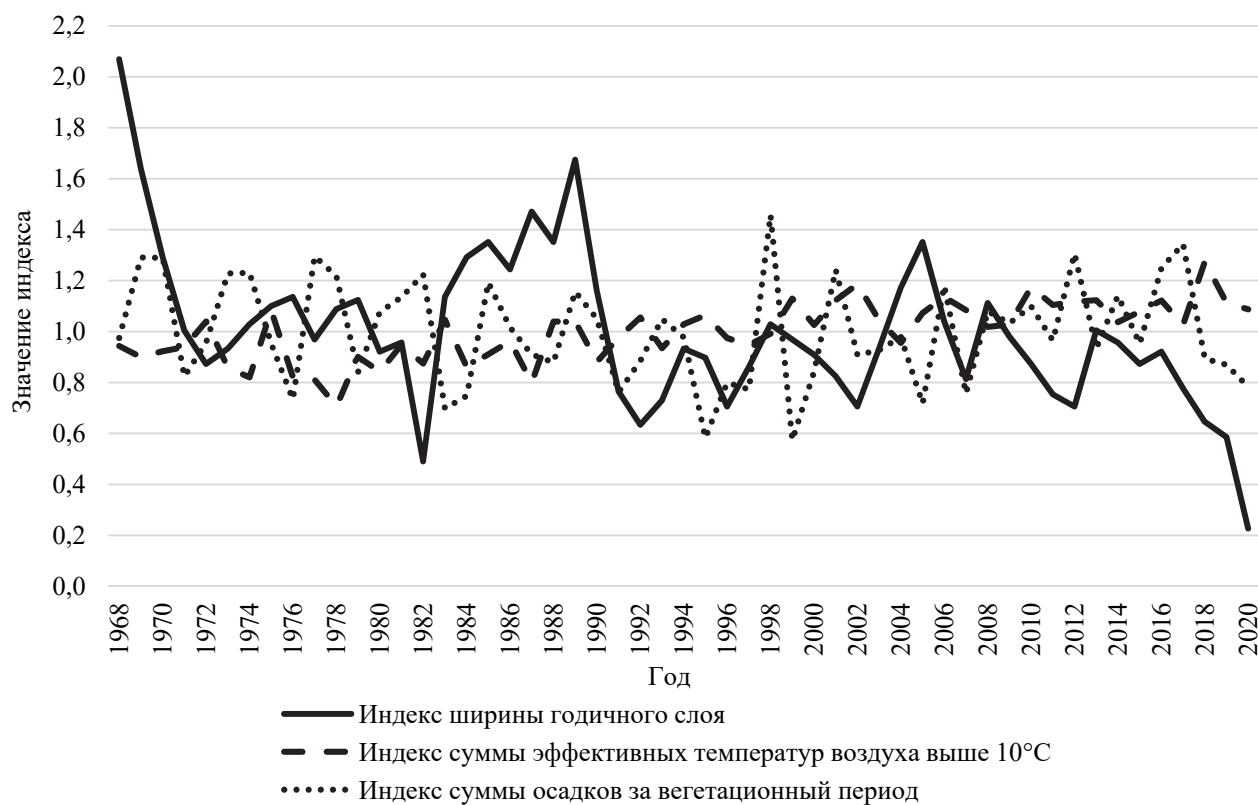


Рис. 32. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины ростовского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

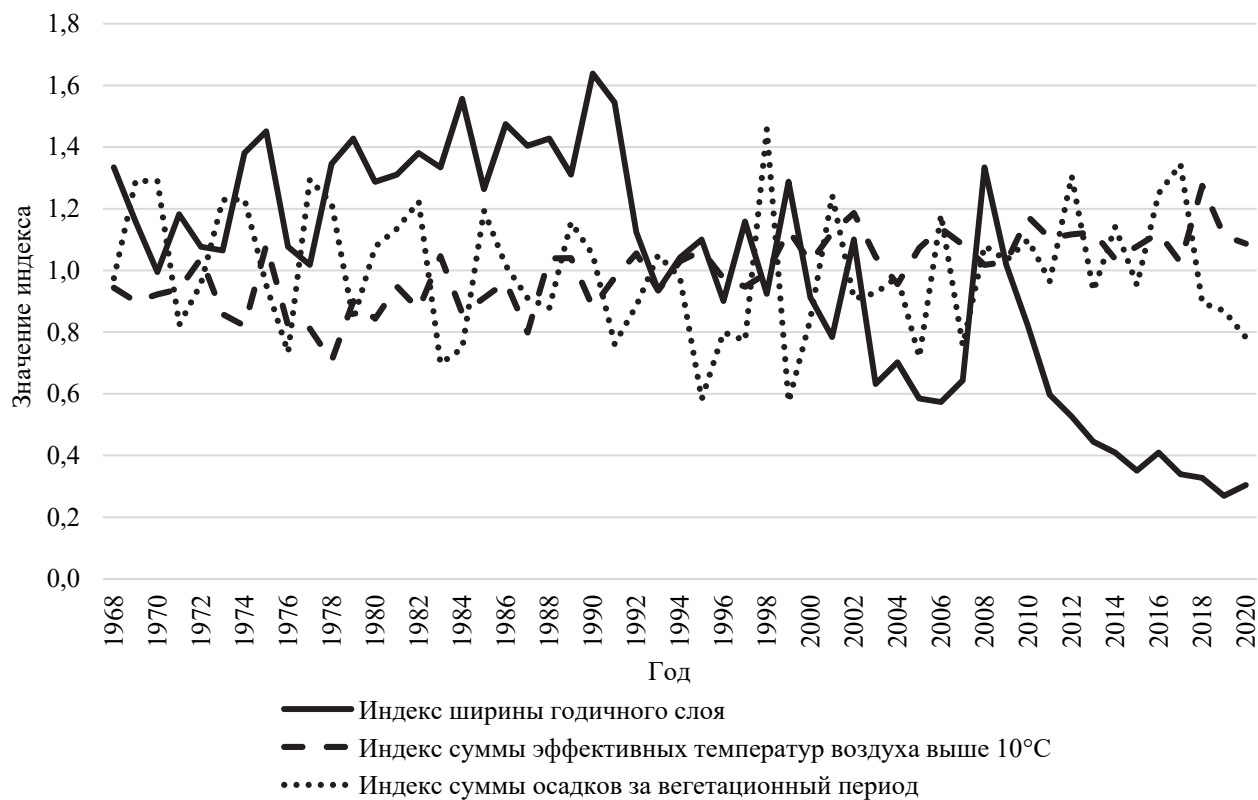


Рис. 33. Взаимосвязь индекса ширины годичного слоя древесины полтавского климатипа сосны обыкновенной с индексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период

Ко второй группе относятся те происхождения сосны обыкновенной, у которых не прослеживается взаимосвязь исследуемых индексов, причем в первой половине их жизни (первые 30 лет) значение индексов ширины годичного слоя древесины значительно превышает параметры индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период, а во второй половине их жизни (с 30 до 60 лет) индекс ширины годичного слоя древесины начинает резко снижаться и находится существенно ниже значений сравниваемых индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков. К таким климатипам относятся архангельская, гродненская, курская, белгородская, волгоградская, полтавская и башкирская провенции. Географические координаты данной группы провенций соответствуют 49–62° с. ш. и 24–43° в. д.

Заключение. В результате проведенных исследований по оценке изменений климатических факторов и их влиянию на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провенций определена корреляционная связь между шириной годичного слоя с суммой эффективных температур выше 10°C, суммой осадков за вегетационный период, рассеянной солнечной радиацией, высотой снежного покрова, гидротермическим коэффициентом Селянинова. Установлена взаимосвязь изменения индекса ширины годичного слоя древесины сосны обыкновенной различных провенций с ин-

дексами суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период.

Анализ полученных данных по оценке значений индексов ширины годичного слоя, суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период показал наличие неодинаковых их соотношений у исследуемых климатипов на всем временном отрезке онтогенеза провенций.

Все исследуемые провенции сосны обыкновенной можно условно подразделить на две большие группы. В первую группу отнесены те провенции, у которых четко прослеживается взаимосвязь оцениваемых индексов и их изменение по годам исследований. Ко второй группе принадлежат те происхождения сосны обыкновенной, у которых не прослеживается взаимосвязь исследуемых индексов, причем в первой половине их жизни (первые 30 лет) значения индексов ширины годичного слоя древесины значительно превышает параметры индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков за вегетационный период, а во второй половине их жизни (с 30 до 60 лет) индекс ширины годичного слоя древесины начинает резко снижаться и находится существенно ниже значений сравниваемых индексов суммы эффективных температур выше 10°C и суммы осадков.

Географические координаты первой группы провенций колеблются от 50 до 61° с. ш. и от 22 до 85° в. д., второй группы – от 49 до 62° с. ш. и от 24 до 43° в. д.

Список литературы

1. Крамер П. Д., Козловский Т. Т. Физиология древесных растений. М.: Лесная пром-сть, 1983. 627 с.
2. Влияние климатических факторов на радиальный прирост сосны обыкновенной в Ленинградской области / И. В. Никифорочкин [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2020. № 2. С. 34–45.
3. Михайлова М. И. Состояние, рост и продуктивность экотипов сосны обыкновенной в географических лесных культурах Воронежской области: дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Воронеж, 2022. 219 с.
4. Михайлова М. И., Чернышов М. П., Ребко С. В. О лучших геоэкотипах сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) для искусственного лесовосстановления // Лесотехнический журнал. 2023. Т. 13, № 4 (52). Ч. 1. С. 58–71. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4.
5. Воробьева Н. С., Епишков А. А., Белобров Д. В. Влияние климатических факторов на формирование годичного радиального прироста сосны в культурах на территории Молокчинского заказника (Московская область) // Cifra. Биологические науки. 2024. Вып. 1. С. 1–6. DOI: 10.18454/BIO.2024.1.3.
6. Кухта А. Е., Максимова О. В., Кузнецова В. В. Воздействие климатических факторов на приросты сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на побережье Кандалакшского залива Белого моря // Известия вузов. Лесной журнал. 2023. № 4. С. 105–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-105-119.
7. Железнова О. С., Тобратов С. А. Влияние климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местообитаниях Мещерской низменности // Известия РАН. Сер.: Географическая. 2019. № 5. С. 67–77. DOI: 10.31857/S2587-55662019567-77.
8. Кузьмин С. Р., Роговцев Р. В. Радиальный рост и доля поздней древесины у сосны обыкновенной в географических культурах в Западной и Средней Сибири // Сибирский лесной журнал. 2016. № 6. С. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611.
9. Симоненкова В. А., Кулагин А. Ю. Радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на зональном экотоне леса и степи // Известия Уфимского научного центра РАН. 2018. № 2. С. 76–81. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-2-76-81.

10. Шереметов Р. Т., Уфимцев В. И. Оценка влияния температуры на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в условиях техногенного воздействия // Вестник КемГУ. 2012. № 4 (52). Т. 1. С. 24–28.
11. Лысенко С. А., Логинов В. Ф. Роль лесов в поддержании водного баланса на территории Беларуси // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 2. С. 225–232. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-2-225-232.
12. Лысенко С. А. Численное моделирование микроклимата повторно заболачиваемых земель Белорусского Полесья // Доклады Нац. акад. наук Беларуси. 2024. Т. 68, № 3. С. 238–246. DOI: 10.29235/1561-8323-2024-68-3-238-246.
13. Демина А. В. Особенности эколого-климатического отклика радиального прироста сосны обыкновенной в двух дефицитных по увлажнению регионах Сибири: дис. ... канд. биол. наук: 03.02.08. Воронеж, 2022. 133 л.
14. Кухта А. Е., Попова Е. Н. Климатический сигнал в линейном приросте сосны обыкновенной бореальных фитоценозов побережья Белого моря // Проблемы экологического мониторинга и моделирования экосистем. 2020. Т. 31, № 3–4. С. 33–45.
15. Статистические закономерности изменчивости временных рядов радиального прироста сосны обыкновенной по показателям синхронности на территории Русской равнины / Д. Е. Румянцев [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2015. № 5. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22526> (дата обращения: 02.03.2025).
16. Estimated Influence of Extreme Climate Events in the 21st Century on the Radial Growth of Pine Trees in Povolzhie Region (European Russia) / V. Matskovsky [et al.] // IOP Conference. Series Earth and Environmental Science. 2020. Vol. 611, no. 1. Art. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012047.

References

1. Kramer P. D., Kozlovskiy T. T. *Fiziologiya drevesnykh rasteniy* [Physiology of woody plants]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1983. 627 p. (In Russian).
2. Nikiforochkin I. V., Vetrov L. S., Guryanov M. O., Sadovnikova A. A. The influence of climatic factors on the radial growth of Scots pine in the Leningrad region. *Trudy Sankt-Peterburgskogo nauchno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva* [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2020, no. 2, pp. 34–45 (In Russian).
3. Mikhaylova M. I. *Sostoyaniye, rost i produktivnost' ekotipov sosny obyknovennoy v geograficheskikh lesnykh kul'turakh Voronezhskoy oblasti. Dissertatsiya kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [The state, growth and productivity of Scots pine ecotypes in geographical forest cultures of the Voronezh region. Dissertation PhD Agriculture]. Voronezh, 2022. 219 p. (In Russian).
4. Mikhailova M. I., Chernyshov M. P., Rebko S. V. On the best geoecotypes of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) for artificial reforestation. *Lesotekhnicheskiy zhurnal* [Forestry journal], 2023, vol. 13, no. 4 (52), part 1, pp. 58–71. DOI: 10.34220/issn.2222-7962/2021.4/4 (In Russian).
5. Vorobyova N. S., Epishkov A. A., Belobrov D. V. Influence of climatic factors on the formation of annual radial growth of pine in crops on the territory of the Molokchinsky Reserve (Moscow Region). *Cifra. Biologicheskoye nauki* [Cifra. Biological Science], 2024, issue 1, pp. 1–6. DOI: 10.18454/BIO.2024.1.3 (In Russian).
6. Kukhta A. E., Maksimova O. V., Kuznetsova V. V. Impact of climatic factors on the growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the coast of the Kandalaksha Gulf of the White Sea. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forestry magazine], 2023, no. 4, pp. 105–119. DOI: 10.37482/0536-1036-2023-4-105-119 (In Russian).
7. Zheleznova O. S., Tobratov S. A. The influence of climate on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in various habitats of the Meshchera Lowland. *Izvestiya RAN* [Bulletin of the Russian Academy of Science], Geographical series, 2019, no. 5, pp. 67–77. DOI: 10.31857/S2587-55662019567-77 (In Russian).
8. Kuzmin S. R., Rogovtsev R. V. Radial growth and the proportion of latewood in Scots pine in geographical cultures in Western and Central Siberia. *Sibirskiy lesnoy zhurnal* [Siberian Forestry Journal], 2016, no. 6, pp. 113–125. DOI: 10.15372/SJFS20160611 (In Russian).
9. Simonenkova V. A., Kulagin A. Yu. Radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) on the zonal ecotone of forest and steppe. *Izvestiya Ufimskogo nauchnogo tsentra RAN* [Bulletin of the Ufa Scientific Center of the Russian Academy of Science], 2018, no. 2, pp. 76–81. DOI: 10.31040/2222-8349-2018-0-2-76-81 (In Russian).
10. Sheremetov R. T., Ufimtsev V. I. Assessment of the influence of temperature on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) under technogenic impact. *Vestnik KemGU* [Bulletin of KemSU], 2012, no. 4 (52), vol. 1, pp. 24–28 (In Russian).

11. Lysenko S. A., Loginov V. F. The role of forests in maintaining water balance in Belarus. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2020, vol. 64, no. 2, pp. 225–232. DOI: 10.29235/1561-8323-2020-64-2-225-232 (In Russian).
12. Lysenko S. A. Numerical modeling of the microclimate of re-wetted lands of the Belarusian Polesie. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2024, vol. 68, no. 3, pp. 238–246. DOI: 10.29235/1561-8323-2024-68-3-238-246 (In Russian).
13. Demina A. V. *Osobennosti ekologo-klimaticheskogo otklika radial'nogo prirosta sosny obyknovnoy v dvukh defitsitnykh po uvlazhneniyu regionakh Sibiri. Dissertatsiya kandidata biologicheskikh nauk* [Features of the ecological and climatic response of the radial growth of Scots pine in two moisture-deficient regions of Siberia. Dissertation PhD Biological]. Voronezh, 2022. 133 p. (In Russian).
14. Kukhta A. E., Popova E. N. Climate signal in the linear growth of Scots pine in boreal phytocenoses of the White Sea coast. *Problemy ekologicheskogo monitoringa i modelirovaniya ekosistem* [Problems of environmental monitoring and modeling of ecosystems], 2020, vol. 31, no. 3–4, pp. 33–45 (In Russian).
15. Rumyantsev D. E., Epishkov A. A., Lipatkin V. A., Volkova G. L. Statistical regularities of variability of time series of radial growth of Scots pine by synchronicity indicators on the territory of the Russian Plain. *Sovremennyye problemy nauki i obrazovaniya* [Modern problems of science and education], 2015, no. 5. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=22526> (accessed 02.03.2025) (In Russian).
16. Matskovsky V., Kuznetsova V., Morozova P., Semenyak N., Solomina O. Estimated Influence of Extreme Climate Events in the 21st Century on the Radial Growth of Pine Trees in Povolzhie Region (European Russia). *IOP Conference, series Earth and Environmental Science*, 2020, vol. 611, no. 1, art. 012047. DOI: 10.1088/1755-1315/611/1/012047.

Информация об авторах

Поплавская Лилия Францевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Ребко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

Тупик Павел Валерьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Information about the authors

Paplauskaya Liliya Francauna – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: poplavskaya@belstu.by

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

Tupik Pavel Valeryevich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavel_tupik@belstu.by

Поступила 14.03.2025

УДК 630*233.43

В. К. Гвоздев, Н. И. Якимов, Г. Я. Климчик, А. В. Юрения
Белорусский государственный технологический университет

**ЛЕСОВОДСТВЕННАЯ ОЦЕНКА ЭТАПОВ ФОРМИРОВАНИЯ
75-ЛЕТНИХ ОПЫТНЫХ КУЛЬТУР СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ
РАЗНОЙ ГУСТОТЫ ПОСАДКИ**

Проанализированы возрастные этапы формирования опытных лесных культур сосны обыкновенной разной густоты посадки. Культуры созданы в 1949 г. в Негорельском учебно-опытном лесхозе под руководством профессора Мирона К. Ф. с первоначальной густотой 2500, 5000, 6670 и 10 000 шт./га. Тип леса – сосняк мшистый, тип лесорастительных условий – бор свежий. Почва дерново-подзолистая слабоподзоленная, развивающаяся на песке связном, сменяемом рыхлыми песками. Исследование культур проводилось в возрасте 30, 37, 54 и 75 лет сотрудниками и аспирантами кафедры лесных культур БГТУ. Установлены закономерности изменения основных таксационных показателей и сохранности лесных культур в возрастном аспекте. Анализ успешности роста лесных культур сосны разной исходной густоты показывает, что в их возрастной динамике наблюдаются определенные закономерности. Прежде всего, следует отметить четкую тенденцию изменения среднего диаметра деревьев. На всех возрастных этапах наблюдений средний диаметр значительно выше в редких культурах с густотой посадки 2500 шт./га. В возрасте 75 лет запасы стволовой древесины в редких культурах в среднем на 17% выше, чем в остальных вариантах опыта. Результаты исследований в лесных культурах сосны обыкновенной разной густоты посадки позволяют сделать вывод о том, что в условиях свежих боров на дерново-подзолистых связнопесчаных почвах лучшим ростом, высокой сохранностью и продуктивностью в возрасте 75 лет обладают редкие культуры с первоначальной густотой 2500 шт./га. В соответствии с результатами исследований и с учетом анализа литературных данных произведено обоснование возможности использования редкой густоты посадки при производстве лесных культур сосны обыкновенной.

Ключевые слова: культуры лесные, сосна обыкновенная, густота посадки, схема посадки, число деревьев, сохранность, диаметр средний, высота средняя, продуктивность, изреживание естественное, формирование насаждений, динамика показателей, успешность роста.

Для цитирования: Гвоздев В. К., Якимов Н. И., Климчик Г. Я., Юрения А. В. Лесоводственная оценка этапов формирования 75-летних опытных культур сосны обыкновенной разной густоты посадки // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 108–114.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-11.

V. K. Gvozdev, N. I. Yakimov, G. Ya. Klimchik, A. V. Yurenja
Belarusian State Technological University

**FORESTRY ASSESSMENT OF THE STAGES OF FORMATION
75-YEAR-OLD EXPERIMENTAL CULTURES OF SCOTS PINE
OF VARIOUS PLANTING DENSITIES**

The article analyzes age stages of formation of experimental forest crops of Scots pine with different planting density. The crops were created in 1949 in Negorelsky educational and experimental forestry enterprise under the supervision of prof. Miron K. F. with the initial density of 2,500, 5,000, 6,670 and 10,000 pcs./ha. Forest type is mossy pine forest, type of forest growing conditions is fresh pine forest. Soil is sod-podzolic slightly podzolized, developing on cohesive sand, replaced by loose sand. The study of crops was carried out at the age of 30, 37, 54 and 75 years by employees and postgraduate students of the Department of Forest Crops of BSTU. Regularities of change of the main taxation indicators and preservation of forest crops in the age aspect were established. Analysis of the growth success of pine forest crops of different initial density shows that certain patterns are observed in their age dynamics. First of all, a clear trend of change in the average tree diameter should be noted. At all age stages of observations, the average diameter is significantly higher in rare crops with a planting density of 2,500 pcs./ha. At the age of 75 years, the reserves of stem wood in rare crops are on average 17% higher than in other experimental variants. The results of studies in Scots pine forest crops of different planting density allow us to conclude that in the conditions of fresh pine forests on sod-podzolic cohesive sandy soils, rare crops with an initial density of 2,500 pcs./ha have the best growth, high preservation and productivity at the age of 75 years. In accordance with the research results and taking into account the analysis of literary data, a substantiation was made for the possibility of using a sparse planting density in the production of Scots pine forest crops.

Keywords: forest crops, Scots pine, planting density, planting pattern, number of trees, preservation, average diameter, average height, productivity, natural thinning, formation of plantations, dynamics of indicators, growth success.

For citation: Gvozdev V. K., Yakimov N. I., Klimchik G. Ya., Yurenja A. V. Forestry assessment of the stages of formation 75-year-old experimental cultures of Scots pine of various planting densities. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 108–114 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-11.

Введение. На современном этапе развития лесного хозяйства основным направлением восстановления лесов в Республике Беларусь является создание лесных культур посевом и посадкой, на долю которых ежегодно приходится более 80% всех возобновляемых площадей. При искусственном лесовосстановлении одним из основных показателей, определяющих устойчивость и продуктивность фитоценозов, является густота насаждений на разных возрастных этапах их развития. В этом плане ключевая роль принадлежит первоначальной густоте создания культур и характеру размещения посевных и посадочных мест, которые являются основными структурными элементами генезиса насаждений. Многочисленными исследованиями установлено, что эти показатели определяют срок смыкания полога насаждений и, следовательно, характер и количество уходов за культурами; ход дифференциации и естественного изреживания древостоя, от которых зависит интенсивность и количество проводимых рубок ухода; очищаемость стволов от сучьев; ход роста древостоев по высоте, диаметру, запасу и в конечном счете фитоценологическую устойчивость насаждений и их биологическую продуктивность [1, 2]. Большое значение размещения деревьев в культурах придавали академик РАСХН Писаренко А. И. и профессор Мерзленко М. Д., которые отмечали что понятие «густота посадки» без учета размещения растений не имеет полного лесоводственно-хозяйственного смысла, поскольку заданную густоту культур можно получить как при равномерном, так и при неравномерном размещении посадочных мест по площади [3]. Для характеристики размещения растений в рядовых культурах авторы предложили применять в качестве критерия индекс равномерности посадки, который представляет отношение величины междурядий к шагу посадки. В идеале индекс равномерности должен быть равен единице, что наблюдается при квадратном размещении высаживаемых растений. В этом случае в культурах могут сложиться оптимальные условия для формирования симметричных крон, корневых систем и высококачественной древесины [4].

Несмотря на многочисленные исследования в области выбора оптимальной густоты создания лесных культур в настоящее время нет однозначного мнения по данному вопросу. Это объясняется

прежде всего широким спектром лесорастительных условий произрастания насаждений, возможностью проведения качественных и своевременных уходов за культурами, наличием машин и механизмов для проведения рубок ухода на стадии смыкания молодняков, возможностью переработки и использования мелкотоварной древесины и других факторов.

Основная часть. Целью наших исследований явилось изучение особенностей формирования искусственных насаждений сосны обыкновенной разной густоты посадки в подзоне грабово-дубово-темнохвойных лесов в условиях свежих боров. Исследования были проведены на стационарном опытном объекте, заложенном в 1949 г. в Негорельском лесничестве Негорельского учебно-опытного лесхоза. Лесные культуры сосны обыкновенной были созданы под руководством заведующего кафедрой лесных культур профессора Мирона К. Ф. для изучения влияния разной густоты посадки на успешность роста насаждений.

Культуры создавались вручную под меч Колесова однолетними сеянцами на землях, вышедших из сельскохозяйственного пользования, с густотой посадки 2500, 5000, 6670, 10 000 шт./га и размещением посадочных мест соответственно 2,0×2,0, 2,0×1,0, 1,5×1,0, 1,0×1,0 м.

Тип леса – сосняк мшистый, тип лесорастительных условий – бор свежий. Почва дерново-подзолистая, слабооподзоленная, развивающаяся на песке связанном, сменяемом рыхлыми песками (таблица).

Изучение особенностей формирования насаждений на разных возрастных этапах проводилось сотрудниками и аспирантами кафедры лесных культур БГТУ [5–7]. Основные таксационные показатели древостоев определялись по общепринятым в лесной таксации методикам [8].

Анализ показателей успешности роста лесных культур сосны разной исходной густоты показывает, что в их возрастной динамике наблюдаются определенные закономерности.

Прежде всего, следует отметить четкую тенденцию изменения среднего диаметра деревьев. На всех возрастных этапах наблюдений средний диаметр значительно выше в редких культурах с густотой посадки 2500 шт./га. При этом с возрастом различия по величине этого показателя сглаживаются (рис. 1).

Динамика таксационных показателей лесных культур сосны обыкновенной разной исходной густоты

Пробная площадь	Густота посадки, шт./га Схема посадки, м	Показатели успешности роста лесных культур				
		Сохранность, %	Средний диаметр, см	Средняя высота, м	Запас стволовой древесины, м ³ /га	Число деревьев, шт./га
1	2500 2,0×2,0	70,3	11,7	9,8	98	1727
		68,9	13,4	13,7	167	1721
		40,3	19,2	18,7	274	1007
		24,0	24,9	24,7	316	600
2	5000 2,0×1,0	61,9	10,6	10,5	154	3027
		41,6	12,8	14,3	189	2081
		23,7	17,9	18,1	271	1184
		13,0	22,6	23,2	267	650
3	6670 1,5×1,0	59,6	9,5	10,6	164	3973
		35,1	12,4	14,6	192	2341
		16,0	17,6	17,8	225	1067
		9,2	22,7	24,1	271	614
4	10000 1,0×1,0	58,1	7,7	10,5	153	5812
		34,1	9,8	12,8	175	3410
		15,6	15,8	17,1	265	1559
		6,0	22,2	24,4	269	602

Примечание. Показатели успешности роста лесных культур приведены по вариантам густоты последовательно в возрасте 30, 37, 54, 75 лет соответственно.

Так, в возрасте 30 лет средний диаметр деревьев в редких культурах по сравнению с густыми (10 000 шт./га) выше на 52%, в 37 лет – на 37%, в 54 года – на 22% и в 75 лет только на 8%. Культуры средней густоты с первоначальной густотой 5000 и 6670 шт./га занимают промежуточное положение, а различия по этому показателю между собой уже с 37 лет практически отсутствуют.

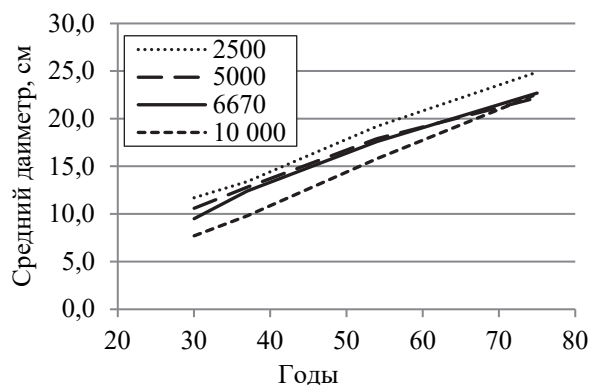


Рис. 1. Изменение диаметров стволов лесных культур

Такое сглаживание величины среднего диаметра деревьев в насаждении следует объяснить естественным отпадом деревьев в результате интенсивного самоизреживания в культурах густых и средней густоты (рис. 2).

В возрасте насаждений 30 лет различия по количеству деревьев по вариантам опыта существенны и составляют на секциях с густотой посадки 2500, 5000, 6670 и 10 000 шт./га соответственно 1727, 3027, 3973 и 5812 шт. на 1 га.

В возрасте 54 лет эти различия значительно меньше, а в 75-летнем возрасте количество деревьев на единице площади одинаково во всех вариантах. Данную закономерность хорошо отражает такой показатель как сохранность лесных культур.

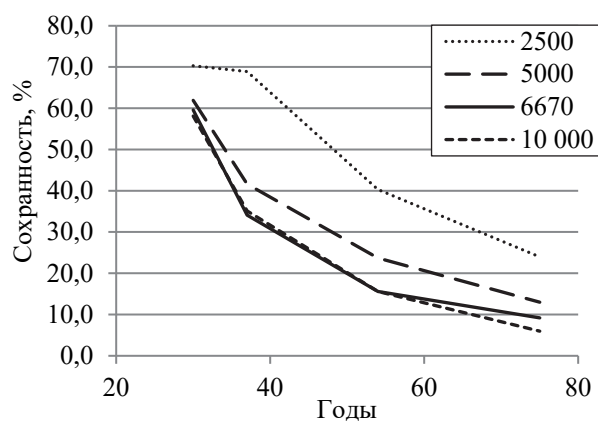


Рис. 2. Изменение сохранности лесных культур

Этот показатель на всех возрастных этапах значительно выше в редких культурах. В насаждениях с густотой посадки 5000 и 6670 шт./га сохранность практически одинакова. В возрасте 75 лет сохранность в редких культурах в 4 раза выше, чем в густых.

Анализ изменений средней высоты насаждений по периодам наблюдений показывает, что различия в изменении этого показателя значимо не выражены. В возрасте 30 лет отмечается несколько меньшая средняя высота деревьев в редких культурах, в то время как в остальных вариантах

она практически одинакова. В возрасте лесных культур 37, 54 и 75 лет различий в средней высоте древостоев не наблюдается (см. таблицу).

Определенная закономерность наблюдается в изменении запасов стволовой древесины древостоев сосны по вариантам густоты посадки. В возрасте 30 лет этот показатель в 1,5 раза ниже в редких культурах, в то время как в остальных вариантах опыта запасы древесины находятся на одном уровне (рис. 3).

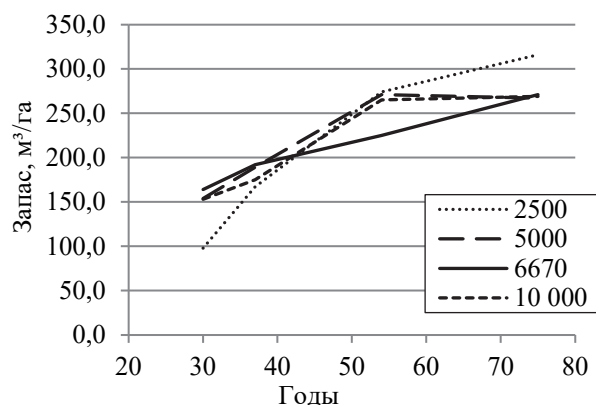


Рис. 3. Динамика запасов стволовой древесины лесных культур

В возрасте 37 лет ситуация меняется и запасы древесины в среднем на 12% выше в культурах средней густоты, в то время как в редких и густых культурах они ниже. В возрасте 54 лет запасы стволовой древесины по всем вариантам густоты выравниваются и практически находятся на одном уровне. В 75-летнем возрасте запасы древесины в среднем на 17% выше в редких культурах, а в остальных вариантах опыта они находятся на одном уровне.

Полученные нами результаты в определенной степени согласуются с выводами других исследователей. Так, А. Н. Мартыновым на основе детального анализа большого количества публикаций установлено, что в процессе естественного изреживания в культурах разной густоты начало отпада и его интенсивность определяются степенью сомкнутости полога насаждения и его дифференциацией — чем гуще лесные культуры, тем раньше и интенсивнее происходит естественный отпад [2].

Г. С. Разин установил, что рост, развитие и возрастная динамика древостоев происходят по всеобщим биологическим законам, которые в древесных насаждениях имеют следующие особенности: чем больше начальная густота, тем раньше и при меньшей средней высоте древостоев устанавливается предел сомкнутости с максимальной суммой площадей горизонтальных проекций крон деревьев и тем раньше и быстрее они ее снижают; и наоборот, чем меньше начальная густота, тем

позже и при больших средних высотах древостоев достигают предела сомкнутости и предела сумм площадей горизонтальных проекций крон деревьев и тем медленнее они ее снижают [9].

Научными сотрудниками Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства были обобщены результаты 45-летнего опыта выращивания лесных культур сосны обыкновенной разной густоты посадки и с разным индексом размещения посадочных мест (от 0,2 до 1,0). Исследования проводились в подзоне южной тайги в чернично-кисличниковой группе типов лесорастительных условий. Установлено, что в культурах равной исходной густоты изменение индекса равномерности посадки не оказало достоверного влияния на таксационные показатели древостоев. Сделан вывод о том, что в данных лесорастительных условиях целесообразно создавать лесные культуры сосны с первоначальной густотой 2000 шт./га [10].

Сотрудниками института леса и древесины им. В. Н. Сукачева профессором Кузьмичевым В. В. и Савич Ю. Н. было изучено влияние густоты посадки лесных культур сосны от 2500 до 30 000 шт./га на их рост. В результате установлены тесные связи между густотой посадки, средним расстоянием между деревьями и средними диаметрами деревьев. Выявлено, что рост культур разной густоты подчиняется довольно строгим закономерностям, которые должны использоваться в выборе хозяйственно оптимальных вариантов лесовыращивания. Установленные зависимости рекомендованы для прогноза успешности роста и устойчивости сосновых культур [11].

Исследования по изучению особенностей формирования лесных культур сосны обыкновенной разной густоты посадки были проведены сотрудниками Татарской ЛОС в условиях сосняка разнотравно-лишайникового (Республика Марий Эл). Изучались лесные культуры в возрасте 25 лет и с густотой посадки от 500 до 11 520 шт./га. Приведены математические модели по оценке влияния исходной густоты культур сосны обыкновенной в условиях сухого бора на динамику таксационных показателей. Установлено, что оптимум исходной густоты в этих условиях, обеспечивающий наивысшую рентабельность за счет улучшения товарной структуры древостоев, снижения затрат на их создание и выращивание, составляет 1,5–2,0 тыс. шт./га [12].

Аналогичные выводы в пользу создания редких лесных культур других главных лесообразующих пород приводятся в многочисленных результатах исследований. Так, при создании лесных культур ели европейской саженцами четырехлетнего возраста в условиях свежей субори с первоначальной густотой от 3300 до 15 600 шт./га установлено, что на всех возрастных этапах ширина

годовых колец значительно выше в редких культурах с густотой посадки 3300 шт./га по сравнению с более густыми. В возрасте культур 35 лет средний диаметр деревьев в 1,4 раза выше в редких культурах по сравнению с густыми. Запас стволовой древесины при густоте посадки 3300 шт./га составляет 462 м³/га, что в 2,1 раза выше, чем в густых культурах [13].

Заключение. Результаты исследований в лесных культурах сосны обыкновенной разной густоты посадки позволяют сделать вывод о том, что в условиях свежих боров на дерново-подзолистых связнопесчаных почвах лучшим ростом, высокой сохранностью и продуктивностью в возрасте 75 лет обладают редкие культуры с первоначальной густотой 2500 шт./га.

В развитых лесных странах также создают редкие культуры сосны. Например, в Финляндии своевременность проведения уходов со снижением густоты позволяет высаживать и успешно выращивать до первых коммерческих рубок культуры сосны с первоначальной густотой 2000 шт./га [14].

В действующих нормативных документах по лесовосстановлению Министерства лесного хозяйства Республики Беларусь для данных

лесорастительных условий при создании лесных культур сосны сеянцами с открытой корневой системой установлена минимальная густота посадки 5600 шт./га, а с закрытой корневой системой – 4480 шт./га.

В последние годы основным направлением в лесовосстановлении и лесоразведении является создание редких лесных культур. Так, в 2024 г. общая площадь воспроизводства лесов по Министерству лесного хозяйства составила 33 675 га, в том числе на посадку и посев лесов приходится 27 350 га. Следовательно, при переходе на редкую густоту посадки культур сосны обыкновенной, которая является основной лесообразующей породой, возможна значительная экономия стоимости посадочного материала. При этом следует учитывать, что значительные площади искусственных насаждений культивируются селекционным посадочным материалом и сеянцами с закрытой корневой системой.

В 2024 г. лесные культуры, созданные селекционным посадочным материалом, составили 62,6%, а с закрытой корневой системой 25% от общей площади посева и посадки [15]. При использовании редкой посадки лесных культур эти показатели значительно повышаются.

Список литературы

1. Родин А. Р. Лесные культуры. М.: МГУЛ, 2006. 318 с.
2. Мартынов А. Н. Густота культур хвойных пород и ее значение. М.: ЦБНТИлесхоз, 1974. 60 с.
3. Писаренко А. И., Мерзленко М. Д. Создание искусственных лесов. М.: Агропромиздат, 1990. 270 с.
4. Мерзленко М. М. Значение густоты стояния в лесных культурах, созданных разными методами // Лесохозяйственная информация. 2004. № 4. С. 13–14.
5. Сироткин Ю. Д., Грук П. В. Фитомасса культур сосны разной исходной густоты // Лесоведение и лесное хозяйство. 1980. Вып. 15. С. 35–39.
6. Климчик Г. Я. Рост и формирование лесных культур сосны обыкновенной в зависимости от исходной густоты и экологического происхождения семян: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Минск, 1989. 17 с.
7. Домасевич А. А. Разработка способов создания лесных культур на землях, выведенных из сельскохозяйственного пользования: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.01. Минск, 2007. 20 с.
8. Атрощенко О. А., Ермаков В. Е. Дипломное и курсовое проектирование по лесоустройству. Минск: БГТУ, 2004. 236 с.
9. Разин Г. С. О законах и закономерностях роста и развития, жизни и отмирания древостоев // Известия вузов. Лесной журнал. 2012. № 1. С. 18–23.
10. Рост сосны в рядовых культурах при заданных вариантах густоты и разных ширине междурядий и шаге посадки / И. В. Шутов [и др.] // Труды Санкт-Петербургского научно-исследовательского института лесного хозяйства. 2014. № 1. С. 19–29.
11. Кузьмичев В. В., Савич Ю. Н. Влияние густоты посадки на рост сосновых культур // Лесоведение. 1979. № 6. С. 56–63.
12. Закономерности развития древостоя в культурах сосны обыкновенной разной исходной густоты / Ю. П. Демаков [и др.] // Вестник Поволжского государственного технологического университета. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2016, № 4. С. 19–33.
13. Гвоздев В. К., Волкович А. П. Лесоводственное обоснование оптимальной густоты посадки лесных культур ели европейской // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2. С. 66–72.

14. Носников В. В. Лесовосстановление в Республике Беларусь с учетом зарубежного опыта // Труды БГТУ. 2015. № 1 (174): Лесное хоз-во. С. 145–148.

15. Итоги проведения мероприятий по воспроизводству лесов в 2024 году и задачи на 2025 год: постановление коллегии М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь от 30 дек. 2024 г. Минск: Минлесхоз, 2024. 14 с.

References

1. Rodin A. R. *Lesnyye kul'tury* [Forest crops]. Moscow, MGUL Publ., 2006. 318 p. (In Russian).
2. Martynov A. N. *Gustota kul'tur khvoynykh porod i ee znachenije* [Density of coniferous crops and its value]. Moscow, CBNTileskhoz Publ., 1974. 60 p. (In Russian).
3. Pisarenko A. I., Merzlenko M. D. *Sozdaniye iskusstvennykh lesov* [Creation of artificial forests]. Moscow, Agropromizdat Publ., 1990. 270 p. (In Russian).
4. Merzlenko M. M. The importance of density of standing in forest cultures created by different methods. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya* [Forestry information], 2004, no. 4, pp. 13–14 (In Russian).
5. Sirotkin Yu. D., Gruk P. V. Phytomass of pine crops of different initial density [Forestry science and forestry], 1980, issue 15, pp. 35–39 (In Russian).
6. Klimchik G. Ya. *Rost i formirovaniye lesnykh kul'tur sosny obyknovennoy v zavisimosti ot iskhodnoy gustoty i ekologicheskogo proiskhozhdeniya semyan: avtoreferat dissertatsii kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Growth and formation of forest crops of Scots pine depending on the initial density and ecological origin of seeds. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 1989. 17 p. (In Russian).
7. Domasevich A. A. *Razrabotka sposobov sozdaniya lesnykh kul'tur na zemlyakh, vyvedennykh iz sel'skokhozyaystvennogo pol'zovaniya: avtoreferat dissertatsii kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Development of methods for creating forest crops on lands withdrawn from agricultural use. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Minsk, 2007. 20 p. (In Russian).
8. Atroshchenko O. A., Yermakov V. E. *Diplomnoye i kursovoye proyektirovaniye po lesoustroystvu* [Diploma and course design on forest management]. Minsk, BSTU Publ., 2004. 236 p. (In Russian).
9. Razin G. S. On the laws and regularities of growth and development, life and death of forest stands. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest Journal], 2012, no. 1, pp. 18–23 (In Russian).
10. Shutov I. V., Ivanov A. M., Antonov O. I., Vlasov R. V., Sergienko V. G., Belenets Yu. E., Smirnov E. G., Vyrodova S. A., Stepanenko S. M. Growth of pine in row crops with given density options and different row spacings and planting pitch. *Trudy Sankt-Peterburgskogo naushno-issledovatel'skogo instituta lesnogo khozyaystva*. [Proceedings of the St. Petersburg Research Institute of Forestry], 2014, no. 1, pp. 19–29 (In Russian).
11. Kuz'michev V. V., Savich Yu. N. The influence of planting density on the growth of pine crops. *Lesovedeniye* [Forestry science], 1979, no. 6, pp. 56–63 (In Russian).
12. Demakov Yu. P., Nureyeva T. V., Puryayev A. S., Ryzhkov A. A. Patterns of forest stand development in Scots pine cultures of different initial density. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], series: Forest. Ecology. Nature Management, 2016, no. 4, pp. 19–33 (In Russian).
13. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. Silvicultural substantiation of the optimal planting density of forest crops of European spruce. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2, pp. 66–72 (In Russian).
14. Nosnikov V. V. Forest restoration in the Republic of Belarus taking into account foreign experience. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1 (174): Forestry, pp. 145–148 (In Russian).
15. Results of forest restoration activities in 2024 and tasks for 2025: Resolution of the Board of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 30.12.2024. Minsk, Ministry of Forestry Publ., 2024. 14 p. (In Russian).

Информация об авторах

Гвоздев Валерий Кириллович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gvozdev@belstu.by

Якимов Николай Игнатьевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: yakimov@belstu.by

Климчик Геннадий Яковлевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: kga@belstu.by

Юреня Андрей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: urenja@belstu.by

Information about the authors

Gvozdev Valeriy Kirillovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gvozdev@belstu.by

Yakimov Nikolay Ignat'yevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yakimov@belstu.by

Klimchik Gennady Yakovlevich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forestry. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: kga@belstu.by

Yurenja Andrey Vladimirovich – PhD (Agriculture), Assistant Professor, the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: urenja@belstu.by

Поступила 03.03.2025

UDC 630*624:539.16(476)

S. U. Rabko, A. V. Domnenkova, I. T. Yermak
Belarusian State Technological University

SUSTAINABLE FOREST MANAGEMENT IN RADIOACTIVELY CONTAMINATED AREAS

The article assesses the radioactivity of forestland in the Republic of Belarus and highlights the long-term dangers of this situation. It presents the distribution of forest land by zones and subzones of radioactive contamination across all forest management authorities in Belarus (Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, Administration of the President of the Republic of Belarus, the National Academy of Sciences of Belarus, the Ministry of Education of the Republic of Belarus, the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus and local executive and administrative bodies) in terms of forest categories (nature conservation, recreational and health-improving, protective, and operational forests). Measures are being taken for sustainable forest management to improve the natural environment. In the forestry sector, experts see artificial reforestation, afforestation, combined forest regeneration, species selection, and optimal soil conditions as key solutions to the problem. The article outlines necessary rehabilitation measures for forested areas in radioactive contamination zones. Data on reforestation and afforestation efforts in radionuclide-contaminated areas, broken down by regions and soil contamination density with cesium-137 as of January 1, 2025 is also provided.

Keywords: radio ecological situation, forest plantations, reforestation, afforestation, radiation safety.

For citation: Rabko S. U., Domnenkova A. V., Yermak I. T. Sustainable forest management in radioactively contaminated areas. *Proceedings of BSTU, issue 1. Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 115–122.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-12.

С. В. Ребко, А. В. Домненкова, И. Т. Ермак
Белорусский государственный технологический университет

УСТОЙЧИВОЕ УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ НА ТЕРРИТОРИЯХ РАДИОАКТИВНОГО ЗАГРЯЗНЕНИЯ

В статье дается оценка радиоактивности земель лесного фонда Республики Беларусь и указывается опасность этой ситуации на перспективу. Представлено распределение площади лесного фонда по зонам и подзонам радиоактивного загрязнения между всеми лесфондодержателями (Министерство лесного хозяйства Республики Беларусь, Управление делами Президента Республики Беларусь, Национальная академия наук Беларуси, Министерство образования Республики Беларусь, Министерство природных ресурсов и охраны окружающей среды Республики Беларусь, местные исполнительные и распорядительные органы) в разрезе категорий лесов (природоохранные, рекреационно-оздоровительные, защитные и эксплуатационные). В целях оздоровления природной среды принимаются меры по устойчивому управлению лесами. Важное решение этой проблемы в лесохозяйственной отрасли производители видят в искусственном лесовосстановлении и лесоразведении, комбинированном возобновлении лесов, подборе видов лесных пород и оптимальных почвенно-грунтовых условий их произрастания. Даны мероприятия для реабилитации лесного фонда в зонах радиоактивного загрязнения. Приведены сведения по лесовосстановлению и лесоразведению на землях, загрязненных радионуклидами в разрезе областей в зависимости от плотности загрязнения почвы цезием-137 по состоянию на 1 января 2025 г.

Ключевые слова: радиоэкологическая обстановка, лесонасаждения, лесовосстановление, лесоразведение, радиационная безопасность.

Для цитирования: Ребко С. В., Домненкова А. В., Ермак И. Т. Устойчивое управление лесами на территориях радиоактивного загрязнения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 115–122 (На англ.).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-12.

Introduction. As a result of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant (ChNPP), the territory of the Republic of Belarus was subjected to

widespread contamination by radioactive elements [1]. Currently, the radio ecological situation is determined by the presence of long-lived radionuclides. Among

them are cesium-137 (^{137}Cs), strontium-90 (^{90}Sr), and transuranic elements (TUE), mainly plutonium isotopes (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu , ^{241}Pu). The half-lives of these radionuclides do not inspire optimism, ranging from 14 years (^{241}Pu) to 24.110 years (^{239}Pu), which determines the prolonged duration of the radio ecological consequences of the Chernobyl disaster, affecting many generations of the inhabitants of the Republic of Belarus [2].

As a result of the natural beta decay of plutonium-241 nuclei in radioactive contaminated areas, the formation of a hazardous radionuclide, the alpha emitter americium-241 (^{241}Am), occurs. This isotope has a half-life of 432 years and is accumulating in quantities comparable to the main sources of alpha radiation. Americium-241 is similar in radioactivity to plutonium isotopes (^{238}Pu , ^{239}Pu , ^{240}Pu), making the assessment of its increasing impact on the biosphere particularly important. Currently, ^{241}Am contributes 50% to the total alpha activity, and in a few decades, its contribution is expected to exceed the combined alpha activity of other sources by nearly twice [2–4].

According to Belarusian researchers, the growth of alpha activity in soils contaminated with transuranic elements due to ^{241}Am will continue until 2058 [5]. Even 100 years after the Chernobyl accident, the total alpha activity of soils in contaminated areas will be 2.4 times higher than in the immediate post-accident period. A reduction in soil alpha activity from ^{241}Am to a level of 3.7 kBq/m² is expected only after the year 2400 [4].

As a result of the Chernobyl disaster, Belarusian forests were affected by radioactive contamination. The most severely contaminated areas are located in the Gomel and Mogilev regions [1, 4, 6].

Currently 10–15% of the total radionuclide fallout on forest ecosystems is concentrated in the above-ground parts of trees, creating serious challenges for forestry management in these areas [7, 8].

Natural ecosystem soils have also been significantly contaminated with radioactive elements [1, 8]. The majority of radionuclides remain in the upper soil layers. The migration of cesium-137 and strontium-90 into deeper soil layers occurs very slowly, with an average migration rate of 0.3–0.5 cm per year [9].

In sod-podzolic sandy and sandy loam soils, as well as in peat lands, the proportion of biologically available forms of cesium-137 is 10–15%. For strontium-90, the proportion of available forms reaches up to 70% in sod-podzolic soils and up to 50% in peat soils. The proportion of available forms of plutonium isotopes and americium-241 is 9–10% and 12–13% respectively [7]. Radioactively contaminated soil becomes a long-term, continuous source of radionuclide transfer into forest resources, limiting their potential use.

Main Section. Over the years since the accident, significant changes have occurred in the radiation situation in the territory of the Republic of Belarus. The radioactive decay of short-lived radionuclides, the migration of long-lived radionuclides deeper into the soil, and the reduction in the content of cesium-137 and strontium-90 due to their natural radioactive decay (with a half-life of approximately 30 years) have led to a decrease in gamma radiation levels [9, 10].

The majority of radionuclide-contaminated forests are managed by the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus and the Ministry of Natural Resources and Environmental Protection of the Republic of Belarus.

As of January 1, 2024, the area of radioactive contamination within the forest fund under the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus exceeded 1.200 thousand hectares. Table 1 presents the distribution of the forest fund territory of the Republic of Belarus by radioactive contamination zones as of January 1, 2024 [6].

An analysis of the presented data shows that, as of January 1, 2024, the area of the forest fund of the Republic of Belarus under all forest management entities accounts for 17.0% (with uncontaminated forests making up 83.0%). Reaching its highest absolute value under the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus – 1,284,028.3 hectares.

Zone I – from 1 to 5 Ci/km² (residential zone with periodic radiation monitoring) – the area of radioactive contamination of the forest fund of the Ministry of Forestry is 852.9 thousand hectares (69.9%). Zone II – from 5 to 15 Ci/km² (zone with the right to resettle) – 281.3 thousand hectares (23.0%). Zone III – from 15 to 40 Ci/km² (zone of subsequent resettlement) – 84.3 thousand hectares (6.9%). Zone IV – 40 Ci/km² or more (priority resettlement zone) – 0.3 thousand hectares (0.002%).

The radiation situation in the forest fund territory contaminated with radionuclides is stabilizing. Over time, the area of each zone of radioactive contamination decreases, and a transition occurs from a zone with a higher density of soil contamination with cesium-137 to a zone with a lower density [10]. Compared to the previous year, the areas of radioactive contamination of forests by zone were: Zone I – 71.1%, Zone II – 23.79%, Zone III – 5.09%, Zone III – 0.02% [6, 11, 12].

Despite the fact that by now a significant part of radionuclides with a short half-life have ceased to exist, natural ecosystems remain contaminated with cesium-137, strontium-90, isotopes of plutonium, americium-241, having half-lives from 14 to 24,065 years.

In the current conditions, the forest scientific community is faced with the task of rehabilitating forest ecosystems.

Table 1

**Distribution of forest area by zones and subzones of radioactive contamination
in the Republic of Belarus (area, hectares)**

Forest categories, government authority, administrative-territorial unit	Clean forests	Zones and subzones of radioactive contamination by density of soil contamination with cesium-137, Ci/km²					
		I	II	Total up to 15 Ci/km²	III	IV	Total
		1–5 (0.95–4.94)	5–15 (4.95–14.94)		15–40 (14.95–39.94)	Above 40 (39.95 and above)	
Ministry of Forestry							
Conservation forests	1,103,864.1	108,859.8	37,903.8	146,763.6	16,253.2	–	1,266,880.9
Recreational and health forests	28,1042.8	18,691.0	2,713.9	21,404.9	366.0	–	302,813.7
Protective forests	1,197,384.0	152,077.5	74,288.5	226,366.0	27,021.5	56.2	1,450,827.7
Production scaffolding	4,784,360.1	616,738.9	175,938.5	792,677.4	52,655.6	463.9	5,630,157.0
Total	7,366,651.0	896,367.2	290,844.7	1,187,211.9	96,296.3	520.1	8,650,679.3
Including percentage	85.2	10.4	3.4	13.7	1.1	0.0	100.0
Administration of the President of the Republic of Belarus							
Conservation forests	467,079.8	8,228.0	–	8,228.0	–	–	475,307.8
Recreational and health forests	8,406.4	486.9	–	486.9	–	–	8,893.3
Protective forests	49,768.1	9,290.9	–	9,290.9	–	–	59,059.0
Production scaffolding	182,720.7	46,282.6	–	46,282.6	–	–	229,003.3
Total	707,975.0	64,288.4	–	64,288.4	–	–	772,263.4
Including percentage	91.7	8.3	–	8.3	–	–	100.0
Local executive and administrative bodies							
Conservation forests	1,491.0	–	–	–	–	–	1,491.0
Recreational and health forests	12,782.5	–	–	–	–	–	12,782.5
Protective forests	–	–	–	–	–	–	–
Production scaffolding	803.6	–	–	–	–	–	803.6
Total	15,077.1	–	–	–	–	–	15,077.1
Including percentage	100.0	–	–	–	–	–	100.0
National Academy of Sciences of Belarus							
Conservation forests	1,330.4	–	–	–	–	–	1,330.4
Recreational and health forests	4,293.2	–	–	–	–	–	4,293.2
Protective forests	9,196.0	–	–	–	–	–	9,196.0
Production scaffolding	26,883.1	–	–	–	–	–	26,883.1
Total	41,702.7	–	–	–	–	–	41,702.7
Including percentage	100.0	–	–	–	–	–	100.0
Ministry of Education							
Conservation forests	418.4	–	–	–	–	–	418.4
Recreational and health forests	1,516.4	–	–	–	–	–	1,516.4
Protective forests	5,613.3	–	–	–	–	–	5,613.3
Production scaffolding	20,237.0	–	–	–	–	–	20,237.0
Total	27,785.1	–	–	–	–	–	27,785.1
Including percentage	100.0	–	–	–	–	–	100.0
Ministry of Natural Resources and Environmental Protection							
Conservation forests	–	–	–	–	748.9	1,932.6	2,681.5
Recreational and health forests	–	–	–	–	75.9	–	75.9
Protective forests	–	–	–	–	14,711.0	37,705.8	52,416.8
Production scaffolding	–	–	–	–	52,377.2	109,325.6	161,702.8
Total	–	–	–	–	67,913.0	148,964.0	216,877.0
Including percentage	–	–	–	–	31.3	68.7	100.0
Total for the Republic of Belarus							
Conservation forests	1,574,183.7	117,087.8	37,903.8	154,991.6	17,002.1	1,932.6	1,748,110
Recreational and health forests	308,041.3	19,177.9	2,713.9	21,891.8	441.9	–	330,375
Protective forests	1,261,961.4	161,368.4	74,288.5	235,656.9	41,732.5	37,762.0	1,577,112.8
Production scaffolding	5,015,004.5	663,021.5	175,938.5	838,960.0	105,032.8	109,789.5	6,068,786.8
Total	8,159,190.9	960,655.6	290,844.7	1,251,500.0	164,209.3	149,484.1	9,724,384.6
Including percentage	83.0	9.9	3.0	12.9	1.7	1.5	100.0

Table 2

**Distribution of the forest fund territory of the Republic of Belarus
by radioactive contamination zones as of 01.01.2024**

Area	The area of soil contamination with cesium-137, thousand hectares					
	total		by zones			
	thousand hectares	in % of the total forest area	1–5 Ci/km ²	5–15 Ci/km ²	15–40 Ci/km ²	>40 Ci/km ²
Total						
Republic of Belarus	1,500.4	15.4	945.5	378.9	138.7	37.3
By region						
Brest region	68.1	4.8	66.2	1.9	0.0	0.0
Vitebsk region	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gomel region	1,020.6	44.2	593.9	286.8	102.8	37.1
Grodno region	10.7	1.1	10.7	0.0	0.0	0.0
Minsk region	30.9	1.8	30.8	0.1	0.0	0.0
Mogilev region	370.1	28.7	243.9	90.1	35.9	0.2
Including those under the jurisdiction of the Ministry of Forestry						
Republic of Belarus	1,218.8	14.1	852.9	281.3	84.3	0.3
By region						
Brest region	68.1	5.1	66.2	1.9	0.0	0.0
Vitebsk region	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Gomel region	742.2	39.5	504.5	189.2	48.4	0.1
Grodno region	10.7	1.1	10.7	0.0	0.0	0.0
Minsk region	27.7	1.8	27.6	0.1	0.0	0.0
Mogilev region	370.1	29.5	243.9	90.1	35.9	0.2

To rehabilitate forest resources in areas of radioactive contamination, it is necessary to carry out:

- preventive and precautionary measures for the protection and protection of forests. primarily from fires;

- works on reforestation and afforestation. aimed at preserving forest ecosystems. strengthening of environment-forming agents. protective functions of the forest;

- continuous radiation monitoring to justify protective measures, implement forest management, predict radioactive contamination of forests and forest products;

- mandatory radiation monitoring in order to ensure the radiation safety of forest workers, the population when visiting forests and consumers of forest products [13].

When determining the factors and conditions for effective forest management, primary attention is given to the following aspects [14, 15]:

- predominance of forest regeneration through the establishment of forest plantations, with a gradual increase in the area of natural regeneration forests, as they are more resistant to environmental contamination and other adverse factors;

- improvement of the qualitative composition and resilience of newly established plantations, enhancing the role of selective seed production in increasing forest productivity.

To ensure sustainable forest management in radioactive contamination zones, a set of protective measures is implemented, the main ones being reforestation and afforestation, forest fire protection, and ensuring radiation safety for workers [13–15].

Reforestation and afforestation in radioactive contamination zones are carried out in accordance with the Regulation on the Procedure for Reforestation and Afforestation, issued by the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus [16], and the Technical Code of Practice Rules for Reforestation and Afforestation [17]. These activities are strictly performed following the Rules for Forest Management in Radioactively Contaminated Areas [18].

Reforestation on Forest Fund Lands. Afforestation and the establishment of forest plantations are carried out in all radioactive contamination zones.

In Zones I and II of radio-active contamination, the establishment and cultivation of forest plantations are conducted following existing rules, guidelines, approved recommendations, and scientific developments. It is recommended to expand the volume of forest plantations using large-sized planting material, apply fertilizers, and cultivate mixed stands.

In Zone III of radio-active contamination, arable lands unsuitable for agricultural production, as well as non-forested lands within the forest fund, are subject to afforestation or artificial reforestation.

In Zone IV, non-forested and non-forest lands are left for natural forest regeneration. In all cases where sufficiently good natural regeneration of tree species can be obtained, it is advisable to focus on the effective use of seed dispersal capacity from existing stands and individual trees.

Table 3 contains data on reforestation, afforestation, planting, and sowing of forests in areas contaminated with cesium-137 as of January 1, 2025.

Table 3

Artificial reforestation and afforestation on land contaminated with cesium-137 as of 01.01.2025

Area	Planting and sowing forests on lands contaminated with cesium-137, thousand hectares	Including the density of soil contamination, thousand hectares		
		1–5 Ci/km ²	5–15 Ci/km ²	15–40 Ci/km ²
Republic of Belarus	5,002	3,711	815	476
Including:				
Brest region	119	119	–	–
Gomel region	3,470	2,519	602	349
Grodno region	13	13	–	–
Minsk region	52	52	–	–
Mogilev region	1,348	1,008	213	127
Ministry of Forestry	4,518	3,527	815	176
Including:				
Brest region	119	119	–	–
Gomel region	3,001	2,350	602	49
Grodno region	13	13	–	–
Minsk region	37	37	–	–
Mogilev region	1,348	1,008	213	127
Of these excluded from agricultural circulation				
Republic of Belarus	438	112	66	260
Including:				
Gomel region	341	111	12	218
Mogilev region	97	1	54	42
Ministry of Forestry	209	101	66	42
Including:				
Gomel region	112	100	12	–
Mogilev region	97	1	54	42

Analysis of the table shows that the highest volumes of reforestation and afforestation work are carried out in the Mogilev and Gomel regions. This is natural, as these territories were subjected to the highest levels of radioactive contamination as a result of the Chernobyl NPP accident.

Afforestation of contaminated areas significantly improves the environmental situation, especially on former agricultural lands. Forests help to:

- reduce surface runoff of contaminated water by redirecting it into subsurface infiltration;
- decrease wind speed, thereby reducing the spread of radionuclides along with dust from unvegetated soils.

Reforestation activities are carried out in compliance with radiation safety regulations:

- afforestation of land contaminated with radionuclides should be conducted in early spring or late autumn, on moist soil, and in windless weather;

- the establishment of forest plantations involves a minimum number of operations to ensure the shortest possible work duration.

Radiation monitoring during the afforestation of radionuclide-contaminated land includes:

- monitoring the exposure dose rate in the work area, workplaces, and other relevant locations;
- individual monitoring of workers' skin contamination by radionuclides;
- individual recording of actual working time and its compliance with the maximum allowable work duration.

Conclusion. The Chernobyl accident disrupted the ecological balance of the natural environment, significantly affecting forest plantations [19–21]. To rehabilitate contaminated areas, Belarus is actively engaged in reforestation, afforestation, and tree planting. These efforts will contribute to restoring ecological balance and reducing the negative radiation impact on the environment.

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, Rechickaya ukрупnennaya tipografiya Publ., 1999. 454 p. (In Russian).
2. *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).

3. *Radiobiologiya: sovremennye problemy 2020: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Radiobiology: modern problems 2020: proceedings of the International Scientific Conference]. Minsk, 2020. 204 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 14.01.2025) (In Russian).
5. Semenya I. N. Does the problem of population irradiation from the Chernobyl disaster exist? *Radioekologicheskiye i radiobiologicheskiye posledstviya chernobył'skoy katastrofy: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Radioecological and radiobiological consequences of the Chernobyl disaster: materials of the International scientific-practical conference]. Minsk, 2017, pp. 113–118 (In Russian).
6. Radioactive contamination of forest resources. Available at: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/radioaktivnoe-zagryaznenie-lesnogo-fonda/> (accessed 14.01.2025) (In Russian).
7. Chernobyl 20 years later. Strategy for recovery and sustainable development of affected regions. Available at: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/8e3/8e35c777a1e14ed6f6dbef6aaa813083f.pdf> (accessed 14.01.2025) (In Russian).
8. Perevolotskiy A. N. *Raspredeleniye ^{137}Cs i ^{90}Sr v lesnykh biogeotsenozakh* [Distribution of ^{137}Cs and ^{90}Sr in forest biogeocenoses]. Gomel, Institut radiologii Publ., 2006. 255 p. (In Russian).
9. Radiation control. Available at: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/> (accessed 17.02.2023) (In Russian).
10. Karbanovich L. N. The area of forest radiation pollution has decreased. *Belorusskaya lesnaya gazeta* [Belarusian forest newspaper], 2022, January 6, p. 2 (In Russian).
11. Yermak I., Garmasa A., Balakir M. Forest restoration and forestry on territories contaminated with cesium-137. *Sistema upravleniya ekologicheskoy bezopasnost'yu: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Environmental safety management system: proceedings of the International scientific and practical conference]. Yekaterinburg, 2022, pp. 272–276.
12. 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).
13. *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 Chernobył'skoy AES Publ., 2007. 10 p. (In Russian).
14. Perevolotskiy A. N., Bulavik I. M. *Osnovy vedeniya lesnogo khozyaystva v usloviyakh radioaktivnogo zagryazneniya* [Fundamentals of forestry management under conditions of radioactive contamination]. Minsk, Belgosles Publ., 2003. 144 p. (In Russian).
15. TKP 047-2009 (02080). Sustainable forest management and forest exploitation. Manual on forest restoration and afforestation in the Republic of Belarus. Minsk, Ministry of Forestry Publ., 2010. 128 p. (In Russian).
16. On some issues of forest reproduction in the field of reforestation and afforestation: Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 19.01.2016, no. 80. *Natsional'nyy pravovoy Internet-portal Respubliki Belarus'* [National Legal Internet Portal of the Republic of Belarus], 2017, 8/31578 (In Russian).
17. TKP 667-2022 (33090). Rules for reforestation and afforestation. Minsk, Ministry of Forestry Publ., 2022. 25 p. (In Russian).
18. 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).
19. Perevolotskaya T. V. *Radiatsionnoye lesovodstvo: osnovy lesokhozyaystvennoy deyatel'nosti* [Radiation forestry: fundamentals of forestry activities]. Gomel, GSU Publ., 2014. 32 p. (In Russian).
20. TKP 250-2010. Radiation monitoring. Forestry facilities, workplaces. Procedure. Minsk, Belstandart Publ., 2010. 27 p. (In Russian).
21. 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).

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. 35 лет после Чернобыльской катастрофы: итоги и перспективы преодоления ее последствий. Национальный доклад Республики Беларусь. Минск: ИВЦ Минфина, 2020. 152 с.
3. Радиобиология: современные проблемы 2020: материалы междунар. науч. конф., Гомель, 24–25 сент. 2020 г. Минск, 2020. 204 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/informatsionnyu-tsentr/posledstviya-chernobylskoy-katastrofy-dlya-belarusi/> (дата обращения: 14.01.2025).
5. Семененя И. Н. Существует ли проблема облучения населения от америция-241 чернобыльского происхождения // Радиоэкологические и радиобиологические последствия чернобыльской катастрофы: материалы междунар. науч.-практ. конф., Хойники, 11–12 окт. 2017 г. Минск, 2017. С. 113–118.
6. Радиоактивное загрязнение лесного фонда // Беллесозащита. URL: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol/radioaktivnoe-zagraznenie-lesnogo-fonda/> (дата обращения: 14.01.2025).
7. Чернобыль 20 лет спустя. Стратегия восстановления и устойчивого развития пострадавших регионов // Департамент по ликвидации последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС М-ва по чрезвычайным ситуациям Респ. Беларусь. URL: <https://chernobyl.mchs.gov.by/upload/iblock/8e3/8e35c777a1e14ed6f6db6baaa813083f.pdf> (дата обращения: 14.01.2025).
8. Переволоцкий А. Н. Распределение ^{137}Cs и ^{90}Sr в лесных биогеоценозах. Гомель: Ин-т радиологии, 2006. 255 с.
9. Радиационный контроль // Беллесозащита. URL: <https://bellesozaschita.by/radiacionnyj-kontrol> (дата обращения: 17.02.2023).
10. Карбанович Л. Н. Площадь радиационного загрязнения лесов уменьшилась // Белорус. лесная газ. 2022. 6 янв. С. 2.
11. Yermak I., Garmasa A., Balakir M. Forest restoration and forestry on territories contaminated with cesium-137 // Система управления экологической безопасностью: материалы междунар. науч.-практ. конф., Екатеринбург, 19–20 мая 2022 г. Екатеринбург, 2022. С. 272–276.
12. 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.
13. 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.
14. Переволоцкий А. Н., Булавик И. М. Основы ведения лесного хозяйства в условиях радиоактивного загрязнения. Минск: Белгослес, 2003. 144 с.
15. Устойчивое лесопользование и лесопользование. Наставление по лесовосстановлению и лесоразведению в Республике Беларусь: ТКП 047–2009 (02080). Минск: Минлесхоз, 2010. 128 с.
16. О некоторых вопросах воспроизводства лесов в области лесовосстановления и лесоразведения: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 80 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2017. 8/31578.
17. Правила лесовосстановления и лесоразведения: ТКП 667–2022 (33090). Минск: Минлесхоз, 2022. 25 с.
18. Правила ведения лесного хозяйства на территориях, подвергшихся радиоактивному загрязнению в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. 2017. 8/31754.
19. Переволоцкая Т. В. Радиационное лесоводство: основы лесохозяйственной деятельности: практ. рук-во для студентов специальности 1-75 01 01 «Лесное хозяйство». Гомель: ГГУ, 2014. 32 с.
20. Радиационный контроль. Объекты лесного хозяйства, рабочие места. Порядок проведения: ТКП 250–2010. Минск: Белстандарт, 2010. 27 с.
21. 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.

Information about the authors

Rabko Siarhei Uladzimiravich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Head of the Department of Forest Plantations and Soil Science. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rebko@belstu.by

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

Yermak Ivan Timofeevich – PhD (Agriculture), 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

Информация об авторах

Рабко Сергей Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, заведующий кафедрой лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: rebko@belstu.by

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

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

Received 19.02.2025

ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО

FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING

УДК 630*228.8(630*176.322.6):(630*11+630*907.4+630*4)

Д. К. Гарбарук¹, А. В. Судник², А. В. Углынец¹

¹Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

²Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купевича НАН Беларуси

СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ ДУБА В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ

В дубовых лесах зоны отчуждения Чернобыльской атомной электростанции, произраставших на протяжении 38 лет в условиях высокого ионизирующего излучения и отсутствия хозяйственного воздействия, в 2023 г. создана сеть комплексного мониторинга лесных экосистем, состоящая из 10 постоянных и 23 временных пунктов наблюдения, и получены оценки современного состояния древостоев дуба. Установлено, что индекс их жизненного состояния варьировал в пределах 37,6–93,2%, в среднем составлял 62,9% и соответствовал категории «поврежденных» насаждений. Степень дефолиации крон древостоев изменялась в диапазоне 8,3–33,5% при средней доле потери листовой поверхности 23,7%. Индекс жизненного состояния древесных пород улучшался в ряду дуб, осина, ясень, береза повислая, граб, ольха черная, сосна, клен; степень дефолиации крон понижалась в ряду дуб, ясень, осина, береза повислая, ольха черная, граб, сосна, клен. Санитарное состояние дубрав оценивалось в 1,23–3,98 балла, в среднем – в 2,33 балла. По совокупности полученных данных состояние древостоев улучшается при повышении трофности и влажности почв в ряду типов леса дубрава орляковая < дубрава кисличная < дубрава снытевая. Природными факторами повреждено 56,0–100,0% деревьев в древостоях дуба, степень повреждения возрастает от плакорных дубрав до пойменных, а в пределах этих экологических групп – по мере снижения трофности и влажности почв. Повреждаемость древесных пород снижается в ряду дуб, ясень, ольха черная, клен, береза повислая, граб. Основными факторами повреждения деревьев являются поражение листовой поверхности насекомыми (69,4% деревьев), грибными болезнями (33,8%), стволовыми гнилями (20,8%), бактериальной водяной (5,8%). Ухудшение состояния дубрав вызвано уменьшением запасов влаги в почвах, обусловленной понижением уровней грунтовых вод вследствие масштабных гидротехнических мелиораций в прошлом и современным усилением аридности климата на фоне хронического ионизирующего облучения деревьев и отсутствия лесохозяйственных санитарных мероприятий, обусловивших ослабление деревьев, накопление сухостоя и распространение вредителей и болезней.

Ключевые слова: Чернобыльская АЭС, зона отчуждения, древостой дуба, жизненность, дефолиация, санитарное состояние, повреждение деревьев.

Для цитирования: Гарбарук Д. К., Судник А. В., Углынец А. В. Состояние древостоев дуба в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 123–138.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-13.

D. K. Garbaruk¹, A. V. Sudnik², A. V. Uglyanets¹

¹Polesye State Radiation-Ecological Reserve

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

THE STATE OF OAK STANDS IN THE EXCLUSION ZONE OF THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER PLANT

In the oak forests of the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant, growing for 38 years in conditions of high ionizing radiation and lack of economic impact, in 2023 a network of integrated monitoring of forest ecosystems, consisting of 10 permanent and 23 temporary observation points, was

established and assessments of the current state of oak stands were obtained. It was found that the index of their vital state varied in the range of 37.6–93.2%, averaged 62.9% and corresponded to the category of “damaged” stands. The degree of stand crown defoliation varied in the range of 8.3–33.5% with an average foliage loss of 23.7%. The vital state index of tree species improved in the row of English oak, aspen, European ash, silver birch, European hornbeam, black alder, Scotch pine, Norway maple; the degree of crown defoliation decreased in the row of English oak, English ash, aspen, silver birch, black alder, English hornbeam, Scotch pine, Norway maple. The sanitary condition of oak trees was rated 1.23–3.98, with an average of 2.33. According to the totality of the obtained data, the condition of stands improves with increasing soil trophicity and moisture in the series of forest types “bracken fern oak forest < wood sorrel oak forest < goutweed oak forest”. Natural factors damaged 56.0–100.0% of trees in oak stands, the degree of damage increasing from dryland to floodplain oak stands, and within these ecological groups as soil trophicity and moisture decreased. Damage rate of tree species decreases in the row English oak, English ash, black alder, Norway maple, silver birch, English hornbeam. The main factors of damage to trees are damage to foliage by insects (69.4% of trees), fungal diseases (33.8%), trunk rot (20.8%), bacterial dropsy (5.8%). The deterioration of oak forests is caused by the reduction of moisture stocks in soils due to the lowering of groundwater levels as a result of large-scale hydraulic reclamations in the past and the current increase of climate aridity against the background of chronic ionizing irradiation of trees and the lack of forestry sanitary measures, which caused weakening of trees, accumulation of deadwood and spread of pests and diseases.

Keywords: Chernobyl nuclear power plant, exclusion zone, oak stands, vitality, defoliation, sanitary condition, tree damage.

For citation: Garbaruk D. K., Sudnik A. V., Uglyanets A. V. The state of oak stands in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 123–138 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-13.

Введение. Последние полвека в Белорусском Полесье наблюдается суховершинность и усыхание деревьев дуба, устойчивое ухудшение состояния и гибель его древостоев, сокращение площади дубрав [1–6], принявшее массовый характер в нынешнем столетии [4]. Дубовые леса среди лесных формаций Беларуси характеризуются самым высоким удельным весом насаждений с нарушенной биологической устойчивостью [7]. В странах Европы наиболее высокими показателями повреждаемости характеризуются широколиственные древесные породы и, в частности, листопадные деревья дуба умеренного пояса [8].

Согласно данным публикации [4], причиной усыхания дубрав в Беларуси является совокупное воздействие на деревья климатических факторов и длительных массовых повреждений молодых листьев дуба листогрызущими насекомыми с последующим их поражением мучнистой росой. Усыхание пойменных дубрав Полесья обусловлено нарушением устоявшихся уровней паводково-грунтовых вод под влиянием широкомасштабных осушительных мелиораций в 1960–1970 гг., созданием польдеров и дамб противопаводковой защиты населенных пунктов и сельскохозяйственных угодий в 1970–1990 гг. [1, 3], сильными повреждениями листогрызущими насекомыми ранней формы дуба, распространенной в поймах рек, неудовлетворительным осуществлением лесохозяйственных мероприятий [9].

В лесах европейских стран основной ущерб деревьям всех пород, в том числе и листопадным

видам дуба, причиняют засухи с последующим повреждением насекомыми и грибными болезнями, а также пожары [8].

В Беларуси по мере потепления климата прогнозируется негативное воздействие на состояние лесов поздних весенних заморозков, атмосферных и почвенных засух, других неблагоприятных погодных явлений, массового размножения вредителей и распространения болезней леса [10]. Наблюдаемое в настоящее время в Полесье увеличение количества и глубины засушливых явлений [11], частоты и мощности почвенных засух [12] ухудшает состояние дубрав.

Негативное влияние на состояние лесов оказывает трансграничное загрязнение воздуха [13], тесно связанное с потеплением и повышением засушливости климата [8].

Усыхание деревьев и постепенная деградация древостоев наблюдаются и в дубравах зоны отчуждения (ЗО) Чернобыльской атомной электростанции (ЧАЭС), расположенной на крайнем юго-востоке Полесья [14].

В ЗО ЧАЭС древесные растения дополнительно испытывают воздействие радиационного фактора. Так, даже через 35 лет после радиационной катастрофы еще сохраняются высокие дозы внешнего и внутреннего облучения насаждений сосны в 30-километровой зоне ЧАЭС [15, 16], способные затормаживать рост ее деревьев [17]. Хотя к радиационному воздействию дуб значительно устойчивее сосны [18], не исключено, что хроническое облучение его деревьев, длящееся

с момента аварии на ЧАЭС, привело к замедлению их роста и ухудшению состояния насаждений.

В Западной Европе с 1985 г. ведутся наблюдения за состоянием лесов в рамках международной программы по их мониторингу и оценке влияния атмосферного загрязнения [19]. Мониторинг лесов в Беларуси ведется с 1995 г. лесоуправляющим республиканским унитарным предприятием «Белгослес» [19]. На территории ЗО ЧАЭС с 2014 г. выполняются радиационно-экологические наблюдения за лесными экосистемами, в экологической части которых отслеживаются изменения характеристик основных элементов фитоценозов, включая древостой [20]. В 2018 г. были заложены объекты наблюдения за состоянием дубрав.

Отметим, что в ЗО ЧАЭС с 1986 г. лесохозяйственные мероприятия в дубравах не осуществлялись, оценка их санитарного состояния не проводилась.

Цель настоящего исследования – оценить современное состояние дубовых древостоев в условиях хронического облучения деревьев и отсутствия лесохозяйственной деятельности.

Основная часть. Изучение состояния древостоев дуба в ЗО ЧАЭС выполнили в 2023 г. Исследования проводили на 10 постоянных пунктах наблюдений (ППН), заложенных в репрезентативных участках дубовых лесов основных типов леса, включая мониторинговые объекты заповедника, и на 23 временных пунктах наблюдений (ВПН), расположенных на 4 мониторинговых маршрутах (ММ) общей протяженностью 23,2 км (рис. 1).

Объекты исследований на ППН – древостой дубрав кисличной, снытевой (по 3 насаждения),

орляковой (2), прируслово-пойменной и широко-
травно-пойменной (по 1), на ММ – дубрав кис-
личной (10), прируслово-пойменной (5), орляко-
вой и снытевой (по 4).

На ППН подбирали центральное дерево не ближе 35–40 м от края выдела. От него на расстоянии 25 м по сторонам света закладывали 4 точки учета деревьев (ТУД), в которых также выбирали центральные деревья. Пятой ТУД являлось центральное дерево. На всех пяти ТУД подбирали по 10 живых деревьев I–III классов роста и развития по Крафту. На каждом ППН оценивалось 50 деревьев.

На каждом ВПН производили описание не менее 50 деревьев в нескольких случайно выбранных ТУД.

Для каждого дерева определяли породу, категорию жизненного состояния, процент дефолиации кроны, класс повреждения, характер и степень повреждений ствола и кроны. Для древостоя (совокупности деревьев) рассчитывали индекс состояния и среднюю дефолиацию крон деревьев.

Описание состояния деревьев производили на основе *Методики проведения комплексного мониторинга в составе Национальной системы мониторинга окружающей среды Республики Беларусь (утверждена постановлением Бюро Президиума НАН Беларуси от 04.12.2020 № 547)*.

Оценка жизненного состояния деревьев проводилась на основе «Санитарных правил в лесах Республики Беларусь» (Санитарные правила..., 2016). Шкала категорий состояния деревьев: 1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой.

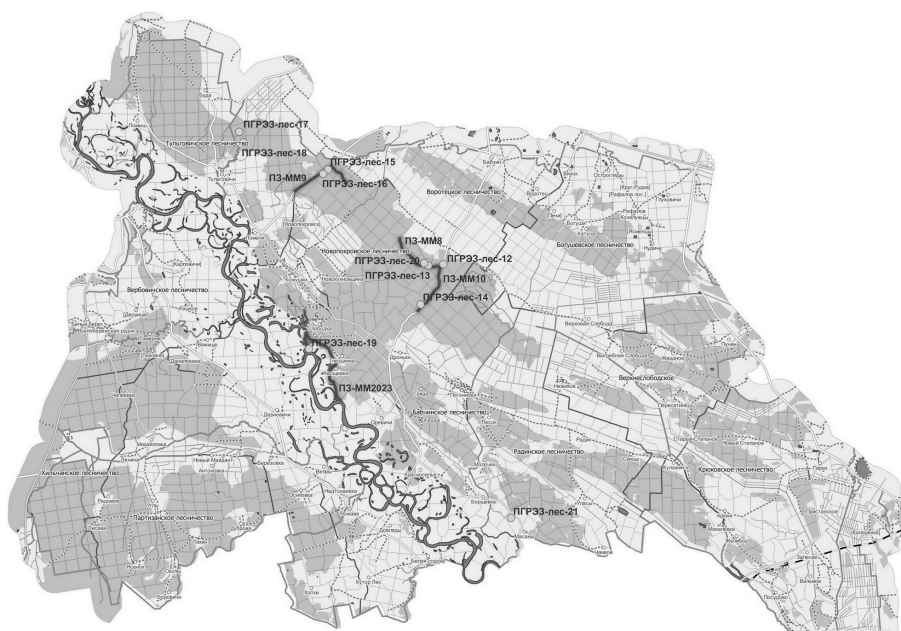


Рис. 1. Схема расположения объектов исследования

Индекс состояния древостоя: параметр, на основе которого рассчитывается самый важный показатель, иллюстрирующий текущее состояние древесного сообщества, – категория жизненного состояния. Расчет индексов состояния древостоев производился по формуле

$$\text{ИС} = \frac{100n_1 + 70n_2 + 40n_3 + 5n_4}{N}, \quad (1)$$

где ИС – индекс жизненного состояния древостоя; n_1, n_2, n_3, n_4 – количество здоровых (без признаков ослабления), ослабленных, сильно ослабленных, усыхающих деревьев соответственно; N – общее количество деревьев (включая сухостой).

Отнесение насаждений к категориям жизненного состояния осуществлялось на основе модифицированной шкалы В. А. Алексеева [14], в соответствии с которой древостой с ИС 90–100% относятся к категории «здоровых», 80–89% – «здоровых с признаками ослабления», 70–79% – «ослабленных», 50–69% – «поврежденных», 20–49% – «сильно поврежденных», менее 20% – «разрушенных».

Дефолиацию (степень потери деревом листьев) определяли глазомерно с 5%-ной точностью. Для более точной оценки процента дефолиации использовали фотоэталоны дефолиации деревьев. По степени дефолиации деревья распределялись по 5 классам повреждения: 0-й класс (неповрежденные деревья) – дефолиация 0–10%; 1-й класс (слабоповрежденные) – 11–25%; 2-й класс (среднеповрежденные) – 26–60%; 3-й класс (сильноповрежденные) – 61–99%; 4-й класс (усохшие деревья) – дефолиация 100%.

При оценке характера и степени повреждений ствола и кроны позаимствованы некоторые особенности из североамериканской технологии мониторинга лесов [21]. Основные типы определяемых повреждений: эмиссии, изменение уровней грунтовых вод, стихийные бедствия (ветровалы, снеголомы, природные механические повреждения), антропогенные механические, биологические, энтомогенные (хвое- и листогрызущие, стволовые и технические, вредители корней), болезни (хвои, листьев, стволов, корней) и др. Кроме того, для каждой ТУД в радиусе до 10 м от центрального дерева подсчитывали количество сухих деревьев с дифференциацией на старый и свежий сухостой, количество буреломных (ветровальных) и снеголомных (снеговальных) деревьев.

Санитарное состояние древостоев на ППН и ВПН определяли по средневзвешенной категории состояния, рассчитываемой по формуле

$$L_n = \frac{\sum lkn}{N}, \quad (2)$$

где L_n – средневзвешенная категория состояния (средний балл состояния) насаждения; lk – балл деревьев для определения категории состояния (1 – без признаков ослабления; 2 – ослабленные; 3 – сильно ослабленные; 4 – усыхающие; 5 – свежий сухостой; 6 – старый сухостой); n – количество деревьев данной категории состояния; N – общее количество деревьев, учтенных на ППН или ВПН.

Таксационные показатели древостоев (табл. 1) устанавливали по материалам лесоустройства с глазомерной корректировкой в натуре.

Таблица 1

Таксационные показатели древостоев на ППН

Номер ППН	Лесничество, квартал/выдел	Тип леса/ТЛУ	Ярус	Состав древостоя	Возраст, лет	Бонитет	Полнота	Запас, м³/га
12	Бабчинское, 1/28	Дубрава снытевая/Дз	I II	6Д3Кл1Гр+Б,Яс 10Гр	120 35	II	0,5 0,3	200 40
13	Новопокровское, 86/33	Дубрава кисличная/С ₂ Д ₂	I II	8Д1Кл1Гр 10 Гр	111 30	II	0,6 0,1	240 20
14	Новопокровское, 72/29	Дубрава снытевая/Дз	I II	6Д4Кл+Яс 8Лп2Гр+Вз	87 15	I	0,6 0,1	180 10
15	Новопокровское, 9/29	Дубрава снытевая/Дз	I	7Д1Олч1Б1Кл+С,Гр	120	I	0,5	200
16	Новопокровское, 17/9	Дубрава кисличная/Д ₂	I II	6Д2Олч1Б1Гр+Кл 10Гр	110 20	II	0,5 0,2	180 20
17	Тульговичское, 84/5	Дубрава кисличная/С ₂ Д ₂	I II	5Д3Гр2Кл 10Гр+Кл	120 20	II	0,6 0,1	180 15
18	Тульговичское, 101/20	Дубрава орляковая/С ₂	I II	8Д1Гр1Кл+Б,Олч 10Гр+Кл	140 20	III	0,5 0,1	160 10
19	Оревичское, 37/37	Дубрава прируслово-пойменная/В _{2п} В _{3п}	I	10Д+Тп	70	IV	0,45	110
20	Новопокровское, 85/20	Дубрава орляковая/С ₂	I	10Д+Кл	110	III	0,6	180
21	Радинское, 119/2	Дубрава широколиственно-пойменная/Д _{3п}	I	7Д3Олч+Ос,Б	95	II	0,6	200

Оценка состояния дубрав выполнена на 1540 учетных деревьях (556 на ППН и 984 на ВПН) для 8 древесных пород (табл. 2).

Таблица 2

Количество обследованных деревьев

Порода	На ППН		На ВПН	
	штук	%	штук	%
Береза повислая	9	1,6	8	0,8
Граб обыкновенный	67	12,0	66	6,7
Дуб черешчатый	363	65,3	799	81,2
Клен остролистный	68	12,2	31	3,2
Ольха черная	39	7,0	33	3,4
Осина	2	0,4	25	2,5
Сосна обыкновенная	1	0,2	19	1,9
Ясень обыкновенный	7	1,3	3	0,3
<i>Всего</i>	556	100,0	984	100,0

Состояние дубрав на постоянных пунктах наблюдения. Древостои дуба на ППН в 90% случаев относились к категории «поврежденные»,

в 10% – к категории «сильно поврежденные» и в среднем характеризовались как «поврежденные» (табл. 3). Их ИС по насаждениям варьировал в пределах 46,8–69,3% и в среднем составлял 61,2%.

Тенденция улучшения жизненного состояния древостоев прослеживается в ряду как плакорных типов леса – дубрава орляковая (средний ИС 52,5%) < дубрава кисличная (61,4%) < дубрава снытевая (66,7%), так и пойменных – дубрава прируслово-пойменная (62,0%) < дубрава широколиственно-пойменная (63,8%), что соответствует рядам повышения трофности и влажности их эдафотопов – $C_2 < C_2D_2$, $D_2 < D_3$ и $B_{2п}B_{3п} < D_{3п}$ соответственно.

В насаждениях доминировали ослабленные деревья – 39,9%. Количество сильно ослабленных деревьев составляло 27,9%, без признаков ослабления – 22,1%; усыхающие отсутствовали; на долю усохших по различным причинам деревьев приходилось 10,1% от общего их количества (табл. 3 и 4).

Таблица 3

Жизненное состояние древостоев на ППН

№ ППН	Тип леса	Доля деревьев по категориям состояния, %					Индекс состояния, %	Категория жизненного состояния
		Без признаков ослабления	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Сухостойные		
12	Д. снытевая	35,2	35,2	22,2	0,0	7,4	68,7	Поврежденные
13	Д. кисличная	17,2	40,6	20,3	0,0	21,9	53,8	Поврежденные
14	Д. снытевая	37,1	33,3	22,2	0,0	7,4	69,3	Поврежденные
15	Д. снытевая	16,0	42,0	42,0	0,0	0,0	62,2	Поврежденные
16	Д. кисличная	30,4	37,5	21,4	0,0	10,7	65,2	Поврежденные
17	Д. кисличная	29,8	40,4	17,5	0,0	12,3	65,1	Поврежденные
18	Д. орляковая	23,6	25,5	41,8	0,0	9,1	58,2	Поврежденные
19	Д. прируслово-пойменная	9,3	64,8	18,5	0,0	7,4	62,0	Поврежденные
20	Д. орляковая	6,7	31,3	45,0	0,0	16,7	46,8	Сильно поврежденные
21	Д. широколиственно-пойменная	17,3	50,0	28,9	0,0	3,8	63,8	Поврежденные
<i>В среднем</i>		22,1	39,9	27,9	0,0	10,1	61,2	Поврежденные

Таблица 4

Показатели жизненного состояния деревьев на ППН

Порода	Доля деревьев по категориям состояния, %					Индекс состояния, %	Категория жизненного состояния
	Без признаков ослабления	Ослабленные	Сильно ослабленные	Усыхающие	Сухостойные		
Береза	44,5	33,3	22,2	0,0	0,0	76,7	Ослабленные
Граб	61,2	31,3	6,0	0,0	1,5	85,5	Здоровые с признаками ослабления
Дуб	4,7	41,6	39,4	0,0	14,3	49,6	Сильно поврежденные
Клен	66,2	32,3	1,5	0,0	0,0	89,4	Здоровые с признаками ослабления
Ольха черная	33,4	48,7	12,8	0,0	5,1	72,6	Ослабленные
Осина	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	70,0	Ослабленные
Сосна	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	Здоровые
Ясень	28,6	57,1	0,0	0,0	14,3	68,6	Поврежденные
<i>Все породы</i>	22,1	39,9	27,9	0,0	10,1	61,2	Поврежденные

Среди сухих деревьев преобладал сухостой старый – 7,6%; доля сухостоя свежего составляла 0,4%; также отмечался бурелом (ветровал) – 2,2%; снеголом (снеговал) отсутствовал.

Жизненное состояние обследованных пород улучшалось в ряду: дуб (средний ИС 49,6%) < ясень (68,6%) < осина (70,0%) < ольха черная (72,6%) < береза повислая (76,7%) < граб (85,5%) < клен (89,4%) < сосна (100,0%). Отметим, что осина и сосна представлены единичными деревьями (табл. 4).

В древостоях дуба в ослабленном состоянии находилось 41,6% деревьев, в сильно ослабленном – 39,4%. Без признаков ослабления насчитывалось всего 4,7% деревьев. Значительная их часть (14,3%) были погибшими. На долю старого сухостоя дуба приходилось 10,7% деревьев, свежий сухостой составлял 0,6%; бурелом (ветровал) – 3,0%.

Среди деревьев ясеня доля старого сухостоя составляла 14,3%. Основная причина его усыхания – поражение болезнями и стволовыми вредителями (большим ясеневым лубоедом, реже пестрым ясеневым лубоедом). Комплексные очаги корневых гнилей и стволовых вредителей привели к выпадению ясеня из состава древостоев и формированию на месте ясенников лесов других формаций. В частности в заповеднике (ЗО ЧАЭС) к 2023 г. насаждения с преобладанием ясеня не сохранились, и он почти полностью выпал из состава смешанных древостоев [22].

Массовое усыхание насаждений ясеня в Республике Беларусь наблюдается с 2003 г. и происходит по причине заражения деревьев этой породы различными видами патогенных грибов, вызванного ухудшением почвенно-грунтовых условий в сочетании с изменившейся погодноклиматической ситуацией [23].

Сухостой отмечен также среди деревьев ольхи черной (5,1%), что связано с высоким их возрастом,

и граба (1,5%), располагающегося в основном в подчиненном ярусе.

Наибольшее количество деревьев без признаков ослабления наблюдается у спутников дуба – клена (66,2%) и граба (61,2%) (табл. 4).

Важнейшей характеристикой древостоев является состояние ассимиляционного аппарата произрастающих в них деревьев, в частности – показатель степени дефолиации их крон. В обследованных дубравах 23,8% всех оцененных живых деревьев не имели признаков повреждения крон (дефолиация 0–10%). На слабоповрежденные деревья (дефолиация 15–25%) приходилось 44,6%; на среднеповрежденные (30–60%) – 30,2%. Сильноповрежденные (65–99%), усыхающие и сухостойные деревья в совокупности составляли 1,4% (табл. 5).

Средняя степень потери листвы деревьями на ППН варьирует по насаждениям в относительно узком диапазоне (20,3–30,6%) и незначительно возрастает от дубрав кисличной (20,3–23,9%) и снытевой (20,4–24,6%) до дубрав прируслово-пойменной (22,3%) и далее – до дубрав широколиственно-пойменной (25,9%) и орляковой (26,2–30,6%).

Древостои дубрав сильно повреждены. Средняя доля поврежденных деревьев в них составляет 79,8% и по отдельным насаждениям изменяется в пределах 56,0–100,0% (табл. 5).

Степень повреждения древостоев увеличивается от дубрав снытевой (56,0–76,0%) и кисличной (70,0–82,0%) до дубрав орляковой (80,0–96,6%), т. е. с ухудшением условий местопроизрастания. Максимально повреждены древостои в дубравах широколиственно-пойменной (90,0%) и прируслово-пойменной (100,0%). Очевидно, что степень повреждения деревьев в древостоях возрастает от плакорных дубрав до пойменных, а в пределах экологических групп – по мере ухудшения трофности почв и снижения индекса их влажности.

Таблица 5

Дефолиация и степень повреждений древостоев на ППН

№ ППН	Тип леса	Доля деревьев с дефолиацией, %					Средняя дефолиация, %	Степень повреждения древостоев, %
		0–10% неповрежденных	15–25% слабоповрежденных	30–60% среднеповрежденных	65–99% сильноповрежденных	100% усохших в 2023 г.		
12	Д. снытевая	36,0	40,0	24,0	0,0	0,0	20,8	56,0
13	Д. кисличная	22,0	52,0	24,0	2,0	0,0	23,9	82,0
14	Д. снытевая	36,0	38,0	26,0	0,0	0,0	20,4	76,0
15	Д. снытевая	16,0	42,0	42,0	0,0	0,0	24,6	70,0
16	Д. кисличная	34,0	42,0	24,0	0,0	0,0	20,8	70,0
17	Д. кисличная	34,0	46,0	18,0	2,0	0,0	20,3	78,0
18	Д. орляковая	26,0	28,0	44,0	2,0	0,0	26,2	80,0
19	Д. прируслово-пойменная	10,0	68,0	20,0	2,0	0,0	22,3	100,0
20	Д. орляковая	6,0	40,0	50,0	4,0	0,0	30,6	96,0
21	Д. широколиственно-пойменная	18,0	50,0	30,0	2,0	0,0	25,9	90,0
	<i>В среднем</i>	23,8	44,6	30,2	1,4	0,0	23,6	79,8

Средняя дефолиация всех обследованных живых деревьев на ППН составляет 23,6% (варьируя по породам от 10,0% у сосны до 29,3% у дуба). В порядке убывания дефолиации обследованные породы располагаются в ряду: дуб (средняя дефолиация 29,3%) > береза повислая (21,1%) > ольха черная (17,7%) > осина (17,5%) > ясень (15,0%) > граб (13,8%) > клен (11,8%) > сосна (10,0%) (табл. 6).

Величины поврежденности деревьев существенно различаются по видам древесных пород. Природными повреждениями затронуто 79,8% обследованных деревьев, в том числе 96,5% – дуба; 66,7% – ясеня; 64,9% – ольхи черной; 57,4% – клена; 55,6% – березы повислой; 40,9% – граба (табл. 6). Антропогенные повреждения отсутствовали.

Наибольшее количество обследованных деревьев характеризуются повреждением кроны энтомовыми вредителями – 69,4%; на долю грибных болезней приходится 33,8%; на долю стволовых вредителей – 2,0% (рис. 2).



Рис. 2. Причины повреждения деревьев

Степень повреждения листвы энтомовыми вредителями составляет в основном 1–2%, реже 5–10%.

Хотя на отдельных деревьях дуба достигает 30 и даже 80% (ППН 19). Из группы филлофагов широко распространены зимняя пяденица и шелкопряд-монашенка, образующие очаги преимущественно в дубовых насаждениях. Несмотря на наличие этих вредителей массового усыхания деревьев не наблюдается.

Среди обследованных деревьев 20,8% имеют стволовую гниль; 2,4% – корневую гниль. Поперечный рак, проявляющийся в виде эллиптических наростов, отмечен у 2,0% деревьев. Это заболевание неразрывно связано с развитием патогенных грибов и бактерий в тканях дерева.

Из прочих повреждений выявлены сухобокость – 0,8%; погрызы коры дикими копытными – 0,8% и попадания молний – 0,4%. Особо отметим высокую степень повреждения деревьев бактериальной водянкой (5,8%).

Все выявленные повреждения вызывают ослабление деревьев и потерю биологической устойчивости насаждений.

Состояние дубовых фитоценозов на ВПН отличается от их состояния на ППН наличием здоровых (4,4%), здоровых с признаками ослабления (4,4%) и ослабленных (21,7%) древостоев при значительно меньшей доле поврежденных (52,1%) и большей – сильно поврежденных (17,4%).

Между ВПН индексы жизненного состояния древостоев дуба широко варьируют – размах их колебания составляет 2,5 раза, коэффициент вариации среднего значения – 20,4%. Средний арифметический ИС дубрав на ВПН (63,5%), полученный с высокой точностью (табл. 7), близок к таковому на ППН (61,2%) (табл. 3) и в целом соответствует категории «поврежденные».

Средняя степень дефолиации кроны на ВПН находится на уровне 23,7% и характеризуется высоким коэффициентом вариации (26,9%), который обусловлен сильной вариабельностью частных значений по насаждениям, достигающей 4-кратного размаха их колебаний (8,3–33,5%).

Таблица 6

Дефолиация, характер и степень повреждения деревьев на ППН

Порода	Доля деревьев с дефолиацией, %					Средняя дефолиация, %	Природные повреждения деревьев, %
	0–10% неповрежденных	15–25% слабоповрежденных	30–60% среднеповрежденных	65–99% сильноповрежденных	100% усохших в 2023 г.		
Береза	44,5	33,3	22,2	0,0	0,0	21,1	55,6
Граб	62,1	31,8	6,1	0,0	0,0	13,8	40,9
Дуб	4,8	48,2	44,7	2,3	0,0	29,3	96,5
Клен	64,7	33,8	1,5	0,0	0,0	11,8	57,4
Ольха черная	35,1	51,4	13,5	0,0	0,0	17,7	64,9
Осина	0,0	100,0	0,0	0,0	0,0	17,5	0,0
Сосна	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	10,0	0,0
Ясень	16,7	83,3	0,0	0,0	0,0	15,0	66,7
В среднем	23,8	44,6	30,2	1,4	0,0	23,6	79,8

Таблица 7

Статистические показатели состояния древостоев на мониторинговых маршрутах

Маршрут	n	Индекс жизненного состояния, %							Степень дефолиации, %						
		min–max	$M \pm m$	Ci	σ	V	p	Me	min–max	$M \pm m$	Ci	σ	V	p	Me
ММ08	7	48,7–73,8	61,8 ± 2,9	54,2–67,8	7,7	12,5	4,7	59,8	19,3–32,6	26,9 ± 1,5	23,3–30,5	4,0	15,0	5,7	27,4
ММ09	7	41,9–74,4	59,8 ± 4,1	50,0–69,6	10,9	18,3	6,9	62,3	18,7–33,5	26,2 ± 1,9	21,8–30,6	5,0	18,9	7,2	26,0
ММ10	4	49,4–76,1	66,4 ± 5,9	52,8–79,9	11,7	17,7	8,8	70,0	17,0–32,3	22,7 ± 3,4	13,1–32,3	6,9	30,3	15,2	20,8
ММ11	5	37,6–93,2	70,1 ± 9,5	43,6–96,6	21,3	30,4	13,6	70,0	8,3–22,8	16,7 ± 2,7	9,3–24,1	6,0	35,9	16,1	16,2
Всего	23	37,6–93,2	63,5 ± 2,7	58,0–69,1	13,0	20,4	4,2	64,2	8,3–33,5	23,7 ± 1,3	21,0–26,5	6,4	26,9	5,6	24,4

Примечание. Здесь и далее: n – количество наблюдений; min и max – минимальное и максимальное значения; M – среднее арифметическое значение; $\pm m$ – стандартная ошибка среднего значения; Ci – доверительный интервал на 95%-ном уровне значимости; σ – среднеквадратическое отклонение; V – коэффициент вариации, %; p – точность определения средней арифметической, %; Me – среднее срединное значение, медиана.

Большинство среднеарифметических значений ИС и степени повреждения листового аппарата древостоев, расположенных на разных ВПН, характеризуются высокой точностью (4,7–8,8%) и близки к медианам, рассчитанным из-за односторонних выходов доверительных интервалов за пределы некоторых выборок (табл. 7).

Территориальные различия состояния древостоев прослеживаются слабо. Древостои на ММ08 и ММ09 характеризуются несколько худшим состоянием (средние арифметические и медианные значения ИС древостоев находятся в диапазоне 60–62%) в сравнении с ММ10 и ММ11 (66–70%). Однако различия между средними величинами ИС древостоев на ВПП недостоверны между всеми маршрутами.

Наибольшие величины потери листвы древостоями на ВПН наблюдались на тех же ММ08 и ММ09 (26–27%), которые на ММ10 снизились до 21–23% и на ММ11 – до 16–17%. При этом достоверно ($p < 0,05$) по данному показателю различаются насаждения на ММ11 с насаждениями на наиболее удаленных от него маршрутах (рис. 1) – ММ08 ($t_{\text{расчетное}} = 3,224$) и ММ09 ($t_{\text{расчетное}} = 2,723$); $t_{0,95} = 2,228$.

Причины различий средних ИС и степени дефолиации крон древостоев между ММ кроются не столько в пространственной их локализации, сколько в эдафической приуроченности. Древостои ММ11 расположены в пойме реки Припять и представлены дубравами прируслово-пойменными. На остальных маршрутах, находящихся в

пределах долины Припяти и расположенных в 12–17 км северо-восточнее и севернее ММ11, встречаются насаждения трех типов леса.

В типологическом отношении просматривается тенденция повышения среднеарифметических и медианных (в ряде типов леса доверительные интервалы односторонне выходят за пределы выборок) значений ИС и снижения степени дефолиации древостоев, полученных с вполне приемлемой точностью, в ряду дубрава орляковая > дубрава кисличная > дубрава снытевая, за исключением равной степени потери листвы в дубравах орляковой и кисличной (табл. 8), т. е. с повышением трофности и влажности почв. Самые лучшие характеристики состояния древостоев свойственны дубравам прируслово-пойменным, чем и объясняется отличие показателей состояния древостоев на ММ11 от других маршрутов. Но достоверные различия установлены только по степени дефолиации древостоев для дубравы прируслово-пойменной с дубравами орляковой ($t_{\text{расчетное}} = 2,710$, $t_{0,95} = 2,365$) и кисличной ($t_{\text{расчетное}} = 3,044$, $t_{0,95} = 2,160$). Отсутствие различий между большинством типов леса обусловлены малыми выборками количества древостоев.

На ВПН в древостоях произрастает 8 древесных пород, среди которых доминирует (81,2%) дуб (табл. 2). В них преобладают ослабленные (36,3%), без признаков ослабления (28,7%) и сильно ослабленные (25,5%) деревья. Доля усыхающих деревьев составляет 1,8%, усохших – 7,7% (табл. 9).

Таблица 8

Статистические показатели состояния древостоев по типам леса на ВПП

Тип леса	n	Индекс жизненного состояния, %							Степень дефолиации, %						
		min–max	$M \pm m$	Ci	σ	V	p	Me	min–max	$M \pm m$	Ci	σ	V	p	Me
Д. орляковая	4	41,9–71,4	57,7 ± 6,1	38,3–77,0	12,1	21,0	10,5	58,7	23,0–33,5	27,8 ± 2,3	20,6–35,0	4,5	16,3	8,2	27,3
Д. кисличная	10	48,7–76,1	61,0 ± 3,1	53,9–68,1	9,9	16,2	5,1	60,7	18,5–32,6	26,4 ± 1,6	22,8–30,1	5,1	19,2	6,1	27,7
Д. снытевая	4	63,8–73,8	67,6 ± 2,3	60,2–75,0	4,7	6,9	3,5	66,4	17,0–26,5	21,8 ± 2,2	14,8–28,8	4,4	20,2	10,1	21,9
Д. прируслово-пойменная	5	37,6–93,2	70,1 ± 9,5	43,6–96,6	21,3	30,4	13,6	70,0	8,3–22,8	16,7 ± 2,7	9,3–24,1	6,0	35,9	16,1	16,2

Таблица 9

Показатели состояния деревьев на ВПН

Порода	Доля деревьев по категориям состояния, %					Индекс состояния, %	Средняя дефолиация, %	Категория жизненного состояния деревьев
	без признаков ослабления	ослабленных	сильно ослабленных	усыхающих	сухостойных			
Береза	37,5	62,5	0,0	0,0	0,0	81,3	15,6	Здоровые с признаками ослабления
Дуб	19,1	38,5	30,9	2,1	9,3	58,6	25,0	Поврежденные
Граб	71,2	24,2	4,5	0,0	0,0	90,0	11,3	Здоровые
Осина	44,0	48,0	0,0	4,0	4,0	77,8	18,9	Ослабленные
Ольха черная	75,8	21,2	0,0	0,0	3,0	90,6	11,6	Здоровые
Клен	87,1	12,9	0,0	0,0	0,0	96,1	8,1	Здоровые
Сосна	78,9	15,8	5,3	0,0	0,0	92,1	11,3	Здоровые
Ясень	33,3	66,7	0,0	0,0	0,0	80,0	20,0	Здоровые с признаками ослабления
<i>В среднем</i>	28,7	36,3	25,5	1,8	7,7	64,3	22,6	Поврежденные

Наименьший из всех пород средний ИС деревьев дуба на ВПН (58,6%) указывает, что дубовый ценозлемент в древостоях представлен категорией «поврежденных» деревьев. Из остальных присутствующих в составе пород дерева граба, ольхи черной, клена и сосны являются в среднем здоровыми, березы и ясени – здоровыми с признаками ослабления, осины – ослабленными. Их рейтинг по увеличению ИС представляет следующий ряд: дуб < осина < ясень < береза < сосна < граб < ольха черная < клен.

Деревья дуба характеризуются наибольшей среди присутствующих в древостоях пород степенью дефолиации крон, которая снижается в ряду дуб > ясень > осина > береза > ольха черная > граб, сосна > клен (табл. 9).

Обобщенные оценки состояния дубрав.

Для более адекватных оценок состояния дубовых древостоев на территории с высокими уровнями радиоактивного загрязнения был выполнен анализ показателей состояния обследованных на ППН и ВПН насаждений.

Средний ИС всех древостоев дуба составил 62,9%, средняя степень дефолиации крон – 23,7%. Эти показатели, несмотря на широкие разбросы

индивидуальных значений, характеризуются малыми стандартными ошибками, высокой точностью и средними коэффициентами вариации (табл. 10), что свидетельствует об адекватности полученных результатов.

Увеличение количества анализируемых древостоев привело к появлению достоверных различий между средними ИС древостоев дубрав орляковой и снытевой ($t_{\text{расчетное}} = 2,442$, $t_{0,95} = 2,201$) и средними значениями степени дефолиации деревьев дубрав орляковой и снытевой ($t_{\text{расчетное}} = 2,875$, $t_{0,95} = 2,201$). Подтверждены достоверные отличия по этому показателю дубрав прирусловопойменной от дубрав орляковой ($t_{\text{расчетное}} = 3,354$, $t_{0,95} = 2,228$) и кисличной ($t_{\text{расчетное}} = 2,827$, $t_{0,95} = 2,110$), что в очередной раз подтверждает несомненное влияние эдафического фактора на состояние дубрав.

Санитарное состояние дубрав. Средневзвешенная категория, или индекс санитарного состояния (ИСС), насаждений дуба варьирует в пределах от 1,23 до 3,98 балла и оценивается средним баллом 2,33, характеризуемым высокой точностью (3,6%) и средним (20,9%) коэффициентом вариации (табл. 11).

Таблица 10

Статистические показатели состояния обследованных на ППН и ВПН древостоев дуба по типам леса

Тип леса	Индекс жизненного состояния, %							Степень дефолиации, %					
	<i>n</i>	min–max	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>Ci</i>	σ	<i>V</i>	<i>p</i>	min–max	<i>M</i> ± <i>m</i>	<i>Ci</i>	σ	<i>V</i>	<i>p</i>
Д. орляковая	6	41,9–71,4	55,9 ± 4,3	45,0–66,9	10,4	18,6	7,6	23,0–33,5	28,0 ± 1,5	24,0–32,0	3,8	13,6	5,5
Д. кисличная	13	48,7–76,1	61,1 ± 2,5	55,7–66,5	9,0	14,7	4,1	18,5–32,6	25,3 ± 1,4	22,3–28,3	4,9	19,5	5,4
Д. снытевая	7	62,2–73,8	67,2 ± 1,5	63,5–70,9	4,0	6,0	2,3	18,9–26,5	22,1 ± 1,1	19,4–24,9	3,0	13,5	5,1
Д. прируслово-пойменная	6	37,6–93,2	68,8 ± 7,9	48,4–89,1	19,4	28,2	11,5	8,3–22,8	17,6 ± 2,4	11,5–23,8	5,8	33,1	13,5
Д. широколиственно-пойменная	1	–	63,8	–	–	–	–	–	25,9	–	–	–	–
<i>Всего</i>	33	37,6–93,2	62,9 ± 2,0	58,9–67,0	11,4	18,1	3,2	8,3–33,5	23,7 ± 1,0	21,8–25,7	5,8	23,2	4,0

Таблица 11

Статистические показатели индекса санитарного состояния дубрав

Тип леса	<i>n</i>	min–max	$M \pm m$	<i>Ci</i>	σ	<i>Cv</i>	<i>p</i>	<i>Me</i>
Д. орляковая	6	2,45–3,98	$2,92 \pm 0,25$	2,29–3,55	0,60	20,6	8,4	2,74
Д. широколиственно-пойменная	1	–	2,27	–	–	–	–	–
Д. кисличная	13	1,23–2,78	$2,25 \pm 0,11$	2,00–2,50	0,41	18,3	5,1	2,26
Д. снытевая	7	1,91–2,26	$2,16 \pm 0,05$	2,04–2,28	0,13	6,0	2,3	2,24
Д. прируслово-пойменная	6	1,52–2,79	$2,10 \pm 0,18$	1,64–2,56	0,44	20,9	8,5	2,02
<i>Всего</i>	33	1,23–3,98	$2,33 \pm 0,08$	2,15–2,50	0,49	20,9	3,6	2,26

Среднеарифметический и медианный (доверительный интервал ИСС дубравы орляковой в нижнем сегменте выходит за пределы выборки) ИСС древостоев улучшаются в типологическом ряду дубрава орляковая < дубрава кисличная, дубрава широколиственно-пойменная < дубрава снытевая < дубрава прируслово-пойменная (табл. 11), что соответствует ряду их эдафотопов: $C_2 - C_2D_2$, $D_2 - D_{3п} - D_3 - B_2B_3$. Таким образом, ИСС плохих дубрав улучшается с повышением трофности и влажности занимаемых ими эдафотопов. При этом лучшим состоянием выделяются насаждения дубравы прируслово-пойменной, приуроченные к менее богатым почвам.

По показателю ИСС только дубрава орляковая достоверно отличается от дубрав кисличной ($t_{расчетное} = 2,685$, $t_{0,95} = 2,110$), снытевой ($t_{расчетное} = 3,002$, $t_{0,95} = 2,201$) и прируслово-пойменной ($t_{расчетное} = 2,464$, $t_{0,95} = 2,228$).

Показатели состояния древостоев дуба связаны между собой средними высоко значимыми ($p < 0,01$) корреляциями разной направленности. С учетом нормальности распределения переменных (табл. 12) ИС древостоев имеет обратную связь со степенью дефолиации (r -Пирсона = $-0,736$) и прямую – с индексом санитарного их состояния (r -Спирмена = $0,561$); ИСС отрицательно коррелирует с показателем потери деревьями листвы (r -Спирмена = $-0,654$).

Таблица 12

Проверка переменных на нормальность распределения

Показатель	Индекс жизненного состояния, %	Степень дефолиации, %	Индекс санитарного состояния
Критерий Шапиро – Уилка	0,975	0,977	0,919
Уровень значимости, %	0,64*	0,69*	0,02

*Нормальное распределение.

Комплексная оценка состояния древостоев в ЗО ЧАЭС по всем четырем анализируемым показателям свидетельствует об улучшении их состояния в ряду плакорных типов леса – дубрава орляковая < дубрава кисличная < дубрава снытевая. По большинству параметров, кроме

степени поврежденности древостоев, состояние дубравы широколиственно-пойменной хуже дубравы прируслово-пойменной (рис. 3).

Средние показатели состояния всех дубрав указывают на преобладание поврежденных древостоев (ИС = 62,9%), высокую поврежденность в них деревьев (79,8%); ИСС насаждений (2,33) свидетельствует о преобладании категории «ослабленных» древостоев со значительной долей категории «сильно ослабленных». Поэтому в целом, несмотря на слабую поврежденность листвы (23,7%), состояние дубрав в ЗО ЧАЭС следует признать неудовлетворительным.

В основе ухудшения состояния древостоев дуба лежит физиологическое ослабление его деревьев по причине снижения запасов влаги в верхних слоях почв под воздействием устойчивого опускания уровней грунтовых вод в результате осушительных мелиораций в 1950–1980-х гг. и современного роста мощности и повторяемости засушливых явлений в регионе вследствие потепления климата; в ослабленном состоянии они интенсивнее заражаются грибными, вирусными и бактериальными болезнями, повреждаются листогрызущими и стволовыми энтомофагами [1, 3, 4, 14].

На юго-востоке Белорусского Полесья происходит быстрое усиление засушливости климата, особенно в летний период [11, 24, 25]. В Гомельской области среднегодовая температура воздуха за 1991–2020 гг. увеличилась в сравнении с 1961–1990 гг. на $1,3^\circ\text{C}$, среднегодовое испарение – на 22,7 мм, водный индекс, оценивающий запасы влаги в почве и растительности, сократился более чем на 80%, а на территории ЗО ЧАЭС в мае – июне 2000–2022 гг. наблюдался максимальный индекс аридности климата в стране (0,44–0,47), соответствующий полуаридным регионам [26].

Среднегодовая температура воздуха в ЗО ЧАЭС за 1997–2022 гг. увеличилась на $0,46^\circ\text{C}$ в сравнении со среднемноголетней величиной на расположенной рядом метеостанции «Брагин» и на $0,76^\circ\text{C}$ – со среднемноголетней величиной по Гомельской области [27]. По данным научно-исследовательской станции «Масаны» и метеостанции «Брагин» выделяются два временных промежутка (1997–2013 и 2014–2024 гг.), существенно различающихся по метеорологическим показателям тепло- и влагообеспеченности территории (табл. 13).

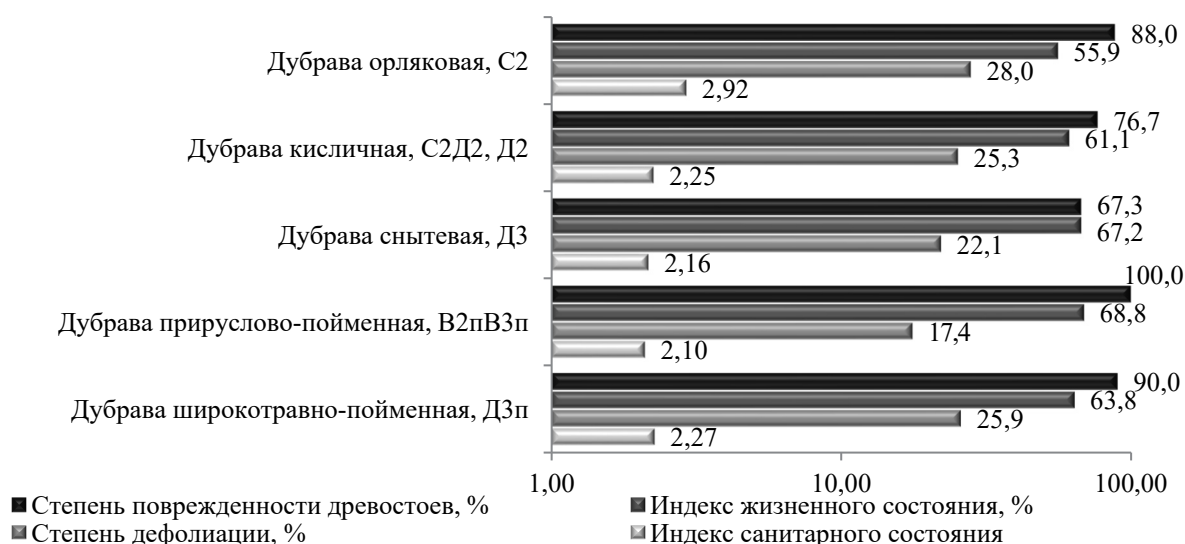


Рис. 3. Комплексная оценка состояния дубрав

Таким образом, повышение температуры воздуха, снижение суммы атмосферных осадков и уменьшение коэффициента увлажнения территории привело к значительному снижению влагообеспеченности почв, росту дефицита почвенной влаги, сокращению потребления ее деревьями, что способствовало их ослаблению и потере резистентности.

Таблица 13

Показатели тепло- и влагообеспеченности территории ЗО ЧАЭС по данным станции «Масаны» (1997–2021 гг.) и метеостанции «Брагин» (2022–2024 гг.)

Период	Средняя температура воздуха, °С	Количество осадков, мм	Коэффициент увлажнения территории по Иванову
1997–2012 (по [28])	7,8	609	1,05
1997–2013 (по [27])	–	619	1,10
2014–2024*	8,9	565	0,80

*По нашим расчетам.

Помимо перечисленных выше причин ухудшение состояния деревьев и древостоев дуба связано с ионизирующим излучением [17], воздействовавшим на дубравы в течение последних 38 лет, которое из-за осадения радиоактивных выпадений на кронах деревьев было очень высоким в первые месяцы и годы после аварии на ЧАЭС [29].

Мощность дозы гамма-излучения на ППН в 2023 г. колебалась в диапазоне 0,19–1,15 мкЗв/ч, в среднем составляла 0,41 мкЗв/ч (табл. 14) и в 3,4 раза превышала естественный радиационный фон (0,12 мкЗв/ч [30]). Очевидно, что на значительном промежутке жизни деревья росли

в условиях внешнего хронического облучения. Кроме того, накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr органами и тканями дуба [31] способствовало внутреннему облучению деревьев.

Таблица 14

Статистические показатели мощности дозы гамма-излучения на ППН, мкЗв/ч

n	min–max	$M \pm m$	C_i	σ	C_v	p
10	0,19–1,15	$0,41 \pm 0,09$	0,21–0,61	0,28	68,7	21,7

Полагаем, что низкие показатели состояния древостоев дубравы широколиственно-пойменной, несмотря на высокие индексы трофности и влажности эдафотопы (табл. 1), обусловлены нахождением ее в зоне наиболее жесткого радиационного загрязнения почвы [32] – в 16 км от места выброса радионуклидов, в то время как удаление остальных насаждений от ЧАЭС превышает 35 км.

На низкие оценки жизненного и санитарного состояния древостоев дубрав повлияло наличие в них значительного количества сухостоя (табл. 3, 6, 8) по причине длительного отсутствия лесохозяйственных мероприятий, в частности санитарных рубок.

Что касается воздушных эмиссий, то при преобладающих северо-западном и западном векторах розы ветров [27, 28] уровень концентрации загрязняющих веществ в воздухе расположенных на пути этих ветров ближайших к ЗО ЧАЭС городов Мозыре, Речице и деревни Пеньки Мозырского района в среднем находится намного ниже предельно допустимого [33]. Это дает основание говорить о незначительном влиянии данного фактора на состояние дубовых лесов.

Заключение. В 2023 г. в ЗО ЧАЭС создана сеть комплексного мониторинга лесных экосистем для слежения за состоянием дубрав на территории

с высоким уровнем радиоактивного загрязнения, включающая 10 ППН и 23 ВПН на 4 ММ общей протяженностью 23,2 км. На ее объектах получены исходные данные для проведения долговременных мониторинговых наблюдений в дубовых лесах.

Средний ИС древостоев обследованных дубрав составлял 62,9% (категория «поврежденных» насаждений) и варьировал в пределах 37,6–93,2%, средняя степень повреждения древостоев – 79,8% (54,0–100,0%). Степень дефолиации крон деревьев в дубравах изменялась в диапазоне 8,3–33,5% и в среднем составляла 23,7% (категория «слабоповрежденные»); ИСС насаждений дуба колебался в пределах 1,23–3,98, составляя в среднем 2,33 (категория «ослабленные»).

Состояние древостоев по всем этим параметрам улучшается в ряду плакорных типов леса (дубрава орляковая < дубрава кисличная < дубрава снытевая) и их эдафотопов ($C_2 < C_2D_2$, $D_2 < D_3$), фактически синхронно с возрастанием трофности и влажности почв. По ряду показателей оценка состояния пойменных дубрав выше, чем плакорных. Наилучшим состоянием характеризуются древостои дубрав прируслово-пойменных. Территориальные различия состояния древостоев дуба не прослеживаются.

Усредненный ИС древесных пород возрастает в ряду дуб < осина < ясень < береза повислая < граб < ольха черная < сосна < клен; степень дефолиации крон снижается в ряду дуб > ясень > осина > береза повислая > ольха черная > граб, сосна > клен. У дуба преобладают ослабленные и сильно ослабленные деревья, в древостоях накоплено значительное количество старого сухостоя.

Древостои дубрав сильно повреждены природными факторами (антропогенные отсутствуют). Степень их повреждения возрастает от плакорных

дубрав до пойменных, а в пределах экологических групп – по мере ухудшения трофности почв и снижения индекса их влажности. Степень повреждения древесных пород уменьшается в ряду дуб > ясень > ольха черная > клен > береза повислая > граб.

Деревья повреждены комплексом факторов, включающим поражение листы энтомовредителями (69,4% деревьев), грибными болезнями (33,8%), стволовыми гнилями (20,8%), бактериальной водянкой (5,8%), сердцевинной гнилью (2,2%), поперечным раком, стволовыми вредителями (по 2,0%), сухобокостью и погрызами коры дикими копытными (по 0,8%), ударами молний (0,4%).

Неудовлетворительное современное состояние дубрав в ЗО ЧАЭС обусловлено снижением влагообеспеченности верхних слоев почв из-за устойчивого понижения грунтовых вод в результате осушительных мелиораций в прошлом и современного потепления климата, хроническим воздействием внешнего и внутреннего ионизирующего облучения, особенно в первое время после ядерной катастрофы на ЧАЭС. Длительное отсутствие лесохозяйственных мероприятий способствовало развитию и распространению очагов вредителей и болезней, а накопление сухостоя отразилось на занижении оценок жизненного и санитарного состояния древостоев дуба. Весь этот комплекс факторов привел к ослаблению деревьев, заражению их болезнями и повреждению энтомовредителями разных трофических групп, что полностью согласуется с данными исследований, проводимых в странах дальнего зарубежья [8].

Работа выполнена в рамках Государственной программы по преодолению последствий катастрофы на Чернобыльской АЭС на 2021–2025 гг. (мероприятие 65.10*(37.9)).

Список литературы

1. Гельтман В. С., Моисеенко И. Ф. Пойменные леса Припяти и их трансформация в связи с мелиорацией. Минск: Навука і тэхніка, 1990. 118 с.
2. Гримашевич В. В., Маховик И. В., Левенкова О. В. Пойменные дубравы Республики Беларусь и их состояние // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2007. Вып. 67. С. 37–49.
3. Водные ресурсы Национального парка «Припятский», их влияние на состояние лесных экосистем / А. В. Углынец [и др.]. Минск: БГПУ, 2007. 163 с.
4. Сазонов А. А., Звягинцев В. Б. К вопросу о причинах массового усыхания дубовых лесов Беларуси в начале XXI века // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2010. Вып. 70. С. 572–588.
5. Усеня В. В., Потапенко А. М. Современное состояние дубрав и их естественное возобновление на юго-востоке Беларуси // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2017. Вып. 77. С. 135–150.
6. Лазарева М. С., Климович Л. К., Климов А. В. Особенности формирования дубравы кисличной // Известия Гомельского государственного университета имени Ф. Скорины. Естественные науки. 2020. № 6 (123). С. 50–55.
7. Ермохин М. В., Сазонов А. А., Игнатьев Я. К. Биологическая устойчивость лесов различного происхождения // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 49–60. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-06.

8. Effects of air pollution on forests // United Nations. URL: <https://aqmx.org/ru/resources/effects-air-pollution-forests> (дата обращения: 23.12.2024).
9. Литвинова А. Н. Роль листогрызущих насекомых в усыхании пойменных дубрав // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 1998. Вып. 48. С. 349–352.
10. Экологоориентированное развитие лесного хозяйства Беларуси в условиях климатических изменений / И. В. Войтов [и др.]. Минск: БГТУ, 2019. 201 с.
11. Бровка Ю. А., Буяков И. В. Изменение гидротермического коэффициента и повторяемости экстремальных условий увлажнения на территории Беларуси в период потепления климата // Природопользование. 2020. № 2. С. 5–18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18.
12. Пространственно-временные изменения почвенных засух на территории Белорусского Полесья в условиях современного изменения климата / В. И. Мельник [и др.] // Природные ресурсы. 2021. № 1. С. 15–21.
13. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение / В. А. Алексеев [и др.]. Ленинград: Наука, 1990. 197 с.
14. Углянец А. В., Гарбарук Д. К., Шумак С. В. Динамика и продуктивность дубрав в условиях отсутствия хозяйственной деятельности на юго-востоке Белорусского Полесья // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 55–66. DOI: 10.52065/2519-402X-2022-258-2-55-66.
15. Оценка доз облучения сосны обыкновенной в ближней зоне Чернобыльских выпадений / Н. И. Булко [и др.] // Леса России и хозяйство в них. 2019. № 1 (68). С. 38–45.
16. Переволоцкая Т. В., Переволоцкий А. Н., Гераськин С. А. Дозы облучения сосновых насаждений в белорусском секторе 30-километровой зоны вокруг Чернобыльской АЭС на современном этапе // Радиационная биология. Радиоэкология. 2023. Т. 63, № 3. С. 300–310. DOI: 10.31857/S0869803123030116.
17. Что мы узнали о биологических эффектах облучения в ходе 35-летнего анализа последствий аварии на Чернобыльской АЭС? / С. А. Гераськин [и др.] // Радиационная биология. Радиоэкология. 2021. Т. 61, № 3. С. 234–260. DOI: 10.31857/S0869803121030061.
18. Сарапульцев Б. И., Гераськин С. А. Генетические основы радиорезистентности и эволюция. М.: Энергоатомиздат, 1993. 208 с.
19. Ильющик М. А., Жибуль А. А. Мониторинг и оценка состояния лесов // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы VI международ. науч. конф., Минск – Лясковичы, 9–13 окт. 2023 г. Минск, 2023. С. 62–64.
20. Гарбарук Д. К., Углянец А. В., Шумак С. В. Радиационно-экологический мониторинг лесных экосистем зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Мониторинг и оценка состояния растительного мира: материалы VI международ. науч. конф., Минск – Лясковичы, 9–13 окт. 2023 г. Минск, 2023. С. 191–193.
21. Nita G. Tallent-Halsel. Forest Health Monitoring. Field Methods Guides. Las Vegas: Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1995. 337 p.
22. Гарбарук Д. К., Углянец А. В. Структура ясеневых лесов Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования: сб. науч. ст. Березин. биосфер. заповедника. Минск, 2023. Вып. 18. С. 50–69.
23. Звягинцев В. Б., Сазонов А. А. Массовое усыхание ясеня обыкновенного в Беларуси // Грибные сообщества лесных экосистем: материалы координационных исследований. 2012. Т. 3. С. 159–178.
24. Данилович И. С., Гледко Ю. А., Тарасевич И. В. Повторяемость засух на территории Беларуси в связи с атмосферной циркуляцией в Атлантико-Европейском секторе // Метеорология и гидрология. 2023. № 9. С. 61–71. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71.
25. Бровка Ю. А. Особенности атмосферного увлажнения на территории Беларуси в летний период при современном изменении климата // Природные ресурсы. 2024. № 2. С. 5–16.
26. Лысенко С. А., Хитриков М. А. Оценки современных изменений биоклиматических параметров почвенно-растительного покрова Гомельской области // Природные ресурсы. 2024. № 2. С. 17–29.
27. Калиниченко С. А., Марченко Ю. Д., Белаш В. Е. Тенденции изменения климата в белорусском секторе ближней зоны Чернобыльской АЭС // Журнал Белорусского государственного университета. Экология. 2024. № 4. С. 4–17. DOI: 10.46646/2521-683X/2024-4-4-17.
28. Марченко Ю. Д. Погодно-климатические условия в ближней зоне Чернобыльской АЭС // Экосистемы и радиация: аспекты существования и развития: сб. науч. тр., посвящ. 25-летию Полес. радиац.-экол. заповедника. Минск, 2013. С. 32–45.
29. Щеглов А. И. Биогеохимия техногенных радионуклидов в лесных экосистемах: по материалам 10-летних исследований в зоне влияния аварии на ЧАЭС. М.: Наука, 2000. 268 с.

30. Радиационно-экологический мониторинг // Белгидромет. URL: <https://rad.org.by/monitoring/radiation.html> (дата обращения: 29.01.2025).
31. Углынец А. В., Гарбарук Д. К. Накопление ^{137}Cs и ^{90}Sr компонентами древостоя, подроста и подлеска в дубравах зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2019. Вып. 79. С. 236–247.
32. Атлас современных и прогнозных аспектов последствий аварии на Чернобыльской АЭС на пострадавших территориях России и Беларуси (АСПА Россия – Беларусь) / под ред. Ю. А. Израэля, И. М. Богдевича. М.: Фонд «Инфосфера» – НИА-Природа; Минск: Белкартография, 2009. 140 с.
33. Ежегодник состояния атмосферного воздуха // Белгидромет. URL: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosferного-vozduha-2023/> (дата обращения: 28.02.2025).

References

1. Gel'tman V. S., Moiseenko I. F. *Poymennyye lesa Prip'yati i ikh transformatsiya v svyazi s melioratsiyey* [Pripyat floodplain forests and their transformation in connection with melioration]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1990. 118 p. (In Russian).
2. Grimashevich V. V., Makhovik I. V., Levenkova O. V. Floodplain oak forests of the Republic of Belarus and their condition. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: collections of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2007, issue 67, pp. 37–49 (In Russian).
3. Uglyanets A. V., Vlasov B. P., Khmelevskiy V. I., Rudakovskiy I. A., Gigevich G. S., Arkhipenko T. V., Chekan G. S. *Vodnyye resursy Natsional'nogo parka "Prip'yatskiy", ikh vliyaniye na sostoyaniye lesnykh ekosistem* [Water resources of the National park "Pripyatsky", their influence on a forest ecosystems condition]. Minsk, BGPU Publ., 2007. 163 p. (In Russian).
4. Sazonov A. A., Zvyagintsev V. B. On the causes of mass drying out of oakwoods in Belarus early in the 21st century. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: collections of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2010, issue 70, pp. 572–588 (In Russian).
5. Usenya V. V., Potapenko A. M. Current state of oak groves and their natural renewal in the southeast of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: collections of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2017, issue 77, pp. 135–150 (In Russian).
6. Lazareva M. S., Klimovich L. K., Klimov A. V. Formation peculiarities of wood sorrel oak forest. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo univetsiteta imeni F. Skoriny. Yestestvennyye nauki* [Proceedings of Francisk Skorina Gomel State University. Natural sciences], 2020, no. 6 (123), pp. 50–55 (In Russian).
7. Ermokhin M. V., Sazonov A. A., Ignat'ev Ya. K. Biological stability of forests of different origin. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 49–60. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-06 (In Russian).
8. Effects of air pollution on forests. Available at: <https://aqmx.org/ru/resources/effects-air-pollution-forests> (accessed 23.12.2024).
9. Litvinova A. N. Role of leaf-eating insects in drying of floodplain oak forests. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science and forestry: collections of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 1998, issue 48, pp. 349–352 (In Russian).
10. Voytov I. V., Shatravko V. G., Yurevich N. N., Lednitskiy A. V., Neverov A. V., Nosnikov V. V., Rozhkov L. N. *Ekologooriyentirovannoye razvitiye lesnogo khozyaystva Belarusi v usloviyakh klimaticheskikh izmeneniy* [Ecologically oriented development of forestry in Belarus in the context of climate change]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 201 p. (In Russian).
11. Brovka Yu. A., Buyakov I. V. Changes in the hydrothermal coefficient and in the frequency of extreme humidification conditions on the territory of Belarus during climate warming. *Prirodopol'zovaniye* [Nature Management], 2020, no. 2, pp. 5–18. DOI: 10.47612/2079-3928-2020-2-5-18 (In Russian).
12. Mel'nik V. I., Piskunovich N. G., Buyakov I. V., Yatsukhno V. M., Shumskaya T. G. The spatio-temporal pattern of soil droughts on the territory of the Belarussian Polesia in accordance with current climate change. *Prirodnyye resursy* [Natural Resources], 2021, no. 1, pp. 15–21 (In Russian).
13. Alekseev V. A., Chertov O. G., Sergeychik S. A., Druzina V. D., Men'shikova G. P., Lyanguzova I. V., Lovelius N. V., Yarmishko V. T., Stavrova N. I., Goroshkov V. V., Andreeva E. N. *Lesnyye ekosistemy i atmosferynoye zagryazneniye* [Forest ecosystems and atmospheric pollution]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 197 p. (In Russian).

14. Uglyanets A. V., Garbaruk D. K., Shumak S. V. Dynamics and productivity of oak forests in the absence of economic activities in the south-east of the Belarusian Polesye. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 2 (258), pp. 55–66. DOI: 10.52065/2519-402X-2022-258-2-55-66 (In Russian).
15. Bulko N. I., Potapenko A. M., Kozlov A. K., Mokhnachev P. E. Assessment of irradiation doses of the pine in the near zone of the Chernobyl fallout. *Lesnaya Rossiya i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and economy in them], 2019, no. 1 (68), pp. 38–45 (In Russian).
16. Perevolotskaya T. V., Perevolotskiy A. N., Geras'kin S. A. Radiation doses of pine stands in the belarusian sector of the 30-kilometer zone around the Chernobyl Nuclear Power Plant at the present stage. *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2023, vol. 63, no. 3, pp. 300–310. DOI: 10.31857/S0869803123030116 (In Russian).
17. Geras'kin S. A., Fesenko S. V., Volkova P. Yu., Isamov N. N. What have we learned about the biological effects of radiation during the 35-year analysis of the consequences of the Chernobyl NPP accident? *Radiatsionnaya biologiya. Radioekologiya* [Radiation biology. Radioecology], 2021, vol. 61, no. 3, pp. 234–260. DOI: 10.31857/S0869803121030061 (In Russian).
18. Sarapul'tsev B. I., Geras'kin S. A. *Geneticheskiye osnovy radiorezistentnosti i evolyutsiya* [Genetic bases of radioresistance and evolution]. Moscow, Energoatomizdat Publ., 1993. 208 p. (In Russian).
19. Il'yuchik M. A., Zhibul' A. A. Monitoring and assessment of forest condition. *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Vegetation monitoring and assessment: proceedings of the international scientific conference], Minsk, 2023, pp. 62–64 (In Russian).
20. Garbaruk D. K., Uglyanets A. V., Shumak S. V. Radiation-ecological monitoring of forest ecological systems of the Chernobyl NPP exclusion zone. *Monitoring i otsenka sostoyaniya rastitel'nogo mira: materialy VI mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii* [Vegetation monitoring and assessment: proceedings of the international scientific conference], Minsk, 2023, pp. 191–193 (In Russian).
21. Nita G. Tallent-Halsel. Forest Health Monitoring. Field Methods Guides. Las Vegas: Environmental Monitoring Systems Laboratory, 1995. 337 p.
22. Garbaruk D. K., Uglyanets A. V. Structure of ash forests in Polesye State Radiation-Ecological Reserve. *Osobo okhranyayemye prirodnyye territorii Belarusi. Issledovaniya: sbornik nauchnykh statey Berezinskogo biosfernogo zapovednika* [Specially Protected Natural Areas of Belarus. Studies: collections of scientific papers of the Berezinski Biosphere Reserve]. Minsk, 2023, issue 18, pp. 50–69 (In Russian).
23. Zvyagintsev V. B., Sazonov A. A. Mass death of ash trees in Belarus. *Gribnyye soobshchestva lesnykh ekosistem* [Fungal Communities in Forest Ecosystems], 2012, vol. 3, pp. 159–178 (In Russian).
24. Danilovich I. S., Gledko Yu. A., Tarasevich I. V. Drought frequency in Belarus in connection with atmospheric circulation in the Euro-Atlantic sector. *Meteorologiya i gidrologiya* [Meteorology and Hydrology], 2023, no. 9, pp. 61–71. DOI: 10.52002/0130-2906-2023-9-61-71 (In Russian).
25. Brovka Yu. A. Features of atmospheric humidification on the territory of Belarus in summer under modern climate change. *Prirodnye resursy* [Natural Resources], 2024, no. 2, pp. 5–16 (In Russian).
26. Lysenko S. A., Khitrikov M. A. Estimation of modern changes in the bioclimatic characteristics of the soil and plant cover of the Homiel Region. *Prirodnye resursy* [Natural Resources], 2024, no. 2, pp. 17–29 (In Russian).
27. Kalinichenko S. A., Marchenko Yu. D., Belash V. E. Climate change trends in the Belarusian sector of exclusion zone of the Chernobyl NPP. *Zhurnal Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta. Ekologiya* [Journal of the Belarusian State University. Ecology], 2024, no. 4, pp. 4–17. DOI: 10.46646/2521-683X/2024-4-4-17 (In Russian).
28. Marchenko Yu. D. Weather-climate conditions in the near zone of Chernobyl NPP. *Ekosistemy i radiatsiya: aspekty sushchestvovaniya i razvitiya: sbornik nauchnykh trudov Poles'skogo gosudarstvennogo radiatsionno-ekologicheskogo zapovednika* [Ecosystems and radiation: aspects of existence and development: collections of scientific papers dedicated to the 25th anniversary of the Polesye State Radiation-Ecological Reserve]. Minsk, 2013, pp. 32–45 (In Russian).
29. Shcheglov A. I. *Biogeokhimiya tekhnogennyykh radionuklidov v lesnykh ekosistemakh: po materialam 10-letnikh issledovaniy v zone vliyaniya avarii na ChAES* [Biogeochemistry of technogenic radionuclides in forest ecosystems: based on the materials of 10 years of research in the zone of influence of the Chernobyl accident]. Moscow, Nauka Publ., 2000. 268 p. (In Russian).
30. Radiation and ecological monitoring. Available at: <https://rad.org.by/monitoring/radiation.html> (accessed 29.01.2025) (In Russian).
31. Uglyanets A. V., Garbaruk D. K. ¹³⁷Cs and ⁹⁰Sr accumulation of stand, regrowth and undergrowth components in oak forests of the Chernobyl NPP exclusion zone. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest science

and forestry: collections of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2019, issue 79, pp. 236–247 (In Russian).

32. *Atlas sovremennykh i prognozykh aspektov posledstviy avarii na Chernobyl'skoy AES na postradavshikh territoriyakh Rossii i Belarusi (ASPA Rossiya – Belarus')* [The Atlas of recent and predictable aspects of consequences of Chernobyl accident on polluted territories of Russia and Belarus (ARPA Russia – Belarus)]. Moscow, Fond "Infosfera" – NIA-Priroda Publ.; Minsk, Belkartografiya Publ., 2009. 140 p. (In Russian).

33. Air quality yearbook. Available at: <https://rad.org.by/articles/vozduh/ezhegodnik-sostoyaniya-atmosfernogo-vozduha-2023/> (accessed 28.02.2025) (In Russian).

Информация об авторах

Гарбарук Дмитрий Константинович – заведующий отделом экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Республика Беларусь). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Судник Александр Владимирович – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией оптимизации и мониторинга экосистем. Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича НАН Беларуси (ул. Академическая, 27, 220072, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: asudnik@tut.by

Угльянец Анатолий Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (ул. Терешковой, 7, 247618, г. Хойники, Республика Беларусь). E-mail: uhlianets@mail.ru

Information about the authors

Garbaruk Dmitriy Konstantinovich – Head of the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7 Tereshkovoy str., 247618, Khoyniki, Republic of Belarus). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Sudnik Alexander Vladimirovich – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Optimization and Monitoring of Ecosystems. V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany of the National Academy of Sciences of Belarus (27 Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: asudnik@tut.by

Uglyanets Anatoliy Vladimirovich – PhD (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7 Tereshkovoy str., 247618, Khoyniki, Republic of Belarus). E-mail: uhlianets@mail.ru

Поступила 12.03.2025

УДК 632.78(476)

Ф. Г. Яковчик, С. В. Буга

Белорусский государственный университет

**ОЦЕНКА ПОВРЕЖДЕННОСТИ АЛЫЧИ
ЧЛЕНИСТОНОГИМИ-ФИЛЛОФАГАМИ В РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»**

Алыча обыкновенная (*Prunus cerasifera* Ehrh.) интродуцирована в Беларусь как новая плодовая и декоративная культура. На западе страны она широко представлена в садах, зеленых насаждениях и проникает в лесные массивы. На юго-западе Белорусского Поозерья на территории Национального парка «Нарочанский» она присутствует в рекреационных лесах, где повреждения фитофагами могут вести к снижению эстетической ценности растений. Оценка уровня встречаемости и поврежденности листовых пластинок фитофагами позволила бы получить информацию об основных вредителях алычи в условиях рекреационных лесов. Осенью 2024 г. в окрестностях озер Рудаково и Нарочь были проведены обследования, в результате которых отмечены повреждения листовых пластинок *P. cerasifera* эриофиоидными клещами *Eriophyes distinguendus* (Kieffer, 1902) и *Eriophyes prunianus* (Nalepa, 1926), цикадками *Edwardsiana prunicola* (Edwards, 1914), сливово-тростниковой (*Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762)) и алычево-дремовой (*Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov, 1956) тлями, гусеницами пядениц (Geometridae). Также отмечены мины личинок яблонной белой моли-крошки (*Lyonetia clerkella* (Linnaeus, 1758)), моли-крохотки *Lyonetia prunifoliella* (Hübner, 1796), моли-пестрянки *Parornix finitimella* (Zeller, 1850), боярышниковой моли (*Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767)), моли-малютки *Stigmella plagicolella* (Stainton, 1854), повреждения и мины личинок чехликовой дубовой моли (*Coleophora anatipenella* (Hübner, 1796)). Максимальной была заселенность листовых пластинок алычи обыкновенной, оцениваемая по доле поврежденных листьев в выборках, цикадками *E. prunicola*, которая достигала $31,00 \pm 1,15\%$ в условиях рекреационного леса на берегу оз. Нарочь. Уровни заселенности и поврежденности листовых пластинок другими филлофагами были низки, вспышки массового размножения вредителей не регистрировались, потери растениями декоративности вследствие их деятельности были минимальными либо несущественными.

Ключевые слова: вредители декоративных растений, галлоформирующие членистоногие, минирующие насекомые, Нарочанское Поозерье, особо охраняемые природные территории, растения-интродуценты.

Для цитирования: Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Оценка поврежденности алычи членистоногими-филлофагами в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 139–146.
DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-14.

F. Yakouchyk, S. Buga

Belarusian State University

**ASSESSMENT OF DAMAGE OF CHERRY PLUM BY PHYLLOPHAGOUS
ARTHROPODS IN RECREATIONAL FORESTS OF NARACH NATIONAL PARK**

The common cherry plum (*Prunus cerasifera* Ehrh.) is introduced to Belarus as a new fruit and ornamental plant. In the west of the country it is widespread in gardens, green areas and spreads into forests. In the south-west of the Belarusian Lakeland in the territory of the Narach National Park common cherry plum grows in recreational forests, where is damaged by phyllophagous arthropods that reduce the aesthetic value of trees. Assessment of the level of occurrence and damage of leaf plates by phytophagous mites and insects provide information on the main pests of the common cherry plum in the conditions of recreational forests. In autumn 2024, in the vicinity of Rudakova and Narach lakes collected leaf plates of *P. cerasifera* have been damaged by Eriophyid mites *Eriophyes distinguendus* (Kieffer, 1902) and *Eriophyes prunianus* (Nalepa, 1926) (Acari: Acariformes: Eriophyidae), a leafhopper *Edwardsiana prunicola* (Edwards, 1914) (Hemiptera: Cicadellidae: Typhlocybinae), the mealy plum aphid (*Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762)), and the cherry plum aphid (*Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov, 1956) (Hemiptera: Aphididae), caterpillars of geometer moths (Lepidoptera: Geometridae), and leaf-mining larvae of Microlepidoptera: apple leaf miner (*Lyonetia clerkella* (Linnaeus, 1758) and lyonetiid moths *Lyonetia prunifoliella* (Hübner, 1796) (Lepidoptera: Lyonetiidae), gracillariid moths *Parornix finitimella* (Zeller, 1850) (Lepidoptera: Gracillariidae), the hawthorn moth (*Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767)) (Lepidoptera: Yponomeutidae), the scrubland pigmy (*Stigmella plagicolella* (Stainton, 1854)) (Lepidoptera: Stigmellidae), and the pistol case-bearer

(*Coleophora anatipenella* (Hüber, 1796)) (Lepidoptera: Coleophoridae). The occurrence of leaf-hoppers *E. prunicola*, estimated by the proportion of damaged leaves of common cherry plum in samples, was $31.00 \pm 1.15\%$ in the conditions of the recreational forest area near Narach Lake, the levels of infestation and damage of leaf plates by other phyllophagous arthropods were low, outbreaks of mass reproduction of phytophagous mites and insects were not registered, the loss of the aesthetic value of plants due to the activity of these pests was minimal or insignificant.

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

For citation: Yakouchyk F., Buga S. Assessment of damage of cherry plum by phyllophagous arthropods in recreational forests of Narach National Park. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 139–146 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-14.

Введение. Национальный парк «Нарочанский» – особо охраняемая природная территория (ООПТ) на юго-западе Белорусского Поозерья. В структуре лесной растительности здесь преобладают сосновые леса, значительные площади которых выполняют рекреационные функции. Именно они в наибольшей степени испытывают антропогенную трансформацию, которая проявляется в том числе в форме экспансии в лесные массивы ранее интродуцированных в Беларусь древесных растений, – тем самым создавая кормовую базу для их фитофагов, которые наращивают свою популяционную численность и начинают проявлять вредоносность.

Алыча обыкновенная, слива растопыренная, или вишненосная (*Prunus cerasifera* Ehrh.), ранее в русскоязычных научных публикациях известная как *Prunus divaricata* (Ledeb.), еще в послевоенный период была широко представлена в декоративных зеленых насаждениях и садовых посадках на индивидуальных участках, поскольку принадлежала к числу так называемых новых, перспективных для выращивания в Беларуси плодово-ягодных культур [1]. В это время она начала проникать и в лесные массивы, что характерно для большей части территории страны, исключая северо-восток и восток, где алыча достаточно редка. В рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» алыча вполне обычна вблизи населенных пунктов, но произрастает и на удаленных от них участках. Присутствие молодых растений указывает на успешное возобновление возрастных экземпляров, а значит в дальнейшем этот интродуцент сохранит здесь свое присутствие.

Фитофаги алычи в Беларуси ранее изучались в составе комплексов вредителей интродуцированных декоративных растений [2, 3], зеленых насаждений в целом [4, 5] либо как вредители новых перспективных плодово-ягодных культур [6]. Состав комплекса фитофагов алычи в декоративных зеленых насаждениях Беларуси достаточно подробно рассмотрен в публикациях Ф. В. Сауткина [7–12].

В задачи настоящей работы входила оценка заселенности и поврежденности алычи фитофа-

гами-вредителями в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский».

Материалы и методы. Стационарами исследований послужили участки рекреационного леса на берегу оз. Нарочь (GPS-координаты: 54.905471, 26.729280) и у оз. Рудаково (GPS-координаты: 54.898767, 26.899473), которые представляли собой средневозрастные сосняки разнотравно-злаковые с присутствием алычи обыкновенной, отдельных экземпляров боярышника однопестичного (*Crataegus monogyna* (Jacq.)), некоторых других нехарактерных для лесов сосновой формации деревьев и кустарников, в том числе и интродуцентов (например, караганы древовидной (*Caragana arborescens* (Lam.)). Учеты поврежденности и заселенности листовых пластинок фитофагами выполнены в конце сезона вегетации, но до начала листопада (04.10.2024). Всего было случайным образом отобрано из нижней части крон по 3 выборки листовых пластинок, в каждой не менее 35 листьев, как это практикуется в исследованиях минирующих филлофагов [13]. Сборы оперативно просматривали под бинокулярным микроскопом (Zeiss Stemi 2000) в лабораторных условиях. Поврежденные листовые пластинки стандартным способом гербаризировали для последующего сканирования [14]. Идентификацию фитофагов по повреждениям выполняли с использованием классических определителей [15, 16], минеров и галлообразователей – также и онлайн-ключей [17]. Для определения тлей были изготовлены микроскопические препараты [18]. Количественные оценки поврежденности выполнены с использованием 4-балльной шкалы, предложенной А. И. Блинцовым [3] для оценки устойчивости растений-интродуцентов к повреждению вредителями. Количественные данные аккумулялировали в электронных таблицах. Статистический анализ выполняли средствами свободно распространяемого программного пакета PAST 4.16 [19]. В качестве доверительного интервала средних арифметических использованы стандартные ошибки средней. Исходя из характера анализируемых величин (среди них ранговые и относительные) и распределения данных в выборочных

совокупностях, задействованы непараметрические U-критерий Манна – Уитни и критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова.

Работа выполнена в рамках НИР «Особенности структуры сообществ опылителей и минерофиллобионтов лесных экосистем юго-запада Белорусского Поозерья» (№ ГР 20211658) Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Основная часть. В условиях рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский», как показали результаты исследований, листовые пластинки алычи обыкновенной повреждались грызущими и сосущими фитофагами. Среди первых были и минирующие формы, тогда как у вторых только тератформирующие. В частности, регистрировались повреждения листовых пластинок алычи эриофиоидными (галловыми) клещами, цикадками трибы Typhlocybini, сливово-тростниковой и алычево-дремовой тлями, гусеницами пядениц и молей-чехлоносок, отмечены мины молей-пестрянок, молей-крохоток, молей-малюток и боярышниковой моли.

Галловый клещ *Eriophyes prunianus* (Nalepa, 1926), представитель семейства галловых, или четырехногих, клещей (Acariformes: Eriophyidae), обуславливает образование на листовых пластинках сливовых (*Prunus* s.l.) мелких (диаметром до 2 мм) головчатых галлов, которые отличаются хлоротичной окраской. В Беларуси обычен на сливе домашней (*Prunus domestica* L.) [20], но не на алыче, на которой в ходе наших исследований была осуществлена регистрация эринеумов на единичных листовых пластинках.

Галловый клещ *Eriophyes distinguendus* (Kieffer, 1902) (Acariformes: Eriophyidae) инициирует формирование на листовых пластинках сливовых характерных эринеумов в виде войлочков. Сначала они светлые, зеленоватые, впоследствии краснеющие или буреющие. В Беларуси обычен на черемухе (*Prunus avium* L.) [20], но не на алыче, на которой в ходе наших исследований была осуществлена регистрация войлочков на единичной листовой пластинке.

Edwardsiana prunicola (Edwards, 1914) является представителем подсемейства Typhlocybinae (Hemiptera: Auchenorrhyncha), имаго и личинки которого при питании опустошают содержимое клеток эпидермиса. Последние заполняются воздухом, участки с такими клетками легко выявляются визуально, сами листья выглядят хлоротичными, нанесенные повреждения очевидны. Заселенность листовых пластинок алычи обыкновенной, оцениваемая по доле поврежденных этими сосущими фитофагами листьев в выборках, составляла $31,00 \pm 1,15\%$ для экземпляров, произрастающих на участке рекреационного леса на берегу оз. Нарочь, и $12,67 \pm 2,03\%$ – в окрестностях

оз. Рудаково. Максимальный уровень повреждения этими сосущими фитофагами достигал 4 баллов в первом местопроизрастании и 3 баллов – во втором, при среднем уровне $1,56 \pm 0,10$ и $0,49 \pm 0,47$ баллов соответственно. Повреждения цикадовыми отрицательно сказывались на декоративности экземпляров, произрастающих вдоль дорожек (в том числе и экологической тропы).

Сливово-тростниковая тля (*Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762)) в настоящее время является субкосмополитом [21]. В условиях Беларуси для *H. pruni* характерен двудомный цикл развития: основательницы развиваются из яиц, отложенных на сливах (*Prunus* s.l.), включая алычу (*P. cerasifera*). Крылатые расселительницы мигрируют на тростники (*Phragmites* Adans.), на западе Нарочанско-Ушачского Поозерья – тростник обыкновенный (*Phragmites australis* (Cav.) Trin. ex Steud.) (в большинстве публикаций белорусских авторов – *Phragmites communis* Trin.), где тли развиваются до осени. В Нарочанском регионе плотность гемипопуляций *H. pruni* на тростниках, произрастающих на берегу и литорали водоемов, может быть очень высокой, чем формирует ресурсную базу для афидофагов [7]. Осенью наблюдается ремиграция тлей на сливы, терн и алычу, именно ремигранты и овипарные самки регистрировались на алыче в ходе выполненных учетов. Насекомые располагаются на нижней стороне листовых пластинок диффузно, их деформация и (или) хлоротизация в этот период нехарактерна. Тлями было заселено чуть более 5% листовых пластинок растений, произрастающих в окрестностях биостанции на берегу оз. Нарочь и в окрестностях оз. Рудаково (табл. 1). При этом численность тлей на заселенных пластинках была невысока – $0,36 \pm 0,10$ и $0,96 \pm 0,24$ экз./лист соответственно. Использование непараметрических U-критерия Манна – Уитни и критерия интегральных различий Колмогорова – Смирнова не выявило статистически значимых различий заселенности листовых пластинок растений алычи обыкновенной в вышеуказанных местопроизрастаниях ($p = 0,433$ и $p = 0,099$ соответственно). Таким образом, сливово-тростниковая тля в этот период не была ни массовым, ни высоко вредоносным представителем комплекса филофагов *P. cerasifera*.

Алычево-дремовая тля (*Brachycaudus divaricatae* Shap.) является факультативно двудомным видом, который мигрирует на дремы (*Melandrium* Röhl.) [22]. В условиях Беларуси, как и сопредельных стран [22, 23], *B. divaricatae* на растениях с активно растущими побегами может завершать цикл без миграции часто уже во второй половине лета. Выполненные осенью обследования не выявили собственно тлей, однако представлялось возможным на основании регистрации повреждений дать оценку заселенности листовых пластинок, а также их поврежденности (с использованием

4-балльной шкалы). В частности, в окрестностях оз. Рудаково было повреждено $3,67 \pm 1,20\%$ листовых пластинок при средней поврежденности $0,14 \pm 0,05$ балла. При этом деформированные вследствие питания тлей листовые пластинки хорошо заметны, что сказывается на декоративности растений алычи обыкновенной в рекреационных лесах.

Яблонная белая моль-крошка, или персиковая минирующая моль (*Lyonetia clerkella* (Linnaeus, 1758)), – фоновый в условиях Беларуси представитель семейства молей-крохоток (Lepidoptera: Lyonetiidae). Характерными являются повреждения листовых пластинок яблонь (*Malus* spp.) в садовых и декоративных насаждениях. Помимо розовцветных, личинки этой моли-крохотки повреждают листья растений семейства березовых (Betulaceae). Мины личинок *L. clerkella* очень длинные, узкие, лентовидные, часто идут вдоль края листа, пересекают жилки либо свои начальные участки. Контрастно выделяется цепочка мелких темноокрашенных экскрементов, располагающаяся посередине коридора мины. Благодаря контрастирующей окраске и цепочке экскрементов, мины хорошо заметны. Отсекаемые коридором мины участки листовых пластинок быстро некротизируются, что определяет потерю декоративности поврежденной листвы. Единичные мины яблонной белой моли-крохотки регистрировались на алыче, произрастающей в рекреационных лесах как в окрестностях оз. Рудаково, так и на берегу оз. Нарочь, где их плотность составила всего $0,04 \pm 0,02$ мины/лист.

Моль-крохотка (*Lyonetia prunifoliella* (Hübner, 1796)), менее известный представитель семейства Lyonetiidae, также является минирующим фитофагом древесных растений семейств Rosaceae и Betulaceae. Мины личинок *L. prunifoliella* лишь вначале лентовидные, затем узкий коридор переходит в широкую камеру. Личинки могут их покидать и прогрызать всё новые камеры, в результате чего формируются группы округлых мин разных размеров и очертаний. Темные экскре-

менты рассеяны внутри камер, частично высыпаются через входные (выходные) и дополнительные отверстия. Мины крупные, хорошо заметны, поскольку могут занимать большую часть поверхности листа. Регистрации мин личинок *L. prunifoliella* в условиях обследованных участков рекреационных лесов были единичны.

Моль-пестрянка (*Parornix finitimella* (Zeller, 1850)), представитель семейства молей-пестрянок (Gracillariidae), является специализированным фитофагом слив. Личинка поначалу прогрызает с нижней стороны листовой пластинки узкий коридор (лентовидный участок мины), затем формирует камеру, ограниченную жилками листа, нижняя поверхность которой (нижний эпидермис листа), подсыхая, стягивает листовую пластинку. Наконец личинка покидает мину и прячется в камере, образованной подворачиванием края листа у его вершины. Повреждения хорошо заметны, уже при минимальном уровне заселенности растений страдает их декоративность. Единичные мины личинок *P. finitimella* регистрировались на алыче, произрастающей в рекреационных лесах на берегу оз. Нарочь и в окрестностях оз. Рудаково, где их плотность составляла всего лишь $0,04 \pm 0,02$ мины/лист.

Боярышниковая моль (*Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767)), в настоящее время относимая к семейству горностаевых молей (Lepidoptera: Yponomeutidae) [24], способна повреждать многие розовцветные. Личинки младших возрастов являются минерами, старшие могут агрегироваться, сооружая характерные для горностаевых молей паутинные гнезда. В окрестностях оз. Рудаково на произрастающих там растениях алычи обыкновенной гусеницами *S. crataegella* было повреждено $1,00 \pm 0,58\%$ листовых пластинок. Их средняя поврежденность составляла менее 0,2 балла. При этом поврежденные листовые пластинки обращают на себя внимание многочисленными округлыми минами, отверстиями либо некротическими пятнами.

Таблица 1

Оценка заселенности и поврежденности фитофагами листовых пластинок алычи обыкновенной (*Prunus cerasifera* Ehrh.), произрастающей в рекреационных лесах в окрестностях оз. Рудаково и на берегу оз. Нарочь (Национальный парк «Нарочанский», октябрь 2024 г.)

Фитофаги	Окрестности оз. Рудаково		Берег оз. Нарочь	
	Заселенность, %	Поврежденность	Заселенность, %	Поврежденность
<i>Eriophyes prunianus</i> Nal.	$0,67 \pm 0,33$	$0,40 \pm 0,03$ балла	–	–
<i>Edwardsiana prunicola</i> Edw.	$12,67 \pm 2,03$	$0,49 \pm 0,07$ балла	$31,00 \pm 1,15$	$1,56 \pm 0,10$ балла
<i>Hyalopterus pruni</i> Geoff.	$7,33 \pm 2,19$	$0,96 \pm 0,24$ экз./лист*	$6,67 \pm 3,18$	$0,36 \pm 0,10$ экз./лист*
<i>Brachycaudus divaricatae</i> Shap.	$3,67 \pm 1,20$	$0,14 \pm 0,05$ балла	–	–
<i>Lyonetia clerkella</i> L.	<1	$0,04 \pm 0,02$ мин/лист	<1	$0,04 \pm 0,02$ мин/лист
<i>Parornix finitimella</i> Z.	<1	$0,04 \pm 0,02$ мин/лист	<1	$0,02 \pm 0,01$ мин/лист
<i>Scythropia crataegella</i> L.	$1,00 \pm 0,58$	$0,05 \pm 0,03$	$4,67 \pm 2,33$	$0,17 \pm 0,04$ балла
<i>Stigmella plagicolella</i> Stainton	<1	$0,02 \pm 0,01$ мин/лист	<1	$0,12 \pm 0,05$ мин/лист
<i>Coleophora anatipennella</i> Hüb.	$5,33 \pm 0,67$	$0,16 \pm 0,04$ балла	$10,67 \pm 2,19$	$0,40 \pm 0,07$ балла
Geometridae gen. sp.	$1,64 \pm 1,20$	$0,21 \pm 0,06$ балла	$0,67 \pm 0,33$	$0,02 \pm 0,01$ балла

* Относительная численность (плотность) особей.

Моль-малютка (*Stigmella plagicolella* (Stainton, 1854)) из семейства Stigmellidae является специализированным фитофагом слив (*Prunus* s.l.). Личинки обитают в характерной формы и окраски листовых минах. Они начинаются узким, слегка изгибающимся коридором (лентовидная часть), переходящим в округлых очертаний камеру (пятновидная часть), где экскременты концентрируются по центру, формируя размытое пятно. Коридор, как и центральная камера мины, почти никогда не пересекается центральной жилкой листа. Единичные мины личинок *S. plagicolella* регистрировались на растениях алычи обыкновенной, произрастающей на участке леса на берегу оз. Нарочь, где их плотность составила всего $0,15 \pm 0,05$ мины/лист. При этом поврежденные личинками данного минера листовые пластинки сразу же бросаются в глаза благодаря крупным размерам и характерному облику мин.

Дубовая чехликовая моль (*Coleophora anatipenella* (Hübner, 1796)) – представитель семейства молей-чехлоносок (Lepidoptera: Coleophoridae). Перезимовавшие личинки старших возрастов живут в чехликах с характерным образом подвернутой вершиной, не зимовавшие личинки младших возрастов – в мелких округлых минах, которые они осенью проделывают десятками. Стенки мин быстро некротизируются, что заставляет минера делать все новые мины. При выкрашивании таких мин остаются зенкованные отверстия либо углубления в виде лунок, легко бросающиеся в глаза, в том числе ввиду своей многочисленности. В окрестностях оз. Рудаково на произрастающих там растениях алычи обыкновенной личинками *C. anatipenella* было повреждено $10,67 \pm 2,19\%$ листовых пластинок, тогда как на берегу оз. Нарочь вдвое меньше – $5,33 \pm 0,67\%$.

Для гусениц ряда пядениц (Geometridae) характерно дужчатое краевое обгрызание листовых пластинок. К осени они завершают свое развитие, так что можно лишь оценить уровень повреждения листьев данными фитофагами. Повреждения регистрировались на $7,67 \pm 0,33\%$ листовых пластинок растений алычи обыкновенной в окрестностях оз. Рудаково и лишь на $1,64 \pm 1,20\%$ – на берегу оз. Нарочь при минимальных уровнях повреждения (0,02 балла).

Выше обсуждались оценки встречаемости (заселенности) и поврежденности фитофагами листовых пластинок растений алычи, произрастающих на двух участках рекреационных лесов на территории Национального парка «Нарочанский». Использование непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова подтвердило статистическую значимость ($p < 0,05$) наблюдаемых различий (табл. 2) поврежденности листовых пластинок *P. cerasifera* рядом вышеуказанных фитофагов.

Подводя итоги, представляется возможным констатировать низкие уровни заселенности и поврежденности листовых пластинок алычи обыкновенной членистоногими-фитофагами в условиях рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский» в октябре 2024 г.

Наибольшим оказался уровень заселенности, оцениваемый по доле в выборках поврежденных листьев, для цикадки *E. prunicola* ($31,00 \pm 1,15\%$) в условиях участка рекреационных лесов на берегу оз. Нарочь. Уровень поврежденности отдельных листовых пластинок здесь оценивался максимум в 4 балла, – он был наивысшим среди фитофагов комплекса вредителей-филлофагов *P. cerasifera*.

Заключение. По результатам выполненного анализа отобранных в октябре 2024 г. выборки листовых пластинок алычи обыкновенной (*Prunus cerasifera* Ehrh.), произрастающей в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский», регистрировались повреждения галловыми клещами *Eriophyes distinguendus* (Kieffer, 1902) и *Eriophyes prunianus* (Nalepa, 1926), цикадками *Edwardsiana prunicola* (Edwards, 1914), сливовотростниковой (*Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762)) и алычево-дремовой (*Brachycaudus divaricatae* (Shaposhnikov, 1956)) тлями, гусеницами пядениц (Geometridae). Отмечены мины личинок минирующих молей: яблонной белой моли-крошки (*Lyonetia clerkella* (Linnaeus, 1758)), моли-крохотки (*Lyonetia prunifoliella* (Hübner, 1796)), моли-пестрянки (*Parornix finitimella* (Zeller, 1850)), боярышниковой моли (*Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767)), моли-малютки (*Stigmella plagicolella* (Stainton, 1854)), чехликовой дубовой моли (*Coleophora anatipenella* (Hübner, 1796)).

Таблица 2

Результаты использования критериев различий применительно к оценкам поврежденности фитофагами листовых пластинок алычи обыкновенной (*Prunus cerasifera* Ehrh.)

Фитофаги	U-критерий Манна – Уитни		Критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова	
	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>D</i>	<i>p</i>
<i>Edwardsiana prunicola</i> Edw.	7,982	0,0001	0,537	0,0001
<i>Scythropia crataegella</i> L.	2,885	0,004	0,163	0,008
<i>Coleophora anatipenella</i> Hüb.	2,714	0,011	0,108	0,008
Geometridae gen. sp.	3,098	0,002	0,118	0,003

Уровни заселенности и поврежденности листовых пластинок филлофагами были низки, вспышки массового размножения фитофагов не

регистрировались, потеря растениями декоративности вследствие деятельности вредителей была минимальной либо несущественной.

Список литературы

1. Гаранович И. М. Перспективные плодово-ягодные растения для садоводства в БССР. Минск: БелНИИТИ, 1991. 43 с.
2. Горленко С. В., Панько Н. А. Вредители и болезни интродуцированных растений. Минск: Наука и техника, 1967. 136 с.
3. Горленко С. В., Блинцов А. И., Панько Н. А. Устойчивость древесных растений к биотическим факторам. Минск: Наука и техника, 1988. 190 с.
4. Болезни и вредители декоративных растений в насаждениях Беларуси / В. А. Тимофеева [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2014. 184 с.
5. Горленко С. В., Панько Н. А. Формирование микрофлоры и энтомофауны городских зеленых насаждений. Минск: Наука и техника, 1972. 168 с.
6. Буга С. В., Воронова Н. В., Сауткин Ф. В. Тли (Homoptera: Aphidinea) – вредители традиционных плодовых культур в условиях Беларуси: современное состояние и тенденции изменения состава и вредоносности // Плодоводство и ягодоводство России. 2013. Т. 36, № 2. С. 64–69.
7. Сауткин Ф. В., Жукова Т. В., Буга С. В. Тростниковые заросли водоемов как естественный резерват сливовой опыленной тли (*Hyalopterus pruni*) – вредителя плодовых культур в условиях Нарочанского региона // Защита растений: сб. науч. тр. 2013. Т. 37. С. 186–192.
8. Фоновые инвазивные виды членистоногих – вредителей древесных растений зеленых насаждений Беларуси / Д. Г. Жоров [и др.] // Веснік Брэсцкага ўніверсітэта. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі. 2016. № 1. С. 25–34.
9. Жоров Д. Г., Сауткин Ф. В., Буга С. В. Современная структура комплекса чужеродных видов сосущих членистоногих-фитофагов фауны Беларуси // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2016. Т. 60, № 4. С. 88–92.
10. Сауткин Ф. В., Буга С. В., Сербина Л. А. Равнокрылые насекомые (Insecta: Homoptera), развивающиеся на орнаментальных растениях в условиях центрального региона Беларуси // Структура биологического разнообразия центрального региона Белорусской гряды (на примере модельных групп беспозвоночных и позвоночных животных). Минск: Белорус. гос. ун-т, 2011. С. 74–82. Деп. в ГУ «БелИСА» 09.09.2011, № Д201140.
11. Сауткин Ф. В., Буга С. В. Дендрофильные и дендрогербофильные тли – вредители цветочно-декоративных растений, интродуцированных в Беларусь // Теоретические и прикладные аспекты интродукции растений как перспективного направления развития науки и народного хозяйства: материалы Междунар. науч. конф., посвящ. 75-летию со дня образования ЦБС НАН Беларуси, Минск, 12–15 июня 2007 г. Минск, 2007. С. 230–232.
12. Сауткин Ф. В. Членистоногие-фитофаги – вредители декоративных кустарников зеленых насаждений Беларуси // Зоологические чтения: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. И. К. Лопатина, Гродно, 4–6 марта 2013 г. Гродно, 2013. С. 268–273.
13. Количественная оценка поврежденности инвазивными минирующими насекомыми листовых пластинок декоративных древесных растений / О. В. Синчук [и др.]. Минск: БГУ, 2016. 30 с.
14. Гербарное дело: справочное руководство / под ред. Д. В. Гельтмана. Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 341 с.
15. Гусев В. И. Определитель повреждений лесных и декоративных деревьев и кустарников европейской части СССР. Л.: Гослестехиздат, 1951. 580 с.
16. Гусев В. И. Определитель повреждений деревьев и кустарников, применяемых в зеленом строительстве. М.: Агропромиздат, 1989. 208 с.
17. Leafminers and plant galls of Europe // Plant Parasites of Europe – leafminers, galls and fungi. URL: <https://bladmineerders.nl/> (дата обращения: 12.01.2025).
18. Шапошников Г. Х. Подотряд Aphidinea – тли // Определитель насекомых Европейской части СССР: в 5 т. / редкол.: Г. Я. Бей-Биенко (гл. ред.) [и др.]. М.; Л.: Наука, 1964. Т. 1. С. 489–616.
19. PAST 4.16. Manual // Naturhistorisk museum. Universitetet i Oslo. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (дата обращения: 15.01.2025).
20. Петров Л. Д. Эриофиоидные клещи (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) Беларуси: аннотированный список // Глобальная база данных по биоразнообразию. Современные тенденции развития в Беларуси, Латвии и Литве: сб. материалов I Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 16–19 нояб. 2021 г. Минск, 2021. С. 163–187.

21. *Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762) // GBIF | Global Biodiversity Information Facility. URL: <https://www.gbif.org/species/2072851> (дата обращения: 12.02.2025).
22. Rakauskas R., Turčinavičienė J. *Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov, 1956 in Europe: biology, morphology and distribution, with comments on its taxonomic position (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae) // Zool. Reihe. 2006. Vol. 82, no. 2. P. 248–260. DOI: 10.1002/mmzn.200600011.
23. Wilkaniec B., Wilkaniec A. The biology and ecology of *Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov (Hemiptera, Aphidoidea) on *Prunus cerasifera* Ehrhart in Western Poland // Journal of Plant Protection Research. 2013. Vol. 53, no. 1. P. 42–47. DOI: 10.2478/jppr-2013-0006.
24. *Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767) // GBIF | Global Biodiversity Information Facility. URL: <https://www.gbif.org/species/1830632> (дата обращения: 12.02.2025).

References

1. Garanovich I. M. *Perspektivnyye plodovo-yagodnyye rasteniya dlya sadovodstva v BSSR* [Perspective fruit and berry plants for horticulture in the BSSR]. Minsk, BelNIINTI Publ., 1991. 43 p. (In Russian).
2. Gorlenko S. V., Panko N. A. *Vrediteli i bolezni introducirovannykh rasteniy* [Pests and diseases of introduced plants]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1967. 136 p. (In Russian).
3. Gorlenko S. V., Blintsov A. I., Panko N. A. *Ustoychivost' drevesnykh rasteniy k bioticheskim faktoram*. [Resistance of woody plants to biotic factors]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1988. 190 p. (In Russian).
4. Timofeeva V. A., Dishuk N. G., Vojnilo N. V., Linnik L. I., Golovchenko L. A. *Bolezni i vrediteli dekorativnykh rasteniy v nasazhdeniyakh Belarusi* [Diseases and pests of ornamental plants in green areas of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2014. 184 p. (In Russian).
5. Gorlenko S. V., Panko N. A. *Formirovaniye mikroflory i entomofauny gorodskikh zelenykh nasazhdeniy* [Formation of microflora and entomofauna of urban green areas]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1972. 168 p. (In Russian).
6. Buga S. V., Voronova N. V., Sautkin F. V. Aphids (Homoptera: Aphidinea) – pests of traditional fruit crops in Belarus: current status and trends in the composition and harmfulness. *Plodovodstvo i yagodovodstvo Rossii* [Fruit and berry growing in Russia], 2013, vol. 36, no. 2, pp. 64–69 (In Russian).
7. Sautkin F. V., Zhukova T. V., Buga S. V. Reedbeds of lakes and ponds as a natural reserve of the mealy plum aphid (*Hyalopterus pruni*), a pest of plum in the conditions of the Narach region. *Zashchita rasteniy: sbornik nauchnykh trudov* [Plant protection: collection of scientific papers], 2013, vol. 37, pp. 186–192 (In Russian).
8. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Sinchuk O. V., Roginsky A. S. Common invasive arthropod species – pests of woody plants in green areas of Belarus. *Vesnik Brestskaya universiteta* [Bulletin of the Brest University], series 5, Chemistry, Biology, Earth Sciences, 2016, no.1, pp. 25–34 (In Russian).
9. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Buga S. V. Current structure of the complex of alien species of sucking phytophagous arthropods in fauna of Belarus. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Reports of the National Academy of Sciences of Belarus], 2016, vol. 60, no. 4, pp. 88–92 (In Russian).
10. Sautkin F. V., Buga S. V., Serbina L. A. Homopteran insects (Insecta: Homoptera) that feed on ornamental plants in the conditions of the central region of Belarus. *Struktura biologicheskogo raznoobraziya tsentral'nogo regiona Belorusskoy gryady (na primere model'nykh grupp bespozvonochnykh i pozvonochnykh zhivotnykh)* [The structure of biological diversity of the central region of the Belarusian Ridge (using the example of model groups of invertebrates and vertebrates)]. Minsk, Belarusian Stat University Publ., 2011, pp. 74–82. Dep. in GU “BelISA” 09.09.2011, no. D201140 (In Russian).
11. Sautkin F. V., Buga S. V. Dendrophilous and dendroherbophilous aphids – pests of flower and ornamental plants introduced in Belarus. *Teoreticheskiye i prikladnyye aspekty introduksii rasteniy kak perspektivnogo napravleniya razvitiya nauki i narodnogo khozyaystva: materialy Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii, posvyashchennoy 75-letiyu so dnya obrazovaniya TSBS NAN Belarusi* [Theoretical and applied aspects of plant introduction as a promising direction for the development of science and national economy: proceedings of the International Scientific Conference dedicated to the 75th anniversary of the founding of the C.B.G. of the National Academy of Sciences of Belarus]. Minsk, 2007, pp. 230–232 (In Russian).
12. Sautkin F. V. Arthropod phytophagous pests of ornamental shrubs of green spaces in Belarus. *Zoologicheskiye chteniya: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora I. K. Lopatina* [Zoological readings: materials of the International scientific and practical conference dedicated to in memory of Professor I. K. Lopatin]. Grodno, 2013, pp. 268–273 (In Russian).
13. Sinchuk O. V., Roginskij A. S., Danilyonok V. V., Goncharov D. A., Treshcheva A. B. *Kolichestvennaya otsenka povrezhdenosti 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).

14. *Gerbarnoye delo: spravochnoye rukovodstvo* [Herbaria: a practical guide]. Ed. D. V. Geltman. Kew, Royal Botanic Gardens Publ., 1995. 341 p. (In Russian).
15. 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, Goslesstekhizdat Publ., 1951. 580 p. (In Russian).
16. 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).
17. Leafminers and plant galls of Europe. Available at: <https://bladmineerders.nl/> (accessed 12.01.2025).
18. Shaposhnikov G. H. Suborder Aphidinea – aphids. *Opredelitel' nasekomykh Evropeyskoy chasti SSSR: v 5 tomakh* [Keys of insects of the European part of the USSR, in 5 vol.] Ed. G. Y. Bey-Bienko (chief editor) Moscow, Leningrad, Nauka Publ., 1964, vol. 1, pp. 489–616 (In Russian).
19. PAST 4. Manual. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 15.01.2025).
20. Petrov L. D. Eriophyoid mites (Acari: Prostigmata: Eriophyoidea) of Belarus: annotated list. *Global'naya baza dannykh po bioraznoobraziyu. Sovremennyye tendentsii razvitiya v Belarusi, Latvii i Litve: sbornik materialov I Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Global Biodiversity database. Current development trends in Belarus, Latvia and Lithuania: collection of materials of the I International Scientific and Practical Conference]. Minsk, 2021, pp. 163–187 (In Russian).
21. *Hyalopterus pruni* (Geoffroy, 1762). Available at: <https://www.gbif.org/species/2072851> (accessed 12.02.2025).
22. Rakauskas R., Turčinavičienė J. *Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov, 1956 in Europe: biology, morphology and distribution, with comments on its taxonomic position (Hemiptera, Sternorrhyncha: Aphididae). *Zool. Reihe*, 2006, vol. 82, no. 2, pp. 248–260. DOI: 10.1002/mmzn.200600011.
23. Wilkaniec B., Wilkaniec A. The biology and ecology of *Brachycaudus divaricatae* Shaposhnikov (Hemiptera, Aphidoidea) on *Prunus cerasifera* Ehrhart in Western Poland. *Journal of Plant Protection Research*, 2013, vol. 53, no. 1, pp. 42–47. DOI: 10.2478/jppr-2013-0006.
24. *Scythropia crataegella* (Linnaeus, 1767). Available at: <https://www.gbif.org/species/1830632>. (accessed 12.02.2025).

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

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

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

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

Поступила 15.03.2025

УДК 632.78(476)

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

**ПОВРЕЖДЕННОСТЬ КАШТАНА КОНСКОГО ОБЫКНОВЕННОГО
КАШТАНОВОЙ МИНИРУЮЩЕЙ МОЛЬЮ В ЗЕЛЕНЫХ НАСАЖДЕНИЯХ
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ И РЕКРЕАЦИОННЫХ ЛЕСАХ
НАЦИОНАЛЬНОГО ПАРКА «НАРОЧАНСКИЙ»**

Каштановая минирующая моль, или охридский минер (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986; Insecta: Lepidoptera: Gracillariidae), – специализированный минирующий фитофаг каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.). Конский каштан обыкновенный интродуцирован в Беларусь еще в XVIII в., а охридский минер распространился в нашей стране в течение последних десятилетий. На территории Национального парка «Нарочанский» конский каштан обыкновенный произрастает в зеленых насаждениях населенных пунктов и рекреационных лесах, где сильно повреждается личинками охридского минера. Для оценки итогового на конец сезона вегетации уровня поврежденности личинками *C. ohridella* листьев *A. hippocastanum* осенью 2023 и 2024 гг. в аллейных уличных зеленых насаждениях и на окраине рекреационного леса в к. п. Нарочь, а также на участке рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково были отобраны пробы листовых пластинок конского каштана. Их заселенность минирующим филлофагом составляла 100%. Методами компьютерной планиметрии определена площадь отдельных листовых пластинок, суммарная площадь повреждений (мин), рассчитана площадь поврежденной листовой поверхности. Отмечен значительный разброс значений рассмотренных параметров, коэффициенты вариации для указанных показателей составляли от 39,65 до 130,56%. Использование непараметрических критериев различий Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова выявили статистически значимые ($p < 0,01$) различия относительной площади поврежденной листовой поверхности деревьев, произрастающих в зеленых насаждениях и на окраине рекреационного леса в к. п. Нарочь. Потеря декоративности конскими каштанами вследствие повреждения личинками каштановой минирующей моли оценивается как частичная или ощутимая.

Ключевые слова: Белорусское Поозерье, вредители древесных растений, интродуцированные растения, листовые минеры, особо охраняемые природные территории, чужеродные виды.

Для цитирования: Яковчик Ф. Г., Рогинский А. С., Буга С. В. Поврежденность каштана конского обыкновенного каштановой минирующей молью в зеленых насаждениях населенных пунктов и рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский» // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 147–153.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-15.

F. Yakouchyk, A. Roginsky, S. Buga
Belarusian State University

**DAMAGE OF THE COMMON HORSE CHESTNUT BY ORCHID LEAF MINER
IN SETTLEMENT GREEN AREAS AND RECREATIONAL FORESTS
IN NARACH NATIONAL PARK**

The horse-chestnut leaf miner, or Ochrid leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986; Insecta: Lepidoptera: Gracillariidae) is a specialized leaf miner of the common horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.). The common horse chestnut has been introduced to Belarus in the 18th century, while Ochrid leaf miner has spread to the country in recent decades. In the territory of the Narach National Park the common horse chestnut grows in green areas of settlements and recreational forests, where it is strongly damaged by larvae of Ochrid leaf miner. In autumn 2023 and 2024 leaf blades of *A. hippocastanum* were sampled in the street alley and on the edge of the recreational forest in Narach resort village, as well as in the recreational forest in the vicinity of Rudakovo Lake to assess the final level of damage by *C. ohridella* larvae to *A. hippocastanum* at the end of the growing season in green areas and recreational forests in the Narach National Park. Their infestation by the leaf miner was 100%. The area of individual leaf plates, the total area of damage (mines) were estimated by methods of computer planimetry, the area of damaged leaf surface was assessed. A considerable scatter of values of the parameters under the view was noted, the coefficients of variation for these ones ranged from 39.65 to 130.56%. The use of non-parametric Mann – Whitney and Kolmogorov – Smirnov difference criteria revealed statistically significant ($p < 0.01$) differences in the relative area of damaged leaf surface of trees growing in green areas and on the edge of the recreational forest in Narach resort village. The level of loss of ornamental value of the common horse chestnut trees due to damage by larvae of *C. ohridella* ranged from partial to appreciable.

Keywords: Belarusian Lakeland, woody plant pests, introduced plants, leaf-mining insects, natural reserve, alien species.

For citation: Yakouchyk F., Roginsky A., Buga S. Damage of the common horse chestnut by orchid leaf miner in settlement green areas and recreational forests in Narach National Park. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 147–153 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-15.

Введение. Особо охраняемые природные территории (ООПТ) создаются в целях сохранения в относительно малонарушенном состоянии характерных для тех или иных регионов природных комплексов. При этом помимо природоохранных, ООПТ могут выполнять рекреационные и эколого-просветительские функции. В Республике Беларусь это относится, прежде всего, к национальным паркам. Национальный парк «Нарочанский» был организован на западе Нарочанско-Ушачского Поозерья на территориях, где уже функционировали оздоровительные учреждения и зоны отдыха. Характерной особенностью этой ООПТ является наличие обширных участков рекреационных лесов, которые простираются в населенные пункты, образуя зеленые зоны, где фрагменты естественных лесных массивов соседствуют с искусственными зелеными насаждениями, в которых высаживались интродуцированные в Беларусь древесные растения. В результате интродуценты не только произрастают на территории населенных пунктов, но некоторые из них проникают в лесные массивы естественного происхождения.

И аборигенные, и чужеродные виды растений являются кормовыми объектами для фитофагов, среди которых могут быть чужеродные и (или) инвазивные виды. Повреждение вредителями в условиях рекреационных лесов усугубляется аспектом снижения или утраты древесными растениями декоративности, что противоречит целям создания ООПТ такого типа. Кроме того, инвазии чужеродных биологических видов могут рассматриваться как так называемое «биологическое» загрязнение среды [1, 2]. Таким образом, присутствие растений-интродуцентов дополняется присутствием и активностью повреждающих их фитофагов, среди которых и чужеродные для региональной фауны растительноядные беспозвоночные животные. Этим определяется актуальность и практическая значимость изучения вредителей декоративных растений в условиях особо охраняемых природных территорий.

Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.), являясь интродуцентом, в настоящее время обычен в зеленых насаждениях населенных пунктов Республики Беларусь. В Национальном парке «Нарочанский» посадки этой древесной породы имеются в зеленых насаждениях населенных пунктов и за их пределами, а также в соседствующих участках рекреационных лесов. Как показали проведенные нами ранее исследования [3], конскому каштану обыкновенному

в зеленых насаждениях сильно вредит каштановая минирующая моль, или охридский минер (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986). Этот представитель семейства молей-пестрянок (Lepidoptera: Gracillariidae) считается выходцем из Южных Балкан, который на рубеже столетий осуществил инвазию на территорию Республики Беларусь [4, 5] и в настоящее время включен в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [6]. Личинки *C. ohridella* развиваются в формируемых в мезофилле листа нижнесторонних минах. На отдельных простых листочках сложных листьев *A. hippocastanum* может располагаться по несколько мин, которые зачастую соприкасаются и сливаются. Поврежденные участки листовой поверхности сначала приобретают хлоротичную окраску, а по завершении развития личинок быстро некротизируются. Они хорошо заметны стороннему наблюдателю и сильно снижают декоративность крон. Характерным также является преждевременное опадение поврежденных личинками охридского минера листьев, что также негативно сказывается на декоративности растений. Выполненные в предшествующие годы исследования показали, что в зеленых насаждениях городов Беларуси поврежденность конских каштанов охридским минером может превышать 85%. На большей части территории страны каштановая минирующая моль дает две полные генерации, причем к осени относительная площадь поврежденной листовой поверхности может достигать 77% и более [7, 8].

В задачу настоящей работы входила сопоставительная оценка итоговых на конец сезона вегетации 2024 г. уровней поврежденности листовых пластинок конского каштана обыкновенного минирующими личинками *C. ohridella* в условиях Национального парка «Нарочанский» с сопоставлением с данными предшествующих вегетационных сезонов.

Место, материал и методы исследования. Отбор проб поврежденных личинками охридского минера листовых пластинок конского каштана проводился в начале октября 2024 г. в к. п. Нарочь в посадках по ул. Набережной, здесь выполнялся отбор и осенью 2023 г. (GPS-координаты: 54.906836, 26.708092), на границе участка рекреационного леса за кварталом застройки по ул. Ленинской (GPS-координаты: 54.909718, 26.705933), а также в окрестностях оз. Рудаково, в рекреационном лесу, который поглотил посадки декоративных растений по направлению

к неэксплуатируемому дому отдыха (GPS-координаты: 54.899803, 26.894672). Листья рандомизировано отбирали из нижней части крон и помещали в полиэтиленовые пакеты, гербаризируя затем по стандартной методике [9]. Полученные с использованием планшетного сканера CanoScan 9000F Mark II изображения (разрешение не менее 300 dpi) для определения площади повреждений и листовых пластинок подвергали обработке средствами специализированного графического редактора ImageJ [10]. Заселенность минирующим филлофагом листовых пластинок составляла 100%. Уровень поврежденности простых листочков *A. hippocastanum* оказался столь значителен, что выделение мин отдельных личинок *C. ochridella* было затруднительным ввиду их слияния. Это заставило ограничиться в ходе анализа определением общей площади повреждений и площади поврежденной листовой пластинки, на основе которых рассчитывалась относительная площадь поврежденной листовой поверхности.

Статистический анализ данных, аккумулярованных в электронных таблицах, выполнен средствами свободно распространяемого программного пакета PAST 4.16 [11]. В качестве доверительного интервала средних арифметических использованы стандартные ошибки средней. Исходя из характера распределения анализируемых данных, для сравнения использовали непараметрические U-критерий Манна – Уитни и критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова.

Работа выполнена в рамках НИР «Инвазивные фитопатогенные грибы, грибоподобные организмы и беспозвоночные животные на культивируемых и близкородственных дикорастущих растениях: статус в сообществах, распространение, диагностика» (№ ГР 20211704) и «Особенности структуры сообществ опылителей и минеров-филлобионтов лесных экосистем юго-запада Белорусского Поозерья» (№ ГР 20211658) Государственной программы научных исследований «Природные ресурсы и окружающая среда» на 2021–2025 гг.

Основная часть. Полученные данные, характеризующие площадь листовых пластинок (площадь отдельных сложных листьев) растений конского каштана обыкновенного в Национальном парке «Нарочанский», а также параметры их поврежденности личинками каштановой минирующей моли (площадь повреждений, т. е. суммарная площадь мин на отдельных листьях, как и относительная площадь поврежденной листовой поверхности), представлены в табл. 1.

Следует отметить достаточно высокие значения коэффициентов вариации такого показателя как общая площадь листовых пластинок конского каштана (от 64,91 до 130,56%), что может объясняться очевидными различиями размеров не только листьев на побегах разного возраста, размера,

размещения и пр., но и их проксимальных и дистальных участков. Растения *A. hippocastanum* в уличных зеленых насаждениях к. п. Нарочь весной 2024 г. подвергались случайной выборочной обрезке ветвей нижней части кроны, что вызвало летнее пробуждение спящих почек с формированием на новых побегах многочисленных мелких листьев, которые, соответственно, присутствовали в сформированной выборке. Это объясняет, как следствие, максимальное значение коэффициента вариации (130,56%). Для окраины рекреационного леса в к. п. Нарочь причины высокой вариабельности (106,12%) данного показателя неочевидны. Значения коэффициента вариации для такого показателя, как площадь поврежденной листовой поверхности, для анализируемых выборок 2024 г. лежали в диапазоне от 61,76 до 79,43% и оказались ниже, чем в 2023 г. для уличных аллеиных посадок в зеленых насаждениях к. п. Нарочь (84,58%). Стоит отметить, что полученные значения коэффициента вариации для показателя относительной площади поврежденной личинками *C. ochridella* листовой поверхности *A. hippocastanum* были всегда ниже и не превышали 45%. Это можно интерпретировать таким образом, что личинки каштановой минирующей моли в среднем повреждают около половины общей площади листовой поверхности конского каштана обыкновенного независимо от особенностей ее распределения в кронах.

Максимальной оказалась относительная площадь поврежденной личинками охридского минера листовой поверхности конских каштанов на окраине участка рекреационного леса в границах к. п. Нарочь ($59,10 \pm 3,97\%$), она превышала этот показатель для растений *A. hippocastanum* в рекреационном лесу в окрестностях оз. Рудаково ($52,64 \pm 3,22\%$). Ранее проводившимися в условиях Беларуси исследованиями [12–14] было показано, что факторами снижения заселенности и поврежденности каштановой минирующей молью листовой конских каштанов выступают изъятие листового опада с куколками и прекращение деятельности паразитоидов – перепончатокрылых насекомых (Insecta: Hymenoptera: Ichneumonidae, Chalcidoidea), живущих на личинках и куколках *C. ochridella* (следует отметить, что среди них нет узкоспециализированных форм, это паразиты минирующих Microlepidoptera) [15].

Соответствующий участок рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково не принадлежит к числу подвергающихся регулярному уходу, включающему какую-либо уборку опадающей листвы, которая в условиях закрытого биотопа не выдувается ветром. При этом, возможно, в сплошном лесном массиве выше плотность популяций перепончатокрылых насекомых, паразитирующих на широком спектре минирующих фитофагов древесных растений, широко представленных в древостоях.

Таблица 1

Параметры поврежденности листьев конского каштана обыкновенного личинками каштановой минирующей моли в условиях Национального парка «Нарочанский» (2023–2024 гг.)

Показатели	Общая площадь листовой пластинки, мм ²	Площадь повреждений (мин), мм ²	Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %
Уличные зеленые насаждения в к. п. Нарочь (2023 г.)			
Минимум	1410,44	338,77	6,21
Максимум	25 457,86	18 321,43	71,97
Средняя арифметическая	10 881,39	5102,50	42,32
Стандартная ошибка средней	1289,63	787,90	3,12
Медиана	10 451,39	4485,27	41,43
Коэффициент вариации, %	64,91	84,58	40,35
Уличные зеленые насаждения в к. п. Нарочь (2024 г.)			
Минимум	4890,10	1772,50	3,53
Максимум	326 778,00	34 149,20	79,41
Средняя арифметическая	37 893,80	12 822,01	39,48
Стандартная ошибка средней	8025,60	1391,28	2,86
Медиана	32 144,95	11 017,60	34,39
Коэффициент вариации, %	130,56	66,89	44,66
Окраина рекреационного леса в к. п. Нарочь (2024 г.)			
Минимум	4344,04	1925,40	11,67
Максимум	122 129,00	23 797,00	9,63
Средняя арифметическая	18 308,72	9346,36	59,10
Стандартная ошибка средней	280,90	975,61	3,96
Медиана	15 116,30	7826,60	56,85
Коэффициент вариации, %	106,02	61,76	39,65
Рекреационный лес в окрестностях оз. Рудаково (2024 г.)			
Минимум	3995,10	154,70	2,77
Максимум	43 113,60	3451,80	88,22
Средняя арифметическая	17 973,07	10 761,57	52,64
Стандартная ошибка средней	17 550,21	1260,40	3,22
Медиана	14 676,60	9654,65	56,48
Коэффициент вариации, %	66,05	79,43	41,45

Использование непараметрического критерия различий Манна – Уитни не подтвердило статистическую значимость (табл. 2) наблюдаемых различий значений рассмотренного показателя для участка рекреационного леса в окрестностях

оз. Рудаково и окраины рекреационного леса на территории к. п. Нарочь ($p = 0,27$), однако использование непараметрического критерия интегральных различий Колмогорова – Смирнова дало обратный результат ($p = 0,036$).

Таблица 2

Результаты использования непараметрических критериев различий применительно к значениям показателя относительной площади поврежденной личинками каштановой минирующей моли листовой поверхности конского каштана обыкновенного

Пары сравнения (местопроизрастания конского каштана обыкновенного, сезоны)	U-критерий Манна – Уитни		Критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова	
	z	p	D	p
Рекреационный лес (Рудаково, 2024 г.) / зеленые насаждения (Нарочь, 2024 г.)	3,033	0,003	0,389	0,004
Рекреационный лес (Рудаково, 2024 г.) / окраина рекреационного леса (Нарочь, 2024 г.)	1,111	0,27	0,199	0,036
Окраина рекреационного леса (Нарочь, 2024 г.) / зеленые насаждения (Нарочь, 2024 г.)	3,749	0,0003	0,460	0,0006
Зеленые насаждения (Нарочь, 2023 г.) / зеленые насаждения (Нарочь, 2024 г.)	1,093	0,27	0,265	0,15

Минимальным осенью 2024 г. оказалось значение показателя относительной площади поврежденной личинками охридского минера листовой поверхности конского каштана ($39,48 \pm 2,86\%$) в аллеиных уличных зеленых насаждениях в к. п. Нарочь, расположенных вблизи берега оз. Нарочь. Здесь регулярно в течение всего вегетационного периода и по его завершении убирается опадающая листва. Дополнительным фактором снижения популяционной численности охридского минера выступает высокая продуваемость – бабочки *C. ohridella* характеризуются так называемым «неуверенным» полетом, часто пассивно переносятся с воздушными массами и легко выдуваются ветрами с акватории расположенного всего лишь в десятках метров озера.

Регистрируемые различия относительной площади поврежденной личинками *C. ohridella* листовой поверхности *A. hippocastanum* между уличными аллеиными зелеными насаждениями и окраиной рекреационного леса в к. п. Нарочь были статистически значимыми (табл. 2), что констатируется по результатам применения непараметрических критериев различий Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова ($p = 0,0003$ и $p = 0,0006$ соответственно). Статистически значимыми оказались различия значений рассматриваемого показателя для уличных аллеиных зеленых насаждений в к. п. Нарочь и рекреационного леса в окрестностях оз. Рудаково ($p = 0,003$ и $p = 0,004$ соответственно).

Напротив, наблюдаемые различия относительной площади поврежденной личинками охридского минера листовой поверхности конских каштанов в аллеиных уличных зеленых насаждениях в к. п. Нарочь в 2023 и 2024 гг. не были статистически значимы ($p = 0,27$ и $p = 0,15$ соответственно).

Таким образом, в условиях Национального парка «Нарочанский» из года в год минимальный уровень поврежденности (относительной площади поврежденной листовой поверхности) конских каштанов личинками каштановой минирующей моли наблюдается в уличных аллеиных зеленых

насаждениях к. п. Нарочь, что может определяться регулярной (в течение сезона вегетации и по его завершении) уборкой опавшей листвы с куколками вредителя. В сплошном древостое рекреационного леса (окрестности оз. Рудаково) поврежденность ниже, чем на окраине к. п. Нарочь, что может быть обусловлено активностью энтомофагов, – паразитоидов *Microlepidoptera*, общих для минирующих фитофагов листовых пород. Высказанные предположения требуют проверки в ходе целенаправленных исследований.

Заключение. Выполненные исследования позволили оценить параметры итоговой на конец сезонов вегетации 2023–2024 гг. поврежденности листовых пластинок конского каштана обыкновенного каштановой минирующей молью, или охридским минером (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimić, 1986), в условиях зеленых насаждений и рекреационных лесов Национального парка «Нарочанский» (Мядельский район Минской области). Минимальными оказались значения показателя относительной площади поврежденной личинками *C. ohridella* листовой поверхности *A. hippocastanum* для аллеиных уличных зеленых насаждений к. п. Нарочь: $42,32 \pm 3,12\%$ в 2023 г. и $39,48 \pm 2,86\%$ в 2024 г., что может быть обусловлено регулярной в течение сезона вегетации уборкой опавшей листвы с куколками минера. Поврежденность листовой поверхности конских каштанов, произрастающих на окраине рекреационного леса, была ниже, чем внутри лесного массива ($52,64 \pm 3,22$ и $59,10 \pm 3,96\%$ соответственно), – это может определяться воздействием прессы неспециализированных паразитоидов *Microlepidoptera*, что следует проверить в ходе последующих целенаправленных исследований.

В целом потеря декоративности конских каштанов вследствие повреждения каштановой минирующей молью в условиях зеленых насаждений населенных пунктов и рекреационных лесов на территории национального парка оценивается в соответствии с предложенной М. Д. Зеровой с коллегами шкалой [16] от частичной до ошутимой.

Список литературы

1. Ижевский С. С. Чужеземные насекомые как биоагрессоры // Экология. 1995. № 2. С. 119–122.
2. Панов В. Е. Биологическое загрязнение как глобальная экологическая проблема: международное законодательство и сотрудничество // Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова Российской академии наук (ИПЭЭ РАН). URL: http://www.sevin.ru/invasive/publications/panov_02.html (дата обращения: 21.01.2025).
3. Яковчик Ф. Г., Рогинский А. С., Буга С. В. Поврежденность инвазивными минерами лип и конских каштанов в зеленых насаждениях населенных пунктов в границах и пограничье некоторых особо охраняемых территорий Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 114–121. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-14.
4. Распространение и вредоносность каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka, Dimić) в зеленых насаждениях Беларуси / А. С. Рогинский [и др.] // Труды БГУ. 2014. Т. 9, № 2. С. 95–103.

5. Каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella* Deshka & Dimič, 1986) в Беларуси: экспансия завершена / А. С. Рогинский [и др.] // Зоологические чтения – 2015: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. памяти проф. Бенедикта Дыбовского, Гродно, 22–24 апр. 2015 г. Гродно, 2015. С. 215–217.
6. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В. П. Семенченко [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2020. 163 с.
7. Рогинский А. С., Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Особенности фенологии каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) в условиях к. п. Нарочь // Зоологические чтения – 2023: материалы VII Междунар. науч.-практ. конф., Гродно, 22–24 марта 2023 г. Гродно, 2023. С. 249–250.
8. Яковчик Ф. Г., Рогинский А. С., Буга С. В. Сезонные различия уровня поврежденности личинками минервов листовой поверхности каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. профес.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 498.
9. Гербарное дело: справочное руководство / под ред. Д. В. Гельтмана // Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 341 с.
10. Сауткин Ф. В. Использование программных средств анализа цифровых изображений для определения размерных характеристик биологических объектов. Минск: БГУ, 2013. 28 с.
11. PAST 4. Manual // Naturhistorisk museum. Universitetet i Oslo. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (дата обращения: 21.01.2025).
12. Рогинский А. С. Влияние изъятия зимующего запаса каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) на повреждаемость каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в зеленых насаждениях г. Минска // Труды БГУ. 2016. № 2 (11). С. 299–304.
13. Рогинский А. С., Анацко Ю. В., Буга С. В. Оценка влияния энтомофагов на сохранение зимующего запаса каштановой минирующей моли // Материалы I Республиканской заочной научно-практической конференции молодых ученых, Минск, 23 дек. 2019 г. Минск, 2019. С. 230–231.
14. Рогинский А. С. Каштановая минирующая моль (*Cameraria ohridella*) в Беларуси: распространение, биология, экология, повреждаемость растений в зеленых насаждениях: автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.02.05. Минск, 2022. 30 с.
15. Рогинский А. С., Анацко Ю. В., Буга С. В. Таксономическая структура комплекса перепончатокрылых насекомых – энтомофагов каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) в условиях Беларуси // Мониторинг и охрана окружающей среды: материалы II региональной студенческой научно-практической конференции, Брест, 12 марта 2020 г. Брест, 2020. С. 3–5.
16. Каштановая минирующая моль на Украине / М. Д. Зерова [и др.]. Киев: Велес, 2007. 87 с.

References

1. Izhevsky S. S. Alien insects as biocontaminants. *Ekologiya* [Ecology], 1995, no. 2, pp. 119–122 (In Russian).
2. Panov V. E. Biological contamination as a global environmental problem: international legislation and co-operation. Available at: http://www.sevin.ru/invasive/publications/panov_02.html (accessed 21.01.2025) (In Russian).
3. Yakouchyk F., Roginsky A., Buga S. Damage to lime and horse chestnuts trees by invasive leaf miners in green stands of settlements within the borders and in the vicinity of some protected nature areas of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (282), pp. 114–121. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-14 (In Russian).
4. Roginsky A., Sinchuk O., Sautkin F., Buga S. The spread and harmfulness of the chestnut mining moth (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič) in the green areas of Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2014. vol. 9, no. 2, pp. 95–103 (In Russian).
5. Roginsky A., Sinchuk O., Sautkin F., Buga S. Horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deshka & Dimič, 1986) in Belarus: expansion had finished. *Zoologicheskiye chteniya – 2015: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy pamyati professora Benedikta Dybovskogo* [Zoological readings – 2015: materials of the International scientific and practical conference dedicated to the memory of professor Benedict Dybovsky]. Grodno, 2015, pp. 215–217 (In Russian).
6. Semenchenko V., Buga S., Alekhovich A., Baryshnikova S., Boyko S., Borodin O., Buben'ko A., Burko L., Bykovskaya A., Bychkova E., Volosach M., Volchkevich I., Golovchenko L., Golunov I., Dishuk N., Drobenkov S., Zhorov D., Kozul'ko N., Konopatskaya M., Kruglova O., Kulak A., Lipinskaya T., Makarenko A., Petrov D., Prishchepchik O., Rizevskiy V., Roginskaya Yu., Roginskiy A., Rybkina T., Saluk S., Sautkin F., Semenyak A., Sinchuk N., Sinchuk O., Timofeeva V., Trepashko L., Chernik M., Yakovich M.,

Yanuta G. *Chernaya kniga invazivnykh vidov zhyvotnykh Belarusi* [Black Book of Invasive Animal Species of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 163 p. (In Russian).

7. Roginsky A., Yakouchyk F., Buga S. Phenology of the horse-chestnut mining moth (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) in the Narachansky region. *Zoologicheskiye chteniya – 2023: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Zoological readings – 2023: materials of the VII International scientific and practical conference]. Grodno, 2023, pp. 249–250 (In Russian).

8. Yakouchyk F. G., Roginsky A. S., Buga S. V. Seasonal differences in the damage level of leaf surface of the horse-chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) by larvae of miners. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry: proceedings of the 87th scientific and technical conference of the teaching staff, researchers and postgraduate students]. Minsk, 2023, p. 498 (In Russian).

9. *Gerbarnoye delo: spravochnoye rukovodstvo* [Herbaria: a practical guide]. Ed. D. V. Geltman. Kew, Royal Botanic Gardens Publ., 1995. 341 p. (In Russian).

10. Sautkin F. V. *Ispol'zovaniye programmykh sredstv analiza tsifrovyykh izobrazheniy dlya opredeleniya razmernyykh 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).

11. PAST 4. Manual. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 21.01.2025).

12. Roginsky A. S. The effect of withdrawal of the wintering stock of the chestnut mining moth (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) on the damage rate of horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in green areas of Minsk. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2016, no. 2 (11), pp. 299–304 (In Russian).

13. Roginsky A. S., Anatsko Yu. V., Buga S. V. Assessment of the effect of entomophages on the preservation of the wintering stock of the chestnut mining moth. *Materialy I Respublikanskoy zaochnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii molodykh uchenykh* [Materials of the First Republican correspondence scientific and practical conference of young scientists]. Minsk, 2019, pp. 230–231 (In Russian).

14. Roginsky A. S. *Kashtanovaya miniruyushchaya mol' (Cameraria ohridella) v Belarusi: rasprostraneniye, biologiya, ekologiya, povrezhdayemost' rasteniy v zelenykh nasazhdeniyach. Avtoreferat dissertatsii kandidata biologicheskikh nauk* [The horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella*) in Belarus: distribution, biology, ecology, plant damage in green areas. Abstract of thesis PhD (Biological)]. Minsk, 2022. 30 p. (In Russian).

15. Roginsky A. S., Anatsko Yu. V., Buga S. V. Taxonomic structure of the complex of hymenopteran insect entomophages of the chestnut mining moth (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) in the conditions of Belarus. *Monitoring i okhrana okruzhayushchey sredy: materialy II regional'noy studencheskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Environmental monitoring and protection: proceedings of the II Regional Student Scientific and Practical Conference]. Brest, 2020, pp. 3–5 (In Russian).

16. Zerova M. D., Nikitenko G. N., Narol'skiy N. B., Gershenzon Z. S., Sviridov S. V., Lukash O. V., Babidorich M. M. *Kashtanovaya miniruyushchaya mol' na Ukraine* [Horse-chestnut leaf miner, *Cameraria ohridella*, in Ukraine]. Kyiv, Veles Publ., 2007. 87 p. (In Russian).

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

Рогинский Алексей Сергеевич – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (пр-т Независимости, 4, 220030, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: roginski@gmail.com

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

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

Roginsky Alexey – PhD (Biology), Assistant Professor, the Department of Zoology. Belarusian State University (4 Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: roginski@gmail.com

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

Поступила 15.03.2025

ТУРИЗМ И ЛЕСООХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

TOURISM AND FOREST HUNTING

УДК 338.482

Д. А. Бессараб

Белорусский государственный технологический университет

ОБ ОСОБЕННОСТЯХ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПРИПРАВ И СПЕЦИЙ В ИСТОРИЧЕСКОЙ ЛИТВИНСКО-БЕЛОРУССКОЙ КУЛИНАРНОЙ ТРАДИЦИИ И ИХ ВЛИЯНИИ НА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОДВИЖЕНИЯ НАЦИОНАЛЬНОЙ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕСТИНАЦИИ

В статье приводятся взгляды автора на оценку туристической привлекательности территории и возможности трансформации ее в туристическую дестинацию, важной составляющей которой является аутентичный гастрономический бренд. Особенности базового сельскохозяйственного цикла и принятая система религиозного табуирования во многом определяли историческое развитие национальной литвинско-белорусской кухни. Следует отметить, что особые характерные черты, присущие каждой из национальных кухонь, во многом определялись набором приправ и специй, используемых в процессе приготовления блюд. Особо ценятся те из них, которые либо стихийно, либо целенаправленно сложились как кулинарные бренды. К тому же любая современная кухня складывалась как синтетичное слияние национальных кухонь различных сословий, как минимум дворянства (шляхты), мещанства (горожан) и крестьянства. Но и внутри каждого из них имелись существенные различия. Так, шляхетский стиль вполне обоснованно можно подразделить на кухни нобилей и магнатов, средней и застенковой шляхты. А в мещанской можно особо выделить еврейскую кухню. Причем каждая из них имела тенденцию проникновения из одной сословной кухни в другую. Данную закономерность можно объяснить тем, что основой появления различных национальных кухонь в условиях практически полного самообеспечения с присутствием натурального обмена был базовый состав исходных продуктов, характерных для данных широт и природных зон.

Констатируется, что национальная кухня представляет собой устойчивую индикаторную единицу, лежащую в основе не только формирования национального мифа, но и туристического брендинга территории, на которой последний должен базироваться, так как повседневная поведенческая регулярно тиражируемая привычка в том числе формирует ментальную самобытность понимания исторического развития территории. Особенности гастрономической культуры, кулинарные навыки и предпочтения, присущие той или иной территории и есть тот «репер», который свидетельствует о характере этой самобытности. Соответственно, сравнение собственных традиций питания и базовых рецептов блюд с подобными же, но характерными для иных культур, позволяет и определять, и настаивать на этой самобытности. Кроме того, во многом именно традиции, характер и состав используемых приправ и специй свидетельствует о степени разработанности и развития национальной или местной кухни.

Ключевые слова: туризм, этнокультурный туризм, туристическая дестинация, туристический бренд, развитие туризма в Беларуси, национальная кухня, специи, приправы, быт и ментальная организация населения.

Для цитирования: Бессараб Д. А. Об особенностях использования приправ и специй в исторической литвинско-белорусской кулинарной традиции и их влиянии на возможности продвижения национальной туристической дестинации // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 154–167.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-16.

D. A. Bessarab

Belarusian State Technological University

ABOUT THE FEATURES OF USING SEASONINGS AND SPICES IN THE HISTORICAL LITHUANIAN-BELARUSIAN CULINARY TRADITION AND THEIR INFLUENCE ON PROMOTION OPPORTUNITIES NATIONAL TOURIST DESTINATION

The article presents the author's views on assessing the tourist attractiveness of a territory and the possibility of transforming it into a tourist destination, an important component of which is an authentic gastronomic brand. The features of the basic agricultural cycle and the adopted system of religious taboo largely determined the historical development of the national Lithuanian-Belarusian cuisine. It should be noted that the special characteristic features inherent in each of the national cuisines were largely determined by the set of seasonings and spices used in the process of preparing dishes. Particularly valued are those that either spontaneously or purposefully emerged as culinary brands. It should be noted that each modern cuisine developed as a synthetic fusion of national cuisines of various classes, at least the nobility (gentry), the philistinism (citizens) and the peasantry. But within each of them there were significant differences. Thus, the gentry style can quite reasonably be divided into the cuisines of nobles and magnates, middle and humble gentry. And in the bourgeois kitchen, Jewish cuisine can be especially distinguished. Moreover, each of them tended to penetrate from one class cuisine to another. This pattern can be explained by the fact that the basis for the emergence of various national cuisines in conditions of almost complete self-sufficiency with the presence of natural exchange was the basic composition of the original products characteristic of these latitudes and natural zones.

It is stated that national cuisine is a stable indicator unit that underlies not only the formation of a national myth, but also tourist branding of the territory, on which the latter should be based, since everyday behavioral habit, regularly replicated, also forms the mental identity of understanding the historical development of the territory. Features of gastronomic culture and culinary skills and preferences inherent in a particular territory are the "benchmark" that testifies to the nature of this identity. Accordingly, comparison of one's own food traditions and basic recipes of dishes with similar ones, but characteristic of other cultures, allows one to both determine and insist on this originality. Accordingly, comparison of one's own food traditions and basic recipes of dishes with similar ones, but characteristic of other cultures, allows one to both determine and insist on this originality. In addition, in many ways, it is the traditions, the nature and composition of the herbs and spices used that indicate the degree of development and development of national or local cuisine.

Keywords: tourism, ethnocultural tourism, tourist destination, tourism brand, tourism development in Belarus, national cuisine, spices, seasonings, life and mental organization of the population.

For citation: Bessarab D. A. About the features of using seasonings and spices in the historical Lithuanian-Belarusian culinary tradition and their influence on promotion opportunities national tourist destination. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 154–167 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-16.

Введение. Национальная самоиндефикация является одним из важных факторов, влияющих на формирование имиджа страны, который базируется на таких уровнях общественного сознания, как существующая мифология, сложившийся стереотип и предметные знания, полученные в ходе формирования ментального опыта. Ранее отмечалось [1], что эти же компоненты лежат в основе акцентированно-национального восприятия кулинарных традиций нашего народа.

В Государственной программе «Беларусь гостеприимная» на 2021–2025 гг. [2] особо отмечено, что в числе приоритетов в сфере туризма определены развитие въездного и внутреннего туризма, повышение конкурентоспособности туристических услуг и продвижение национальных туристических брендов на мировом рынке. Значит,

в качестве необходимого условия устойчивого развития туристической дестинации может выступать экологическое и культурно-историческое наследие нашей страны. Важно отметить, что объем экспорта туристических услуг тесно связан с объемом рынка внутреннего туризма, который выступает своеобразным триггером, влияющим на развитие рынка въездного туризма.

Существует мнение, что характер народа определяется землей, почвой, на которой он живет. Следует согласиться, так как это изначально определяло набор исходных продуктов, которые человек употреблял в пищу. Кроме того, и возможность доступа к источнику энергии. Характер розжига огня и принципы его поддержания определяли преимущественные способы тепловой обработки пищи. Вполне допустимо, что эти же

обстоятельства во многом определяли первичную форму и, возможно, даже объем базовой утвари, в которой этот процесс осуществлялся. Таким образом, именно особенности базового сельскохозяйственного цикла и принятая система религиозного табуирования во многом определяли историческое развитие национальной кухни. Следует отметить, что особые характерные черты, присущие каждой из национальных кухонь, во многом определялись набором приправ и специй, используемых в процессе приготовления блюд. Однако в настоящее время эта тема в проекции на развитие исторической литвинско-белорусской кухни до сих пор разработана весьма слабо.

Основная часть. В последние десятилетия наблюдается отчетливо выраженное увеличение потребительского интереса к вопросам гастрономии, что подтверждается присутствием в информационном пространстве большого количества материалов, представленных на различных носителях, посвященных этой тематике. В том числе особую популярность стали приобретать гастрономические туры, ориентированные на получение так называемого «эффекта присутствия», в структуре которых дегустации блюд национальной кухни занимают видное место. Особо ценятся те из них, которые либо стихийно, либо целенаправленно сложились как кулинарные бренды. В данном случае зачастую именно они становятся проводником функции идентификации дестинации для потребителя, а именно доносят до него существенные отличия или уникальность данной структурной единицы туризма.

Учитывая высокую степень интереса к гастрономии, была произведена попытка оценить основные технологические приемы, порядок и сочетание специй и приправ в блюдах национальной литвинско-белорусской кухни с целью использования полученных данных в туристических целях.

Следует констатировать, что впервые люди стали применять различные растения в качестве не только источника пищи, но и в виде того, что сейчас понимается как специи, пряности или приправы, задолго до Всемирного потопа, практически с начала истории человечества. Однако первоначальный выбор был весьма скуден, так как собиралось то, что росло рядом с местом обитания, хотя и была существенная разница в разнообразии видового состава растений в низких и высоких широтах. Этот тезис вполне согласуется с данными о местах размещения центров происхождения культурных растений. По академику Н. И. Вавилову (1887–1943), все 7 основных географических центров приурочены к низким широтам [3]. Это Южноазиатский тропический центр, являющийся очагом происхождения около 33% от общего числа видов культурных растений, Восточноазиатский (19%), Юго-Западноазиатский

(14%), Средиземноморский (порядка 11%), Абиссинский, или Африканский, центр (около 4%), Центральноамериканский (10%) и Андийский, или Южноамериканский (9%).

Само земледелие зародилось на Ближнем Востоке, на условной территории по форме напоминающей треугольник, которая сегодня называется Плодородным полумесяцем. Это территории Месопотамии и современных Кипра, Ливана, Израиля, Сирии, Ирака, юго-востока Турции, юго-запада Ирана и северо-запада Иордании. Здесь в зимние месяцы наблюдается повышенное количество осадков, что позволяло собирать по несколько урожаев в год. Флористический же состав одомашниваемых видов, естественно, отличался эндемичностью. Излишки в процессе начала «первичной глобализации» становились предметами обмена, и к местным, аборигенным приправам и специям в странах, расположенных в высоких широтах, стало постепенно добавляться и то, что было доставлено из стран, расположенных в низких широтах. Появилась основа для классификации специй. Сначала процесс шел очень медленно, но постепенно технический прогресс привел к возможностям заниматься не только каботажем, но и осуществлять плавания в открытом океане. Настало время Колумба и его последователей. Пряности перевернули мир и прочно вошли в жизнь, изменив вкусовую гамму Европы. Настолько прочно, что повлияли практически на все, вплоть до того, что нашли отражение в произведениях искусства. Пожалуй, самое знаменитое из них – «Лавка пряностей. Измельчение в ступке» Паоло Антонио Барбьери (1637). В книге учета заказов художника Барбьери в 1629 г. был зарегистрирован заказ на создание сорока двух картин для магазина специй [4].

Может показаться, что на фоне стремительно множась в Европе синдрома социального доступа к благам, подчеркивающего обладание эксклюзивной возможностью престижного потребления, мы исторически были в стороне от этого процесса. И сегодня продолжаем считать себя какими-то не вполне состоявшимися в историческом плане и до сих пор обладаем ощущением, что наши предки стояли в стороне от этого процесса и ассоциировали себя с совершенно иными ценностными парадигмами.

А следовало бы помнить, что когда Колумб отворил дверь в Новый Свет, а заодно и в Новое время, а чуть позже Магеллан распахнул ее на всю необратимую ширину, их современником был Франциск Скарина, который 9 ноября 1512 г. защитил степень доктора медицины в Падуанском университете, а в 1517 г. издал в Праге «Псалтырь».

В 1518 г. Бона Сфорца, захватив с собой из Италии кроме всего прочего декольте и вилку,

выходит замуж за Сигизмунда I Старого и становится королевой Речи Посполитой. Дамы были впечатлены привезенным: к XVIII в., как отмечал Адам Мальдис в книге «Беларусь у люстэрку мемуарнай літаратуры XVIII стагоддзя» [5], «прыхільніцы заходняй моды адсланяюць нават плечы і грудзі. Дэкальтэ набывае такую “глыбіню”, як ні ў які іншы перыяд». Кроме того, благодаря королеве Боне в Гродно появились водопровод и часы на Ратуше. Теперь они находятся на башне Фарного костела и считаются самыми старыми башенными часами в Европе. Волоочная реформа также проходила под непосредственным патронажем королевы. В 1547 г. в личных уделах Бона Сфорца начала проводить аграрную реформу, ввела трехполье (яровые, озимые и пар). Она же впервые начала подавать к столу неизвестные ранее в Речи Посполитой оливки, изюм, инжир, апельсины, лимоны, миндаль и пр.

Благодаря спонсорской помощи королевы Боны в 1523 г. Микола Гусовский издает «Песнь о мощи, дикости зубра и охоте на него», сейчас больше известную как «Песня про зубра» [6], за что горячо благодарит свою патронессу: «Гэтае пісаньне хачу я паднесьці табе замест сьціплага падарунка, спадзеючыся, што надарыцца выпадак, калі яго Каралеўская Вялікасьць па сваім звычай адправіцца на паляваньне, і гэтая кніжка, што змяшчае лясныя прыгоды, цябе зацікавіць і ты яе прачытаеш. Гэтым самым жадаю я ня так палепшыць сваё становішча, як пракласьці шлях вучоным мужам, каб і яны табе свае творы паднеслі».

Кроме того, королева приложила немало усилий, чтобы породнить династию Ягеллонов с ведущими королевскими домами Европы. Ее дочь Екатерина стала королевой Швеции, Изабелла – Венгрии, Анну выдала замуж за короля Речи Посполитой Стефана Батория, София, благодаря удачной женитьбе, стала великой герцогиней Брауншвейг-Вольфенбюттельской. Мама у них была весьма предприимчивой женщиной. Кстати, и слово «палац» в белорусском языке закрепилось тоже благодаря Боне Сфорца.

Ну и наконец, у нее на родине рядом была Венеция, и королева Речи Посполитой хорошо знала, что это один из самых больших складов специй в Европе, и, несомненно, ей отгружали с этого склада.

После смерти ее сына, Сигизмунда II Августа, оказавшегося бездетным, прервалась династия Ягеллонов. Это был последний монарх, который вззошел на трон в результате действия наследственного права. Первым избранным королем и Великим князем Литовским в 1574 г. стал француз Генрих Валуа. Он был так впечатлен креативом королевы-итальянки, что когда после внезапной смерти своего брата Карла IX устроил побег из Речи Посполитой назад, то заодно тайно прихва-

тил с собой вилку. По сути, Франция стала четвертой страной после Италии, Польши и Литвы (Беларуси), которая начала есть этим диковинным прибором, а не с ножа или руками. Кроме того, обретя французский монарший трон, Генрих немедленно распорядился оборудовать Лувр канализацией по примеру той, что была в Вавеле. Кстати, впоследствии он тоже умер бездетным, став последним королем Франции из династии Валуа.

Его место в Польше и Литве в 1575 г. занял венгр Стефан Баторий. Здесь не будем вести разговор о его государственных деяниях, но одно следует констатировать точно: без паприки нет венгерской кухни. А ее отголоски в национальной литвинско-белорусской гастрономической традиции присутствуют как минимум в виде гуляша и бограча.

И это только единичные примеры, а таких можно приводить сотни, если не тысячи. И если после возвращения Элькано в Европе стартовал новый виток «пряной лихорадки», то, без сомнения, территория исторической Литвы не осталась в стороне от этого процесса. В литвинско-белорусской кухне, а не в том непонятном суррогате, который растиражировал Вильям Похлебкин в книге «Национальные кухни наших народов» [7], специи и приправы занимали и продолжают занимать важное место. Он же настаивает, что «в число употребляемых в Белоруссии приправ входят лишь лук, чеснок, укроп, тмин, черный перец, лавровый лист, семена кориандра».

Следует отметить, что каждая современная кухня складывалась как синтетичное слияние национальных кухонь различных сословий, как минимум дворянства (шляхты), мещанства (горожан) и крестьянства. Но и внутри каждого из них имелись существенные различия. Так, шляхетский стиль вполне обоснованно можно подразделить на кухни нобилей и магнатов, средней и застенковой шляхты. А в мещанской можно особо выделить еврейскую (жыдоўскую) кухню. Так как начиная с конца XIV в. большая часть еврейской диаспоры Европы проживала именно на территории Великого княжества Литовского. Но в любом случае между ними была тесная взаимосвязь. Как обоснованно отмечали Альберто Капатти и Массимо Монтанари [4], «...при этом бедняцкая кухня стремится, насколько это вообще возможно, подражать элитной, а та, в свою очередь, не колеблясь, «заимствует» в случае надобности «бедную» еду и «бедные» вкусы. Так что, проанализировав многочисленные источники, свидетельствующие о вкусах элиты, мы раскроем и обыкновения крестьянской кухни».

Эту закономерность можно объяснить тем, что основой появления различных национальных кухонь в условиях практически полного самообеспечения с присутствием натурального обмена

был базовый состав исходных продуктов, характерных для данных широт и природных зон, и кроме того, исторически доступные способы термической обработки пищи, то есть, по сути, доступ к огню, и принятая система табуирования, складывающаяся в условиях религиозных воззрений представителей различных народов и сословий.

Можно с большой долей уверенности предположить, что сначала в качестве специй использовались, естественно, растения местного происхождения. Здесь Средиземноморье находилось в привилегированном положении, так как этот центр является родиной порядка 11% видов культурных растений. Среди них те, что используются в качестве специй: лавр благородный, горчица белая, петрушка, пастернак, сельдерей, мята, анис, кориандр, фенхель, тмин, хрен, укроп. Территория же исторической Литвы находилась и находится в высоких широтах, что не способствовало произрастанию разнообразия пряных трав. Это и закрепились в особенностях крестьянской кухни: небольшой ассортимент специй с отчетливым акцентом на местные виды. Кухня же других сословий предполагала более широкое использование приправ и специй, в том числе и импортного производства.

Примерно к 1500 г. до н. э. случилась «первая торговая революция» изменившая мир и кухню. Человек изобрел седло для верблюда, которое распределяет вес груза. До этого времени в качестве основного вьючного животного использовали осла. Теперь же в распоряжении купцов оказалась по современным меркам настоящая грузовая «фура», способная одновременно перемещать до 400 и даже более килограммов груза на расстояние в 20–30 миль за день. В Европе появились экзотические, или классические, пряности и специи, которые ранее были почти недоступны.

К последней четверти XIV в. настало время «второй торговой революции». Благодаря португальцам, испанцам и голландцам появилась технология использования на морских судах смешанного такелажа. На фок- и грот-мачтах (передней и средней) устанавливались прямоугольные паруса, скажем так, «европейского типа», обеспечивающие тяговую силу повышенной мощности, на заднюю – бизань-мачту – крепились косые «азиатские» паруса, отвечающие за маневренность при управлении кораблем. Плюс новшества в навигации. Стало возможным отказаться от каботажа и отправляться в открытое море, как это и сделали Колумб через Атлантику (1492), Васко да Гама вокруг Африки и через Индийский океан (1497–1499), Америго Веспуччи (1498–1502), Фернан Магеллан через Атлантику и Тихий океан.

Богатые страны, обладающие технологиями, принялись добывать, потреблять и продавать заморские специи. Но все же экзотические пряности Азии и Африки долгое время стоили в Европе очень дорого и были исключительной принадлежностью высших сословий. Крестьяне и мещане искали и находили местные аналоги. Впрочем, не только они. Так, Мария Лемнис и Генрих Витри в своей книге «В старопольской кухне и за польским столом» [8] отмечают, что великий коронный канцлер Ежи Оссолинский (1595–1650), ближайший советник короля Владислава IV, призывал магнатов и богатую шляхту не тратить бешеные деньги на привозимые из-за границы дорогие деликатесы. Он считал, что производимые блюда из местных продуктов, вполне достаточны для устройства даже самого великолепного пиршества. А золото широкой рекой утекало тогда в иноземные государства взамен пряностей, вина, сахара, лимонов и прочего. И чтобы доказать свою правоту, он организовал банкет с использованием местных продуктов, пригласив на него много знати и всех находившихся тогда в Варшаве иностранных послов.

Выше отмечалось, что испокон веков первобытный лес во многом предопределял образ жизни наших предков. Он обеспечивал доступ к источнику энергии, определял характер розжига огня и принципы его поддержания. Именно лес содействовал выбору преимущественных способов тепловой обработки пищи. Он же препятствовал образованию крупных поселений и ведения общинного типа землепользования. Это не степь с ее бескрайними просторами. Лес надо корчевать, чтобы добыть пахотные земли. Плюс ко всему, как отмечалось выше, с середины XVI в. с подачи Боны Сфорца великим князем Сигизмундом II Августом 1 апреля 1557 г. была издана «Устава на волоки», которая определяла принципы построения государственного земельного хозяйства в Великом княжестве Литовском. «Устава» окончательно упразднила остатки общинного землепользования, закрепив абсолютную доминанту подворного. Таким образом, документально был зафиксирован исторически сложившийся принцип расселения и ведения хозяйства. В силу действия природно-географических факторов, присутствующих в лесной зоне, крестьянство, мелкая и средняя шляхта жили, как правило, в достаточно удаленных друг от друга маленьких деревнях, хуторах, небольших имениях-застенках и фольварках. При таком способе ведения хозяйства важным фактором эффективности экономики является личная свобода землепользователя, который был в вассальных отношениях к своему сюзерену, не имел права владеть землей и существовал в условиях практически полного самообеспечения.

Таким образом, наряду с трехпольем, важнейшей частью любого хозяйства являлись огороды, присутствующие в обязательном порядке и подразделяющиеся на «вары́нные», или «кухонные», и «зельные». Первые из них лучше всего описаны в поэме «Пан Тадэвуш» А. Мицкевича [9]:

Уздоўж стаялі дрэвы рад ля рада
І зацянялі плошчу поля. Сподам – грады.
Капуста да зямлі тут лысіны зніжае,
Нібы пра лёс гародніны ўсё разважае.
Там боб струкі свае ўплятае моркве ў косы
І тысячай вачэй за ёю сочыць скоса,
А там залоціцца на сонцы кукуруза
І дзе-нідзе гарбуз з бацвіння выпнуў пуза,
Залезшы па сцябліне са сваіх загонаў
У госці да натоўпу буракоў чырвоных...

...Пад плотам грады без кустоў, без дрэў і кветак –
Гарод на агуркі займае ўвесь палетак.
Прыгожа выраслі і лісцем лапушыстым
Пакрылі плошчу, быццам дываном пушыстым.

Про второй тип там же:

Прыезджы ля акна спыніўся – што за дзіва?
На месцы ўзмежка саду з крапівой куслівай
Пяпер гародчык быў маленькі і стракаты,
Травы ангельскай повен і пахучай мяты.

Значит «зельные» огороды разбивались для выращивания лекарственных трав, приправ и специй. Естественно, что именно местные растения в первую очередь и использовались в кулинарии. Так, археолог Ирина Ганецкая [10] отмечает, что в XVI в. в замковых огородах присутствовали пастернак и петрушка, импортные семена которой выдавали крестьянам для выращивания. А в инвентарных книгах Мирского замка 1681 г. указано, что в хозяйственных помещениях хранились соль, уксус, растительное масло, различные корни и зелень, а также мак.

Но, разумеется, большая часть приправ и специй ввозилась из-за рубежа. Опять-таки в поэме «Пан Тадэвуш» [9]:

З вазоў нясуць гародніну, муку, прыправы
І хлеб.

В таможенных книгах фиксируются поставки соли, перца, тмина, корицы, муската, имбиря, шафрана и иных специй. Правда, доступны они были лишь состоятельным слоям населения и то в ограниченных количествах.

Таким образом, следует провести инвентаризацию специй и приправ, использование которых действительно вошло в канон национальной

литвинско-белорусской кухни. Кое-какое представление об этом дает, например, старинный стишок-припевка:

Танцавала рыба з ракам,
І пятрушка – з пастарнакам,
А цыбуля – з часнаком,
А маркоўка – з бураком.

Тоўста рэпа – з тонкім макам,
Туцацелі кракавякам.
Нават сумная мятла
З імі скокі завяла.

Хрэн прытупаў да іх з градкі
Паглядзець на непарадкі,
Галавою паківаў
І з усімі паскакаў.

В эпоху барокко в Полесских Афинах – Слониме, в оперном театре Михаила Казимира Огинского ставили оперы «Дезертир» Монсиньи, «Легендарная женщина», «Цыгане на ярмарке», «Король Теодор в Венеции», «Нина, или Безумная от любви» Паизиелло, «Орфей и Эвридика» Глюка. А в огородах великого гетмана да и практически всех подданных Великого княжества Литовского зрели корнеплоды пастернака.

Пастернак (бел.). Пастернак посевной (*Pastinaca sativa* L.). Двулетнее травянистое растение семейства Зонтичных родом из Средиземноморья. Согласно латинско-русскому словарю [11], название происходит либо от лат. *pastinum* – мотыга, мотыжение, вскапывание, вскопанный участок, либо от *pastinare* – обкапывать место, чтобы сделать его годным для посадки винограда. Еще в древних Греции и Риме ценился за сочную плотную мякоть корнеплода со слегка сладковато-пряным вкусом и применялся в качестве пряно-вкусового овощного растения. Древние греки относили пастернак к особо ценным растениям, обладающим отличным вкусом и ароматом, и считали, что его употребление вызывает спокойный и приятный сон.

Ценность пастернаку придает и его химический состав. Растение богато солями калия, кальция, фосфора, железа, меди, витаминами: тиамин, никотиновой кислотой, рибофлавином, а также эфирными маслами, содержит 8–12% сахаров, крахмал, клетчатку, пектиновые вещества. В состав эфирного масла входит октилбутиловый эфир масляной кислоты, определяющий его своеобразный запах.

Пастернак возбуждает аппетит и улучшает пищеварение, укрепляет кровеносные сосуды. Настой корнеплодов оказывает болеутоляющее и спазмолитическое действие при мочекаменной и почечнокаменной болезнях, обладает тонизирующим

свойством и применяется при общем упадке сил, весенних недомоганиях, после тяжелых заболеваний.

Он был невероятно популярен у наших предков во времена барокко. До такой степени, что дал название населенному пункту Пастернаки Мстиславского воеводства. По сути дела, пастернак, наряду с репой, до появления картофеля «закрывал» его «нишу» в кулинарной традиции литвинов. В виде пюре пастернак подавали как гарнир к мясу, он же служил одним из видов гарнира в супах (их жидкую часть называют основной, плотную – гарниром), натирали на терке в сыром виде и обжаривали, по сути – делали оладьи из пастернака, т. е. драники. Винченца Завадская в своей «Кухарке Литовской» [12] предлагает готовить его, например, таким способом: «хорошо очищенный и промытый пастернак изрезать в большие куски, бросить в кипяток, и когда он несколько раз вскипит – отцедить. Залить бульоном из говядины или баранины без кореньев, но с солью и несколькими зернами английского перца. Поджарить ложку муки в масле, прибавить еще немного бульону, положить в пастернак, который должен вариться до тех пор, пока не будет мягок.

Пастернак подается с мясом, которое гарнирует его».

Кроме того, корнеплод тушили или запекали ломтиками и затем обжаривали во фритюре. Кстати, считается, что первое внятное блюдо из картофеля на землях Речи Посполитой – «tortofelle», – дело рук кухмистра князя Александра Михала Любомирского Станислава Чернецкого, автора «Compendium ferculorum, albo Zebranie potraw» (1682), первой печатной кулинарной книги Короны и Литвы [13]. Правда кухмистр Чернецкий, похоже, просто вместо пастернака запек в пепле клубни картофеля, а дальше все тоже самое: порезал его на ломти и обжарил их в масле.

Ценились и пряные свойства растения. Порезанные корнеплоды добавляли в качестве составного компонента в салат из свежих овощей, незаметно он был и при изготовлении маринадов, при консервировании овощей, приготовлении солений и пр. А несколько ломтиков его корнеплодов делают из банального бульона изысканный шедевр. Анна Тюддевицкая в книге «Літоўская гаспадыня» [14], например, рекомендует выращивать пастернак как весеннюю зелень: «пастарнак, пасеяны ў тых месцах, дзе восенню не ходзяць парсюкі, пакідаюць на зіму на градах і нічым не накрываюць. Вясной ён будзе лепшы, чым восенню, бо зробіцца салодкім ад марозу. Калі зямля растане, яго ўбіраюць з агароду і ўносяць у склеп».

Его на землях исторической Литвы выращивали повсюду, но в наибольших, чуть ли не в

промышленных масштабах, еще в начале XX в. в Дисненском уезде Виленской, Бельском Гродненской и Игуменском Минской губерний. И либо само название популярного растения, либо профессиональное занятие выращиванием пастернака, либо название населенного пункта Пастернаки Мстиславского воеводства дало начало происхождению фамилии Пастернак, носителями которой было преимущественно еврейское население исторической Литвы.

Петрушка (бел.). Петрушка кудрявая, или Петрушка курчавая (*Petroselinum crispum*). Двухлетнее травянистое растение семейства Зонтичных, как и пастернак, родом из Средиземноморья. Название происходит от греческих *πέτρος*, что означает «камень» и *selinon* – «сельдерей», и в целом получается «каменный сельдерей». Растение попало в Европу с территории Древнего Египта и затем постепенно распространилось по всему миру. Первоначально египтянами и древними греками с римлянами петрушка, или «травя смерти», использовалась как лекарственное и ритуальное (при погребениях) растение: ее листьями осыпали покойников и обкладывали места погребений.

Но древний мир быстро оценил вкусовые качества пряной травы петрушки. Ее стали выращивать как культурное растение. Имеются сведения, что основатель империи Каролингов и «отец Европы», император Запада Карл Великий (742/747 или 748–814) в IX в. собственноручно выращивал петрушку, рис и отдельные фрукты, экзотичные для того времени в Европе. Особенно император ценил сыр со вкусом «каменного сельдерея».

К началу же эпохи Реформации, к середине XVI в., культурные сорта петрушки, как кудрявой, так и с плоским листом (итальянской) уже массово выращивались в Западной и Восточной Европе, в том числе и на наших землях. Но и тогда, и сейчас дело это трудное, хлопотное и, самое главное, долгое. Из-за высокой концентрации эфирных масел, препятствующих насыщению семян влагой, при посеве сухих семян появление всходов в среднем можно ожидать только через 3–4 недели. Из-за этого и говорили, что петрушка отправляется семь раз к дьяволу и возвращается обратно до того времени, как появятся первые всходы. А раз дело это хлопотное и долгое – ее может вырастить только нечистая сила. Потому-то еще в Древней Греции считалось, что попавшийся навстречу человек с корзиной этой зелени – к беде.

Но несмотря на все сложности с выращиванием и даже на имеющийся имидж «травы смерти», ценили ее и тогда, и сейчас за сладковато-пряный и терпкий вкус, пряный запах, а также за ее целебные свойства. Кроме того, она укрепляет

иммунную систему, улучшает здоровье костей и глаз, полезна для работы почек, сердца, мозга и пр., а отвары и масла на основе петрушки используют для ухода за кожей и волосами. В ее химический состав входят органические кислоты, флавоноиды, фитонциды, растительные волокна, эфирные масла, тиамин, рибофлавин, ниацин, фолиевая кислота и др.

Петрушка в литвинской, а затем и белорусской кухне занимала исторически, и занимает сейчас знаковое место и широко применяется как в свежем, так сушеном и засоленном виде. Листья свежей используются прежде всего для приготовления самых разнообразных салатов, в первую очередь зеленых, и других блюд из овощей. Классический рецепт: пучок петрушки, пучок укропа, пару стеблей сельдерея порезать, посолить, добавить растительного (лучше нерафинированного) масла, сбрызнуть уксусом, можно немного долить газированной воды, все перемешать.

Кроме того, петрушка была важным ингредиентом в качестве пикантного ароматизатора и украшения для различных супов, но прежде всего, для борща и крупника. В уже упомянутой книге «Літоўская гаспадыня» [14] рекомендовалось особым образом заготавливать на зиму петрушку для борща: «яе соляць або так, як шчаўе, або ў кадку, дзе квасяцца на зіму буракі, кладуць ачышчаныя і вымытыя пучкі. Пазней пятрушку сякуць і гатуюць у тым жа самым бурачным расоле, ад чаго яна вельмі смачная. Пятрушка не шкодзіць смаку буракоў. Некаторыя сушаць лісты ў цёплай печы, але боршч з такой пятрушкай будзе мець пах адвару з сена. Добра таксама квасіць яе, як і бурачную націну».

Эта зелень была настолько популярна, и столь широко использовалась на кухне, что существовали технологии не только заготовки ее на зиму, но и сохранения свежей весной и летом. Кроме того, листья петрушки, наряду с иными травами и корнями, были составным базовым компонентом для изготовления ароматизированного уксуса для заправки соусов, подаваемых к основному блюду или гарниру. Шли в дело не только стебли и листья растения, но и корень. Его применяли для маринования овощей, в первую очередь огурцов, добавляли в качестве базового компонента для приготовления бульонов, использовали как специю для блюд из мяса, рыбы и различных соусов.

Сельдэрэй, сельлерэй (бел.). Сельдерей пахучий (*Arium graveolens*). Двулетнее травянистое растение семейства Зонтичных. Как и два предыдущих – аборигенный вид для Средиземноморья, откуда он расселился по всей Европе, а затем и по миру, пересекши океаны и моря. Название происходит от древнегреческого σέλᾱς, что означает «сияющий, блестящий».

Растение известно по крайней мере со времен Гомера (VIII–VII вв. до н. э.). В «Одиссее» [15] нимфа острова Огигия Калипсо жила в гроте, где она восемь лет удерживала Одиссея, соблазняя его возможностями бессмертия и вечной юности. В Песне пятой читаем:

Если никто Одиссея не помнит в народе, которых

Он управлял и с которым был добр, как отец с сыновьями.

Много страданий терпя, на острове дальнем, в жилище

Нимфы Калипсо живет он. Она его держит насильно,

И невозможно ему в дорогую отчизну вернуться.

Всюду на мягких лужайках цвели сельдереи и фиалки.

А в «Илиаде» [16] лошади мирмидонцев паслись на полях с васильками и сельдереем. В Песне второй «Сон. Испытание. Беотия, или перечень кораблей»:

Также и кони, на битвы носившие сына Пелея. Но Ахиллес меж загнутых своих кораблей мореходных

Праздно лежал, на царя Агамемнона, сына Атрея,

Гнев продолжая питать; а народы у берега моря Тем забавлялись, что диски метали, и копья, и стрелы;

Лошади их у своих колесниц оставались без дела

И сельдереи, порожденный болотом, и клевер жевали.

А колесничная сбруя лежала, укрытая плотно, В ставках владык. Мирмидонцы, томясь по вождю удалому,

Вяло бродили по стану туда и сюда, не сражаясь.

Однако в гомеровские времена сельдереи использовались исключительно как декоративное и лекарственное растение. Так, листья его украшают капители коринфских колон Колизея, а «отец медицины» Гиппократ (ок. 460–370 гг. до н. э.) применял его как эффективное успокоительное средство. Кроме того, сельдереи славился как испытанный афродизиак. Говорят, что в состав любовного напитка, который выпили Тристан и Изольда, входил сок сельдерея.

Впервые использовать сельдереи в кулинарных целях стали в Италии лишь в XVI в. в эпоху позднего Возрождения, затем его культурные формы добрались до Франции и Англии, а дальше растение стали выращивать в других европейских

странах, а затем и по всему миру. Кроме того, сельдерей богат витаминами. Это и ретинол (витамин А), и аскорбиновая кислота (С), и филлохинон (К), и ниацин (РР), и витамины группы В. Также в состав входят лутеолин, клетчатка, эфирные масла и биофлавоноиды, содержится железо, калий, магний, фосфор, фолиевая кислота и органический натрий.

В отличие от петрушки, у сельдерея в пищу шли не только листья и корневая часть, но и стебли. А его семена включали в состав различных сложных приправ. То есть, все растение использовали целиком. Листья и стебель – для приготовления различных комбинаций зеленых салатов. Кроме того, стебли являлись незаменимым компонентом для базовой основы различных бульонов, а для приготовления языка их присутствие наряду с корнями петрушки даже не обсуждалось. Винченца Завадская в «Кухарке литовской» приводит рецепт сельдерейного супа. Для этого готовится обыкновенный бульон. Берется кусок масла и сильно разогревается, затем добавляется порядочная пригоршня листьев сельдерея, три ложки муки и все вместе обжаривается. Добавляется четыре стакана сметаны, немного лимонной или винной кислоты, затем заливается бульон и все некоторое время варится на медленном огне. Далее полученная основа пропускается через сито и еще раз доводится до кипения.

Сам же корнеплод до появления картофеля использовали так же, как и корневую часть пастернака, в измельченном виде добавляли в салаты, отправляли в холодильник, а высушенный – в качестве гарнира для различных супов. Любопытно, что в литвинской кухне в ходу было домашнее приготовление сухих мясных бульонов, в составе которых сельдерей был одним из главных ароматизаторов. Исходя из рецепта, приведенного в книге «Літоўская гаспадыня» [14], «тры пуды мяса, лепш не вельмі тлустага, сякуць на кавалкі, добра палощуць, дабаўляюць прыдатнае для пячэння мяса і лапаткі аднаго цяляці, чатырох качак, столькі ж зайцоў, пару індыкоў, шэсць курэй. Усё, акрамя ялавічыны, якую напалову на ражне ці ў печы на блясе, без солі. Дадаюць два вялікія пучкі добра прамытага парэю, трыццаць штук каранёў сельдэрэю, столькі ж пятрушкі, морквы і цыбулі, па чвэрці фунта англійскага перцу і гваздзікі.

Заліваюць вадой, вараць дзень і ноч на моцным агні, знімаючы пену. Вадку абавязкова падліваюць. Калі мяса настолькі выварыцца, што страціць смак і яго нават не захочуць есці сабакі, тады булён працэджваюць праз сіта, моцна выціскаюць мяса, зноў яго заліваюць вадой і некаторы час вараць. Пасля працэджваюць у той жа булён, зняўшы з яго тлущ, праз густое сіта, а потым праз сурвэтку. Працэджанае гатуюць некалькі

гадзін, збіраючы пену. Як булён пачне гусцець, усыпаюць адзін лот мускатных кветак, пару мускатных арэхаў, дробна патоўчаных, і вараць на вугалях ці на блясе, безупынна мяшаючы, каб не прыгарэў. Праз колькі часу разліваюць у формы ці талеркі, дзе булён застывае. Пасля яго вымаюць, сушаць на вольным паветры, а потым захоўваюць у халодным і сухім месцы, укруціўшы ў паперу. Хто не хоча ўжываць на сухі булён столькі птушак, няхай звярнуць яго на адным мясе. Булён застыне гэтак жа добра, але солі тады сыпаць нельга.

Некаторыя лічаць, што булён паракнее і вытыхаецца на паветры, таму кладуць яго ў гаршкі, папярэдне разрэзаўшы на кавалкі, і абвязваюць пузыром. Пры вызначанай прапорцыі лёга атрымаць булёну і больш, але ніколі не менш за чатырнаццаць фунтаў».

Ну и, наконец, сельдерей как приправа хорошо сочетается с мясными и овощными блюдами и птицей, но не с дичиной и рыбными яствами.

Кроп (бел.). Укроп пахучий, огородный (*Anethum graveolens* L.). Однолетнее травянистое огородное растение, родом из Средиземноморья, выращиваемое как пряность. Принцип его распространения по миру полностью стандартен: из Древнего Египта, через Древние Грецию и Рим, и далее он двигался в двух направлениях, через Альпы и в Византию. Потом и по всему миру. Считается, что происхождение названия связано с трансформированным римлянами греческого слова, означающего «пахучий».

Сначала его больше использовали как декоративное и лекарственное растение, так как укроп обладает антиоксидантным, бактерицидным, сосудорасширяющим, противовоспалительным, успокаивающим, отхаркивающим, спазмолитическим, желчегонным и мочегонным действием. Абу Али Хусейн ибн Абдуллах ибн аль-Хасан ибн Али ибн Сина (980–1037 гг.), более известный как Авиценна, после проведенных исследований в «Каноне врачебной науки» [17] отмечал отвар из укропа как эффективное и действенное средство для борьбы с икотой.

Считается, что широко кулинарному распространению укропа в Европе поспособствовал Карл Великий, велевший его выращивать во всех местах, в результате чего укроп постепенно стал одной из важнейших сельскохозяйственных культур в мире.

Исторически на землях нынешней Беларуси укроп использовался в кулинарии по стандартной и привычной всем схеме. И в качестве съедобной «націны», то есть огородной зелени, растущей наверху, и в качестве ароматизатора блюд. Во-первых, в свежем виде в составе различных салатов, как зеленых, так и с добавлением овощей. Во-вторых, как ароматическая добавка в супах (за пару минут до готовности) и отдельных видах

творожных или клинковых сыров, родину которых приписывают Беларуси как наследнице Великой Литвы. Технология их производства проста и незамысловата, а основу составляет «сыракваша», как исторически называли у нас, или же больше известная широкому кругу потребителей как кисломолочный продукт «простокваша». Ее нагревали в печи до образования довольно плотного сгустка и давали остыть. Затем сливали сыворотку, а сам сгусток отжимали руками и помещали в специально пошитый мешок (торбу) треугольной формы, который назывался «клінок», отсюда и второе название – клинковый сыр. Если хотели ароматизировать вкус и изменить цвет, добавляли мелконарезанный свежий укроп или тмин и пр. Затем клинок подвешивался до того времени, пока не переставала капать сыворотка, потом сгусток еще раз дополнительно отжимался руками и отправлялся под гнет между двумя досками. Через день-другой доставали и начинали натирать солью, повторяя несколько раз эту процедуру через полсуток. Несмотря на то, что по существу это был подвергнутый обработке и иным манипуляциям творог, его называли «сыр», отсюда и «сырники», несмотря на то, что они делаются из смеси творога, муки, яиц и сахара.

Третье направление – использование при приготовлении горячих блюд из всех видов мяса, морской и речной рыбы, овощей, грибов, особенно органично подходит к молодому вареному картофелю. Его добавляли и в тесто, и в соусы, и в подливки, и в маринады. Однако, несмотря на столь широкое его применение, в национальной литвинско-белорусской кухне есть по меньшей мере четыре блюда, в которых он абсолютно незаменим, является ключевым обязательным ингредиентом, и без него это будет все что угодно, но не то, что под ним подразумевается.

Пожалуй, начать нужно с холодника, традиционного супа, можно сказать символа белорусской кухни. Он был настолько знаковым, что Адам Мицкевич в поэме «Пан Тадэвуш» [9] три раза в тексте упоминает это блюдо, в книге 1 «Гаспадарка», книге 3 «Заляцанні» и книге 5 «Звада». Вариант из книги 1 звучит так:

Мужчыны выпілі гарэлкі, усе паселі
І моўчкі жвава халаднік літоўскі елі.

Холодник, как испанский, точнее андалусский, гаспачо, болгарский таратор, российская окрошка и др., относится к категории сезонных холодных супов. Первый из перечисленных исторически исполнялся в двух вариантах: красный, на свекле, который принято считать каноном, и белый – на щавеле. Дальше могли быть также два варианта: либо на простокваше или кефире, либо на свекольном отваре (а раньше на свекольном

квасе), но и тот и иной варианты предусматривали обязательную подачу со сметаной. Без нее никак. Впрочем, существует еще версия в виде микста свеклы и щавеля. Поэтому вариантов рецепта имеется множество. Но базовый вкус супа обеспечивается кислинкой свеклы или щавеля и характерной острой свежестью укропа.

В 1854 г. Винцента Завадская в «Кухарке литовской» [12] предложила вариант этого блюда: «растереть порядочную пригоршню укропа с солью, сварить рубленного щавеля, ботвиньи (надо полагать мангольда) или красной свеклы, охладить, положить немного гуши и часть подливы для кислоты, полгарнца сметаны (2,8 л / 2), смешать все это и по мере того, будет ли густо или кисло, разбавлять подливой или сметаной так, чтобы суп был бел и тягуч. Перед самой подачей положить несколько кусков льда, несколько яиц, сваренных вкрутую и изрезанных на четвертные части, пару мелко изрезанных огурцов, штук 6–10 раковых шеек или какой-нибудь большой вареной рыбы, а за неимением их – жареной телятины, изрезанной в мелкие продолговатые полоски.

Если есть кольраби или спаржа, можно прибавить кусочков ее, сваренных отдельно в воде и охлажденных».

Ну а в качестве варианта холодника, приготовленного на свекольном отваре, вполне подойдет рецепт, который был в ходу у жителей д. Котяги Михоновичского сельсовета Минского района. Он достаточно прост по сравнению с тем, что предложила Завадская, но тем не менее вкус супа вызывает уважение. Для его приготовления надо свеклу помыть, очистить от кожуры, снова помыть, отварить до готовности, охладить и нарезать кубиками. Затем на 20 минут залить соком лимона или лимонной кислотой. После истечения этого срока переложить промаринованные кубики свеклы в посудину с охлажденным отваром, добавить туда нарезанные кубиками свежие огурцы и нашинкованные укроп, зеленый лук и петрушку. Сваренное вкрутую яйцо, разрезанное на четыре части и сметану добавляют непосредственно в тарелку с холодником прямо перед подачей.

Вторым блюдом, которое немислимо представить без доброго пука укропа, является ботвинья, не менее знаковая, чем холодник. До такой степени, что наши западные соседи в XVII–XVIII вв. называли литвинов «ботвиняжниками», а еврейская фамилия Ботвинник, весьма вероятно, указывает на любителя этого кушанья. Традиционно блюдо существовало на землях Великого княжества Литовского в двух исполнениях: в качестве разновидности холодного супа и его горячего антипода. Сейчас что та, что другая ботвинья на наших современных землях практически забыта, а само название у большинства обывателей

ассоциируется практически исключительно с российской тезкой, хотя это абсолютно разные блюда.

Если речь идет о холодном варианте, то, по сути, это разновидность холодника, но приготовленного не на свекле обыкновенной, а на ее разновидности – мангольде, который специально выращивался на ботву, и в данном случае в ход идут в первую очередь стебли и листья, а небольшие корнеплоды имеют вторичное значение. Наиболее широко ботвинья использовалась в горячем исполнении, и в данном случае «націна» мангольда предварительно заквашивалась, хотя и существуют варианты недолгого маринования ее либо в уксусе, либо в лимонной кислоте. Далее готовился базовый костный бульон, в него отправлялась резанная картошка до готовности, а затем в качестве гарнира добавлялись остальные овощные компоненты, но прежде всего нашинкованные мангольд, укроп, зеленый лук и петрушка, в последнюю очередь шли в ход вареные яйца и сметана.

Третье блюдо, где укроп является обязательным и наипервейшим составным компонентом – соленые огурцы. Базовый рецепт их приготовления может быть таким. Плодов размером 10–12 см понадобится столько, чтобы ими очень плотно заполнить трехлитровую банку. Ее для удобства желательно взять с широким горлом, чтобы свободно входила рука, и с винтовой крышкой. Огурцы замочить в холодной воде на пару часов. После окончания этой процедуры банку следует тщательно простерилизовать вместе с крышкой. Для приготовления рассола потребуется 1,5 л воды, 1,5 столовой ложки с добрым верхом крупной соли, по 5–6 штук листиков вишни, черной смородины и дуба, пару хороших лопухов хрена, 3–4 крупных ветки укропа, столько же веток петрушки. Очистить 6–8 зубчиков чеснока, да и стебель чесноковый ничего не испортит, если есть под рукой. Все тщательно вымыть. После окончания замачивания огурцов их также следует помыть. Потом в стерилизованную банку закладываем третью часть того, что было собрано для маринада, а потом вертикально ставим огурцы как можно более плотно друг к другу. Если одинакового размера плоды добыть не удалось, то сначала закладываем наиболее крупные экземпляры, а за ними, что помельче. Затем опять траву и зелень, потом плотно огурцы, а сверху остатки зеленой массы. В кипящие полтора литра воды отправляем соль, тщательно размешиваем, и заливаем соленый кипятком в банку с огурцами. Важно помнить, что через некоторое время начнется процесс брожения, поэтому необходимо доливать банку не до конца, а остановиться где-то в 5–6 см от ее горловины. Плотно завинчиваем посудину, даем остыть и оставляем в холодном месте до готовности.

Ну и наконец, четвертое кулинарное изделие, которое не приготовить без укропа, – это раки. Просто сваренные в соленой воде с обязательным добавлением веток укропа, они представляют собой восхитительное отдельное блюдо. Но кроме того, раковые шейки добавлялись в холодники и пр. Отдельным номером в меню стоял раковый суп. Его отлично знали французская и немецкая кухни, не брезговала, особенно в великопостные дни, русская. Он являлся традиционным и в исторической литвинской кухне, а в нынешние времена, к сожалению, практически полностью забыт.

Винцента Завадская в «Кухарке литовской» [12] отмечала, что раковый суп подавался как в постные, так и в скоромные дни. В первом случае для разбавления его употреблялся бульон, приготовленный из говядины или курицы, а во втором – навар различных кореньев. Далее «штук 50–60 раков сварить в рассоленной воде с укропом. Когда остынут, вынуть шейки и приготовить столько скорлуп, сколько необходимо для их начинки. Остальные скорлупы и ножки выполоскать и истолочь в ступе, прибавить порядочную ложку сливочного масла и опять толочь все вместе. Поставить на медленном огне в кастрюле, чтобы содержимое в ней медленно варилось. Когда масло получит красный раковый оттенок, поджарить, продавить его сквозь салфетку, смешать со стаканом муки и опять поджарить, разбавить вышеупомянутым бульоном, прибавить много сметаны и все это вскипятить перед выдачею к столу. В миске уже должны быть приготовлены раковые шейки, несколько изрезанных в кружки лимонов, немного зеленого укропа, а главное всего фаршированные раковой начинкой скорлупки, которые готовятся следующим образом. Нарубить сваренные раковые шейки, смешать с порядочной ложкой сливочного масла, несколькими толчеными сухарями, изрубленной зеленью петрушки, укропом и одним сырым яйцом. Когда масса окажется довольно густой, начинить ей скорлупки, которые затем необходимо отдельно сварить в бульоне или воде и до выдачи сложить в миску».

Еще один наш исторический способ использования этих членистоногих в кулинарных целях – создание ракового масла, совсем позабытая субстанция, которая шла в качестве заправки для супов и соусов. Винцента Завадская [12] рекомендует поступать следующим образом: «Абмытых ракаў кідаюць у вар, добра пасолены і прыпраўлены кропам. Калі яны адзін раз закіпяць, здымаюць пасудзіну з агню і трымаюць некаторы час накрытай. Затым ваду зліваюць, а ракаў выкладваюць на стол, каб хутчэй астывілі. Пасля аддзяляюць шкарлупкі, таўкуць іх дробна ў ступцы, прасейваюць праз сіта і на дзве кварталы гэтага парашку бяруць квартал масла. Усё зноў

таўкуць, потым ставяць у каструльцы на слабы агонь. Сумесь мяшаюць, а як пачне падсмажвацца і набудзе ракавы колер, працэджваюць праз палатно. Калі масла стане гусцець, зліваюць у гліняныя ці шкляныя слоікі, пасыпаюць зверху соллю, завязваюць пузырамі і выносяць на лёд. Аднак такое масла доўга не захоўваецца. Скарыстоўваюць яго для запраўкі супоў і соусаў.

Ракавыя шыйкі некаторы час трымаюць у слоіках, заліўшы ракавым маслам. Папярэдне іх добра выціскаюць у сурвэтцы ад усялякай вільгаці. Альбо сушаць у печы, а перад ужываннем некалькі гадзін мочаць у вадзе.

Каляндра (бел.). Кориандр посевной, или кориандр овощной, кинза (*Coriandrum sativum*). Однолетнее травянистое растение, используется в кулинарии как пряность, кроме того является хорошим медоносом. Нередко этимологию слова выводят от древнегреческого *κόρις*, то есть «клоп», из-за того, что растение имеет специфический «аромат», напоминающий запах этого насекомого. Зелень же его обычно именуют кинзой.

Родиной кориандра является Средиземноморье, а само растение известно человечеству с незапамятных времен. Так, в Ветхом Завете в книге Исход [18], Глава 16, стих 31 указывается: «И нареку дом Израилев хлебу тому имя: манна; она была, как кориандровое семя, белая, вкусом же как лепешка с медом». Если буквально следовать тексту Библии, то отталкиваться можно от времени начала строительства храма Соломона. В 3 книге Царств, Главе 6, стихе 1 отмечено: «В четырёхстах восьмидесятом году по исшествии сынов Израилевых из земли Египетской, в четвёртый год царствования Соломона над Израилем, в месяц Зиф, который есть второй месяц, начал он строить храм Господу». Значит, если исход случился в 1446 г. до н. э. (в апреле), то кориандр использовался в кулинарных целях как минимум с середины XV в. до н. э.

На территории нынешней Европы растение проникло по старой привычной схеме: Древний Египет – Римская империя – Европа. Римское завоевание своих самых северных территорий в Британии приходится на 43–84 гг., значит тогдашние жители континента не позднее начала I в. оценили вкусовые и ароматические качества кориандра. А с началом Нового времени (1492 г.) к дегустациям постепенно присоединился и остальной мир.

Растение имеет богатый химический состав. В листьях содержатся клетчатка, антиоксидантные ферменты и антибактериальные вещества, кроме того, магний, железо и витамины А, бета-и альфа-каротины, Е, К, С, россыпь витаминов группы В. Семена содержат эфирные и жирные масла, кислоты, витамины, минералы и пр. Кроме того, характерный «клоповый» запах незрелых

плодов обеспечивает наличие в них альдегида транс-трицеденола-2. К тому же следует отметить, что кинза, как и сельдерей, считается хорошим афродизиаком.

В литвинско-белорусской кулинарной традиции кориандр в первую очередь использовался в процессе соления и копчения свинины, гусятин и говядины, а также различных колбас. Начинаясь эта пора во время массового забоя животных или птицы. Как правило, гусей били на день св. Мартина (11 ноября), а свиной – к Рождеству. Традиционным было при солении использовать соль, кориандр, майоран, базилик, лавровый лист и английский (душистый) перец. При изготовлении колбас – еще и чеснок, и черный перец. Затем все специи мелко размалывали, а кориандр лишь слегка разминали, чтобы лучше раскрылся его своеобразный вкус и аромат. Далее соль смешивали с приправами, обильно натирали мясо и дожидались его полного остывания. Затем его слоями очень плотно складывали в небольшие дубовые бочонки, пересыпая каждый слой солевой-пряной смесью, закрывали плотно крышкой, прижимали дополнительно камнем и ставили в довольно теплое место на несколько дней, для того чтобы мясо как следует просолилось. После этого крышку бочонка забивали, а саму посудину тщательно осмаливали, чтобы предотвратить в нее доступ воздуха, и ставили до марта в достаточно холодное, но не морозное место, пару раз в неделю переворачивали для равномерного просаливания. С наступлением весны бочонки вскрывались, а мясные изделия развешивали в тенистом и хорошо проветриваемом месте для их просыхания. Те, которые затем должны использоваться в сыровяленном виде, досушивали до необходимой кондиции, а те, которые планировалось коптить, после просушки сначала на чуть теплом дыму с довольно частыми перерывами подкуривали, а через 3–4 дня уже начинали основательно коптить до обретения искомого результата. Таким образом готовились колбаски, языки, ребрышки, окорока (кумпякі), шинки. А из гусятин – «паўгузкі, альбо палаткі».

Ну и кроме того, кориандр использовался в традиционных целях: зелень шла в салаты, как приправа к супам и мясным яствам, а семена – как пряность для ароматизации различных маринадов для мяса и рыбы, кулинарных изделий и пр.

Следует отметить, что в представленной части произведена попытка описать варианты использования наиболее часто употреблявшихся специй и пряностей в национальной литвинско-белорусской кухне. Но это далеко не полный перечень. Следовательно, тема требует продолжения исследований.

Вывод. Таким образом, можно констатировать, что национальная кухня представляет

собой устойчивую индикаторную единицу, лежащую в основе не только формирования национального мифа, но и туристического брендинга территории, на которой последний должен базироваться, так как повседневная поведенческая регулярно тиражируемая привычка в том числе формирует ментальную самобытность понимания исторического развития территории. Особенности гастрономической культуры, кулинарные навыки и предпочтения, присущие той или иной территории, и есть тот «репер», который свидетельствует о характере этой самобытности. Соответственно, сравнение собственных традиций питания и базовых рецептов блюд с подобными же, но

характерными для иных культур, позволяет, и определять, и настаивать на этой самобытности. Кроме того, во многом именно традиции, характер и состав используемых приправ и специй свидетельствует о степени разработанности и развития национальной или местной кухни.

Таким образом, можно констатировать, что традиции питания и характер использования специй в кулинарных традициях белорусов как наследников литвинов имеют гораздо более разработанную историю, нежели представляется в настоящее время, и, кроме того, располагают многочисленными многовековыми сведениями, позволяющими формировать национальный миф.

Список литературы

1. Бессараб Д. А. Возможность использования национальных кулинарных традиций как существенного условия эффективного продвижения туристической дестинации // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 132–140.
2. Об утверждении государственной программы «Беларусь гостеприимная» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Республики Беларусь, 29 янв. 2021 г., № 58 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. Минск, 2020. URL: <http://www.pravo.by/document> (дата обращения: 09.09.2024).
3. Вавилов Н. И. Центры происхождения культурных растений. Л.: Тип. им. Гутенберга, 1926. 248 с.
4. Капатти Альберто, Монтанари Массимо. Итальянская кухня. История одной культуры. М.: Новое литературное обозрение, 2006. 480 с.
5. Мальдзіс Адам. Беларусь у лютэрку мемуарнай літаратуры XVIII стагоддзя. Нарысы быту і звычак. Мінск: Маст. літ., 1982. 256 с.
6. Гусоўскі Мікола. Песня пра зубра. Мінск: Маст. літ., 2006. 71 с.
7. Похлебкин В. В. Национальные кухни наших народов. М.: Центрполиграф, 2004. 329 с.
8. Лемнис Мария, Витри Генрих. В старопольской кухне и за польским столом // Электронная библиотека RoyalLib.com. URL: https://royallib.com/book/lemnis_mariya/v_staropolskoy_kuhne_i_za_polskim_stolom.html (дата обращения: 30.10.2024).
9. Міцкевіч Адам. Пан Тадэвуш, або Апошні наезд ў Літве. Мінск: Беларусь, 2018. 383 с.
10. Ганецкая І. У. Харчаванне ў беларускіх замках XVI–XVIII ст. // Беларускі гістарычны агляд 2012. Т. 19. Сш. 1–2. С. 67–91.
11. Латинско-русский словарь. URL: <https://la-rus-dict.slovaronline.com> (дата обращения: 30.10.2024).
12. Литовская кухарка: первая белорусская кулинарная книга. Минск: Харвест, 2013. 414 с.
13. Czerniecki Stanisław. Compendium ferculorum albo Zebranie potraw. Warszawa: Grafika, 2012. 95 p. Photo-offset reprint of the 1682 edition.
14. Літоўская гаспадыня, ці Навука аб утрыманні ў добрым стане хаты... Мінск: Полымя, 1993. 366 с.
15. Гомер. Одиссея. М.: Худож. лит., 1981. 408 с.
16. Гомер. Илиада. М.: Просвещение, 1987. 398 с.
17. Канон врачебной науки. Минск: Попурри, 2000. 448 с.
18. Ветхий Завет. Книга Исход. Глава 16, стих 31 // Экзегетъ. Библия и толкования. URL: <https://ekzeget.ru/bible/ishod/glava-16/stih-31/#:~:text=> (дата обращения: 30.10.2024).

References

1. Bessarab D. A. The possibility of using national culinary traditions as an essential condition for the effective promotion of a tourist destination. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (282), pp. 132–140 (In Russian).
2. On the approval of the state program “Belarus hospitable” for 2021–2025: Resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, January 29, 2021, no. 58. Available at: <http://www.pravo.by/document> (accessed 09.09.2024) (In Russian).
3. Vavilov N. I. *Tsentry proiskhozhdeniya kul'turnykh rasteniy* [Centers of origin of cultivated plants]. Leningrad, Tipografiya imeni Gutenberga Publ., 1926. 248 p. (In Russian).
4. Capatti Alberto, Montanari Massimo. *Ital'yanskaya kukhnya. Istoriya odnoy kul'tury* [Italian cuisine. History of one culture]. Moscow, Novoye literaturnoye obozreniye Publ., 2006. 480 p. (In Russian).

5. Maldis Adam. *Belarus' u lyusterku memuarnay litaratury XVIII stagoddzya. Narysy bytu i zvychayau*. [Belarus in the mirror of memoir literature of the 18th century. Essays on everyday life and customs]. Minsk, Mastatskaya litaratura Publ., 1982. 256 p. (In Belarus).
6. Gusovsky Mykola. *Pesnya pra zubra* [A song about a bison]. Minsk: Mastatskaya litaratura Publ., 2006. 71 p. (In Belarus).
7. Pokhlebkina V. V. *Natsional'nyye kukhni nashikh narodov* [National cuisines of our peoples]. Moscow, Tsentrpoligraf Publ., 2004. 329 p. (In Russian).
8. Lemnis Maria, Vitry Heinrich. In the old Polish kitchen and at the Polish table. Available at: https://royallib.com/book/lemnis_mariya/v_staropolskoy_kuhne_i_za_polskim_stolom.html (accessed 30.10.2024) (In Russian).
9. Mickiewicz Adam. *Pan Tadevush, abo Aposhni nayežd u Litve* [Pan Tadevush, or The Last Raid in Lithuania]. Minsk, Belarus Publ., 2018. 383 p. (In Belarus).
10. Hanetskaya I. U. Meals in Belarusian castles of the XVI–XVIII centuries. *Belaruski gistarychny aglyad* [Belarusian historical review], 2012, vol. 19, pp. 67–91 (In Belarus).
11. Latin-Russian dictionary. Available at: <https://la-rus-dict.slovaronline.com> (accessed 10.30.2024) (In Russian).
12. *Litovskaya kukharka: pervaya belorusskaya kulinarnaya kniga* [Lithuanian cook: the first Belarusian cookbook]. Minsk, Harvest Publ., 2013. 414 p. (In Russian).
13. Czerniecki Stanisław. *Compendium ferculorum albo Zebranie potraw*. Warszawa, Grafika Publ., 2012. 95 p. Photo-offset reprint of the 1682 edition.
14. *Litouskaya gaspadynya, tsi Navuka ab utrymanni u dobrym stane khaty...* [The Lithuanian housewife, or the Science of keeping the house in good condition...]. Minsk, Polymya Publ., 1993. 366 p. (In Belarus).
15. Homer. *Odisseya* [Odyssey]. Moscow, Khudozhestvennaya literatura Publ., 1981, 408 p. (In Russian).
16. Homer. *Iliada* [Iliad]. Moscow, Prosveshcheniye Publ., 1987. 398 p. (In Russian).
17. *Kanon vrachebnoy nauki* [Canon of medical science]. Minsk, Popurri Publ., 2000. 448 p. (In Russian).
18. Old Testament. Book of Exodus. Chapter 16, verse 31. Available at: <https://ekzeget.ru/bible/ishod/glava-16/stih-31/#:~:text=> (accessed 30.10.2024) (In Russian).

Информация об авторе

Бессараб Дмитрий Александрович – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dibess1@yandex.ru

Information about the author

Bessarab Dmitry Aleksandrovich – PhD (Geographical), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Tourism, Nature Management and Hunting. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dibess1@yandex.ru

Поступила 28.02.2025

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

УДК 674.914:674.338

С. А. Гриневич¹, А. Ф. Аникеенко¹, А. Ю. Тишевич²

¹Белорусский государственный технологический университет

²ООО «Спецтехномаркет»

ДВИЖЕНИЕ ЗАГОТОВКИ В ЗАХВАТАХ КОГТЕВОЙ ЗАВЕСЫ

Данная публикация посвящена изучению вопросов эффективности действия завес из предохранительных упоров. Эти механизмы широко применяются в конструкциях деревообрабатывающего оборудования. Их основным назначением является захват обрабатываемого материала при его обратном выбросе. Наиболее актуально применение завес из предохранительных упоров в круглопильных станках для продольной распиловки древесины, так как сочетание высоких скоростей обработки и встречного направления резания существенно увеличивают риск обратного выброса материала или его частей и травмирования обслуживающего персонала.

Оценка эффективности работы завес из предохранительных упоров может быть проведена на основе анализа уравнения движения заготовки, перемещающейся при срабатывании устройства. Такое уравнение составлено с учетом сил, действующих на заготовку, а также параметров самих упоров. При этом авторами приняты некоторые допущения, связанные с недостаточной изученностью вопросов внедрения затупленного клина в древесину при его плоскопараллельном движении. По результатам решения уравнения построены графические зависимости перемещения заготовки в захватах, ее скорости, а также угла поворота упоров в зависимости от времени начала внедрения предохранительных упоров в древесину. Варьируя исходные параметры, можно оценить время останова заготовки и угол поворота упоров.

Ключевые слова: когтевая завеса, заготовка, выброс, движение, уравнение, анализ.

Для цитирования: Гриневич С. А., Аникеенко А. Ф., Тишевич А. Ю. Движение заготовки в захватах когтевой завесы // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 168–174.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-17.

S. A. Grinevich¹, A. F. Anikeenko¹, A. Yu. Tishevich²

¹Belarusian State Technological University

²Spetstekhnomarket Ltd.

WORKPIECE MOVEMENT IN THE ANTI-KICKBACK FINGERS CATCH

The work is devoted to the study of the effectiveness of anti-kickback fingers curtains. These mechanisms are widely used in the construction of woodworking equipment. Their main purpose is to capture the processed material when it is kickbacked. The most relevant is the usage of anti-kickback fingers in circular sawing machines for longitudinal sawing of wood, because of the combination of high processing speeds and cutting against the feed significantly increases the risk of reverse ejection of the material or its parts and injury to maintenance personnel.

Evaluation of the effectiveness of anti-kickback fingers curtains can be carried out based on the analysis of the equation of the workpiece moving when the device is activated. This equation was compiled taking into account the forces acting on the workpiece, as well as the parameters of the anti-kickback fingers themselves. At the same time, the authors made some assumptions related to the lack

of study of the issues of embedding a blunted wedge in the wood during its plane-parallel movement. Based on the results of solving the equation, graphical dependences of the movement of the workpiece in the catch, its speed, and the angle of rotation of the anti-kickback fingers are constructed depending on the time from the beginning of the intrusion of anti-kickback fingers into the wood. By varying the initial parameters, it is possible to estimate the time of the workpiece stop and the angle of rotation of the anti-kickback fingers.

Keywords: anti-kickback fingers, workpiece, kickback, movement, equation, analysis.

For citation: Grinevich S. A., Anikeenko A. F., Tishevich A. Yu. Workpiece movement in the anti-kickback fingers catch. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 168–174 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-17.

Введение. Механическая обработка является неотъемлемой частью технологических процессов производства изделий из древесины и древесных материалов. Однако эксплуатация деревообрабатывающего оборудования сопряжена с риском для жизни и здоровья работающих. Особенно это относится к круглопильным станкам для продольной распиловки с ручной загрузкой, где возможность получения травмы и ее тяжесть наиболее высоки.

Высокая скорость резания и встречное направление вращения дисковых пил могут явиться причиной выброса обрабатываемой заготовки или ее фрагментов в сторону загрузки [1–4] и травмирования обслуживающего персонала.

Согласно Трудовому кодексу Республики Беларусь [5], наниматель обязан «принимать необходимые меры, обеспечивающие сохранение жизни, здоровья и работоспособности работников в процессе трудовой деятельности». А в соответствии с постановлением [6] «при организации выполнения работ, связанных с обработкой древесины и производством изделий из дерева, работодатель обязан обеспечивать безопасность при эксплуатации деревообрабатывающего и иного производственного оборудования». Таким образом, наниматель должен не только проводить мероприятия организационного характера по охране труда, но и обеспечивать работающих безопасными средствами производства, в том числе это касается деревообрабатывающего оборудования. Поэтому дереворежущие станки, находящиеся в эксплуатирующей организации, должны обеспечивать безопасные условия труда, а риск травмирования при соблюдении требований и правил безопасной эксплуатации должен быть исключен. Причем наличие декларации ЕАЭС о соответствии оборудования ТР ТС 010/2011 «О безопасности машин и оборудования» [7], не освобождает нанимателя от соблюдения требований вышеуказанных ТНПА. Для исключения возможного вылета заготовки или ее частей в сторону загрузки круглопильные станки для продольной распиловки снабжаются завесами из противовыбрасывающих упоров разных конструкций [8]. Основные требования к их конструкции даны в

ГОСТ 12.2.026.0–93 «Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции» [9] и СТБ ЕН 1870-4–2006 «Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные» [10]. Также некоторые вопросы работоспособности когтевых завес были рассмотрены в работах [1, 4].

Следует отметить, что захват выброшенной заготовки не является гарантией безопасности. Имеется риск, что упоры, внедряясь в древесину, провернутся в сторону, противоположную подаче, и заготовка вылетит. Поэтому к когтевым завесам предъявляются дополнительные требования. Так, согласно требованиям [9], упоры когтевых завес не должны проворачиваться в направлении, обратном направлению подачи материала, а в источнике [10] указывается требование устанавливать механический упор, который ограничивает величину поворота упора свыше 85° .

Целью данной публикации является анализ движения заготовки при срабатывании предохранительных упоров для оценки их эффективности.

Основная часть. Рассмотрим движение заготовки, захваченной упорами когтевой завесы (рис. 1). Пусть при некотором угле α_0 происходит захват заготовки, т. е. начинается внедрение предохранительного упора длиной l в древесину.

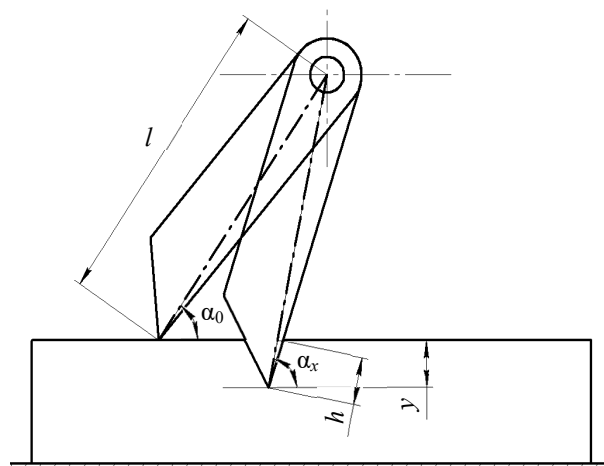


Рис. 1. Схема поворота упора

По мере движения заготовки происходит поворот упора и его дальнейшее внедрение в материал. При перемещении заготовки на некоторую величину x угол поворота упора станет α_x , а глубина его внедрения – h . Согласно [10], угол $\alpha = 55\text{--}85^\circ$. Очевидно, что координаты острия предохранительного упора могут быть выражены через угол его поворота:

$$x = l \cdot (\cos(\alpha_0) - \cos(\alpha_x)); \quad (1)$$

$$y = l \cdot (\sin(\alpha_x) - \sin(\alpha_0)). \quad (2)$$

Глубина внедрения упора в древесину

$$h = \frac{y}{\sin(\alpha_x)} \quad (3)$$

или с учетом уравнения (2)

$$h = \frac{l \cdot (\sin(\alpha_x) - \sin(\alpha_0))}{\sin(\alpha_x)}. \quad (4)$$

Рассмотрим силы, действующие на заготовку при ее захвате упорами (рис. 2).

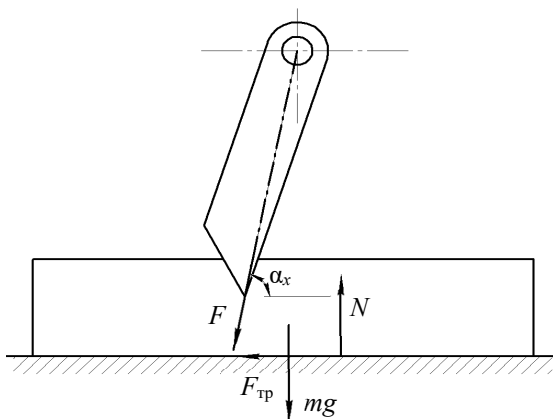


Рис. 2. Схема сил, действующих на заготовку

По мере поворота предохранительный упор будет все глубже внедряться в заготовку, воздействуя на нее силой F .

Вертикальная составляющая силы F , соответственно, будет возрастать и совместно с весом заготовки mg будет прижимать последнюю к базировочной поверхности.

Со стороны базировочной поверхности на заготовку будет действовать нормальная реакция N и сила трения $F_{тр}$. Горизонтальная составляющая силы F совместно с силой трения $F_{тр}$ будет препятствовать движению заготовки. Причем данная составляющая по мере поворота предохранительного упора будет уменьшаться.

Запишем уравнение движения заготовки при внедрении в нее предохранительного упора:

$$m \cdot \ddot{x} + F_{тр} + F \cdot \cos(\alpha_x) = 0, \quad (5)$$

где m – масса заготовки, кг.

По данным ряда исследователей [11–14], зависимость усилия внедрения клина в древесину от глубины внедрения близка к линейной. Однако процесс внедрения клиновой части предохранительного упора в материал имеет свои особенности. Во-первых, радиус округления режущей кромки клина режущего элемента в десятки раз меньше радиуса округления кромки клина предохранительного упора. Во-вторых, предохранительный упор относительно материала совершает сложное плоскопараллельное движение, состоящее из двух простых движений: внедрения и поворота. При внедрении обе торцевые поверхности, образующие клин, сминают древесину. При повороте же правая торцевая поверхность упора (рис. 2) освобождает смятую ею древесину, а левая – наоборот, еще более сминает оказавшийся под ней материал. Деформацию оси когтевой завесы [15, 16] и самого предохранительного упора можно считать линейно зависящей от приложенного усилия.

Введем допущения:

1) несмотря на указанные особенности взаимодействия предохранительного упора и материала, будем считать силу F линейно зависящей от глубины внедрения упора в древесину;

2) жесткость системы заготовка – предохранительный упор – ось в пределах рассматриваемых значений угла поворота является постоянной;

3) податливость системы предохранительный упор – ось пренебрежительно мала.

Тогда можно записать

$$F = c \cdot h, \quad (6)$$

где c – жесткость контакта заготовка – упор, Н/м.

С учетом полученного ранее выражения (4) можно записать

$$F = c \cdot \frac{l \cdot (\sin(\alpha_x) - \sin(\alpha_0))}{\sin(\alpha_x)} \quad (7)$$

или

$$F = c \cdot l \cdot \left(1 - \frac{\sin(\alpha_0)}{\sin(\alpha_x)} \right). \quad (8)$$

Сила трения скольжения заготовки по базировочной поверхности

$$F_{тр} = N \cdot f, \quad (9)$$

где f – коэффициент трения древесины по металлической базировочной поверхности.

Записав сумму проекций сил на вертикальную ось, получим

$$N = m \cdot g + F \cdot \sin(\alpha_x). \quad (10)$$

Тогда

$$F_{тр} = (m \cdot g + F \cdot \sin(\alpha_x)) \cdot f. \quad (11)$$

Перепишем уравнение движения заготовки (5) с учетом выражения (11).

$$m \cdot \ddot{x} + (m \cdot g + F \cdot \sin(\alpha_x)) \cdot f + F \cdot \cos(\alpha_x) = 0 \quad (12)$$

или

$$\ddot{x} + \frac{F}{m} (f \cdot \sin(\alpha_x) + \cos(\alpha_x)) = -g \cdot f. \quad (13)$$

Преобразовав уравнение (13) с учетом (8), окончательно получим

$$\ddot{x} + \frac{c}{m} \cdot l \cdot \left(1 - \frac{\sin(\alpha_0)}{\sin(\alpha_x)} \right) \times \\ \times (f \cdot \sin(\alpha_x) + \cos(\alpha_x)) = -g \cdot f. \quad (14)$$

Для решения полученного дифференциального уравнения был использован математический пакет MathCad. В результате решения для произвольно взятых начальных условий (масса заготовки $m = 5$ кг; жесткость системы заготовка – упор $c = 5 \cdot 10^4$ Н/м; коэффициент трения сталь – древесина $f = 0,4$; длина упора $l = 0,2$ м; начальный угол внедрения упора $\alpha_0 = 55^\circ$; скорость вылетающей заготовки $V = 60$ м/с) получены ниже следующие графические зависимости.

На рис. 3 представлена зависимость скорости движения заготовки от времени.

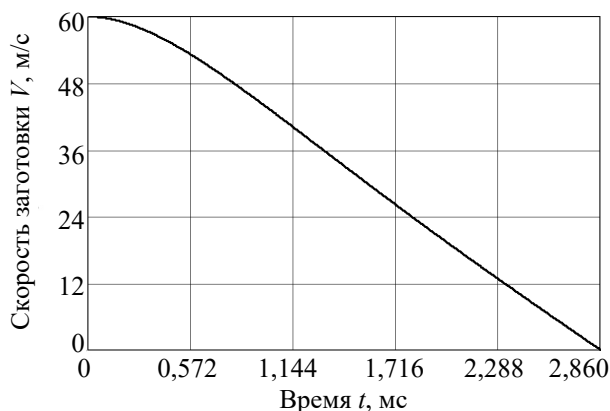


Рис. 3. График изменения скорости движения заготовки во времени

Как следует из графика, при заданных начальных условиях скорость заготовки упадет от 60 до 0 м/с за 2,86 мс. Зависимость скорости от времени имеет сложный характер. В первые моменты времени ($t < 0,60$ мс) скорость уменьшается незначительно по криволинейной зависимости, а затем – падает до нуля по зависимости, близкой к линейной, т. е. ускорение в этом периоде можно считать отрицательной постоянной.

На рис. 4 представлена зависимость перемещения заготовки от времени. В качестве начала координат принята точка начала внедрения упора в древесину, т. е. $x(0) = 0$.

Как следует из графика, до момента полной остановки заготовка переместится в захватах когтевой завесы на 97 мм. С каждым последующим промежутком времени приращение перемещения уменьшается, а при $t > 0,60$ мс зависимость становится практически параболической.

На рис. 5 представлен график угла поворота упора когтевой завесы от времени.

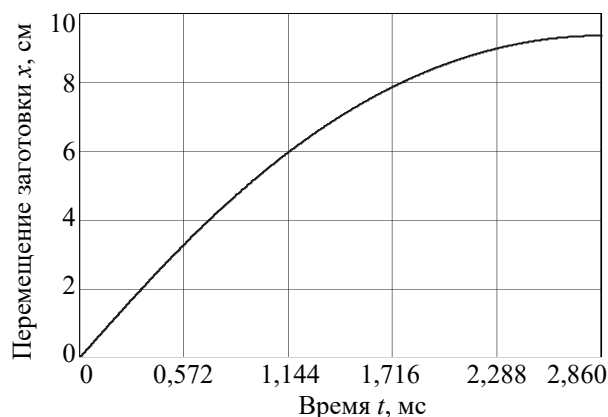


Рис. 4. График перемещения заготовки во времени

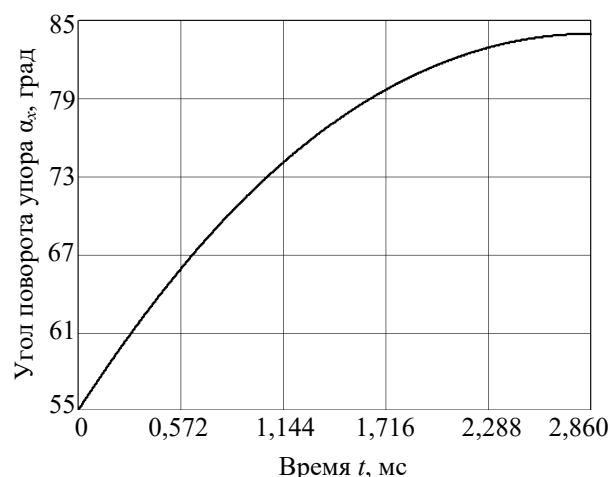


Рис. 5. Изменение угла поворота упора во времени

Из полученного графика следует, что до момента полной остановки заготовки предохранительный упор повернется на угол от 55 до 84°.

Заключение. В результате проведенных научных исследований получено уравнение движения заготовки, захваченной предохранительными упорами когтевой завесы. Установленные зависимости позволяют оценить время остановки материала, характер изменения скорости его движения, величину перемещения при срабатывании предохранительных упоров, а также угол их поворота.

Определено, что торможение заготовки носит сложный характер, т. е. в начале движения

скорость падает по криволинейной зависимости, а затем – линейно. В приведенном примере время торможения составило 2,86 мс, причем за первые 0,60 мс скорость упала примерно на 16%.

Кроме того, полученное уравнение позволяет оценить время торможения выброшенной заготовки в зависимости от ее массы, начальной скорости, а также длины предохранительных упоров когтевой завесы

Список литературы

1. Гриневич С. А., Гришкевич А. А., Волкович Д. С. К вопросу обеспечения безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 2. С. 325–329.
2. Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Расчет скорости обратного выброса заготовки // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 85-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 153–154.
3. Вихренко В. С., Гриневич С. А. Энергетические характеристики материала при его выбросе дереворежущим оборудованием // Новые технологии высшей школы. Наука, техника, педагогика: материалы всерос. науч.-практ. конф., Москва, 26 марта 2021 г. М., 2021. С. 136–139.
4. Гришкевич А. А., Гриневич С. А., Гаранин В. Н. К вопросу обеспечения безопасности при эксплуатации круглопильного оборудования // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы докл. 84-й науч.-техн. конф., посвящ. 90-летию юбилею БГТУ и Дню белорусской науки (с междунар. участием), Минск, 3–14 февр. 2020 г. Минск, 2020. С. 152–153.
5. Трудовой кодекс Республики Беларусь: Закон Респ. Беларусь, 26.07.1999, № 296-З: в ред. от 08.07.2024, № 25-З // Нац. правовой интернет-портал. URL: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk9900296> (дата обращения: 19.02.2025).
6. Правила по охране труда при ведении лесного хозяйства, обработке древесины и производстве изделий из дерева: постановление М-ва труда и соц. защиты Респ. Беларусь и М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 30.03.2020, № 32/5. URL: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_1590181200.pdf (дата обращения: 20.02.2025).
7. О безопасности машин и оборудования: TP TC 010/2011 // Евраз. экон. комис. URL: https://eesc.eaeunion.org/upload/medialibrary/536/P_823_1.pdf (дата обращения: 20.02.2025).
8. Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Обзор конструкций когтевых завес современных круглопильных деревообрабатывающих станков // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием). Минск, 1–13 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 135–138.
9. Оборудование деревообрабатывающее. Требования безопасности к конструкции: ГОСТ 12.2.026.0–1993. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 1996. 46 с.
10. Безопасность деревообрабатывающих станков. Станки круглопильные. Часть 4. Станки многополотные для продольной резки с ручной загрузкой и/или выгрузкой: СТБ ЕН 1870-4–2006. Минск: Гос. ком. по стандартизации Респ. Беларусь, 2006. 36 с.
11. Коршунов А. И. Исследование процесса резания древесины различными инструментами перпендикулярно к направлению волокон: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00. Л., 1955. 20 с.
12. Кононенко В. Г., Антсон А. А. Исследование инструмента для высокоскоростного силового безопиловочного резания древесины // Труды ЦНИИМЭ. 1969. Вып. 101. С. 3–11.
13. Курапцев Н. Ф. Теоретические и экспериментальные исследования работы режущих органов бесстружечного резания древесины: дис. ... канд. техн. наук: 05.00.00. М., 1971. 158 л.
14. Овчинников В. В. Оборудование бесстружечной разделки лесоматериалов. М.: Лесная пром-сть, 1990. 224 с.
15. Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Расчет жесткости осей когтевых завес // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 345–349.
16. Новоселов В. Г., Гриневич С. А., Гришкевич А. А. Пути повышения жесткости завес предохранительных упоров в круглопильных станках // Деревообработка: технологии, оборудование, менеджмент XXI века: материалы XVI Междунар. евраз. симпоз. Екатеринбург, 21–24 сент. 2021 г. Екатеринбург, 2021. С. 34–37.

References

1. Grinevich S. A., Grishkevich A. A., Volkovich D. S. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 2, pp. 325–329 (In Russian).

2. Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Calculation of the speed of the reverse ejection of the workpiece. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest Engineering, Materials Science and Design: materials of 85th scientific and technical conference of faculty, researches and postgraduate students with international participation (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 153–154 (In Russian).
3. Vihrenko V. S., Grinevich S. A. Energy characteristics of the material when ejected by wood-cutting equipment. *Novyye tekhnologii vysshey shkoly. Nauka, tekhnika, pedagogika: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [New technologies of higher education. Science, technology, pedagogy: materials of the all-Russian scientific and practical conference]. Moscow, 2021, pp. 136–139 (In Russian).
4. Grishkevich A. A., Grinevich S. A., Garanin V. N. On the issue of ensuring safety in the operation of circular saw equipment. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letnemu yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest Engineering, Materials Science and Design: materials of reports of the 84th scientific and technical conference dedicated to the 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 152–153 (In Russian).
5. The Labor Code of the Republic of Belarus: Law of the Republic of Belarus, 26.07.1999, no. 296-2. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=3871&p0=hk9900296> (accessed 19.02.2025) (In Russian).
6. Rules for labor protection in forestry, wood processing and production of wood products: resolution of the Ministry of Labor and Social Protection of Belarus and Ministry of Forest of the Republic of Belarus, 30.03.2020, no.32/5. Available at: https://pravo.by/upload/docs/op/W22035383p_1590181200.pdf (accessed 20.02.2025) (In Russian).
7. TR TS 010/2011. On the safety of machinery and equipment. Available at: https://eec.eaeunion.org/upload/medialibrary/536/P_823_1.pdf (accessed 20.02.2025) (In Russian).
8. Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Review of claw curtain designs for modern circular saw woodworking machines. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest Engineering, Materials Science and Design: materials of 87th scientific and technical conference of faculty, researches and postgraduate students with international participation (with international participation)]. Minsk, 2023. P. 135–138 (In Russian).
9. GOST 12.2.026.0–1993. Woodworking equipment. Safety requirements for the design. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus Publ., 1996. 46 p. (In Russian).
10. STB EN 1870-4–2006. Safety of woodworking machines. Circular saw machines. Part 4. Multiband machines for slitting with manual loading and/or unloading. Minsk, State Committee for Standardization of the Republic of Belarus Publ., 2006. 36 p. (In Russian).
11. Korshunov A. I. *Issledovaniye protsessa rezaniya drevesiny razlichnymi instrumentami perpendikulyarno k napravleniyu volokon. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Investigation of the process of cutting wood with various tools perpendicular to the direction of the fibers. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Leningrad, 1955. 20 p. (In Russian).
12. Kononenko V. G., Antson A. A. Research of a tool for high-speed power chipless wood cutting. *Trudy Tsentral'nogo nauchno-issledovatel'skogo i proyektno-konstruktorskogo instituta mekhanizatsii i energetiki lesnoy promyshlennosti* [Proceedings of Central Scientific Research and Design Institute of Mechanization and Energy of the Forest Industry], 1969, issue 101, pp. 3–11 (In Russian).
13. Kuraptsev N. F. *Teoreticheskiye i eksperimental'nyye issledovaniya raboty rezhushchikh organov besstruzhechnogo rezaniya drevesiny. Dissertatsiya kandidata tekhnicheskikh nauk* [Theoretical and experimental studies of the work of cutting organs for chipless cutting of wood. Dissertation PhD (Engineering)]. Moscow, 1971. 158 p. (In Russian).
14. Ovchinnikov V. V. *Oborudovaniye besstruzhechnoy razdelki lesomaterialov* [Chipless cutting equipment for timber]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1990. 224 p. (In Russian).
15. Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Stiffness calculation of the claw curtains axes. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2, pp. 345–349 (In Russian).
16. Novoselov V. G., Grinevich S. A., Grishkevich A. A. Ways to increase the rigidity of curtains of safety stops in circular sawing machines. *Derevoobrabotka: tekhnologii, oborudovaniye, menedzhment XXI veka: materialy XVI Mezhdunarodnogo yevraziyskogo simpoziuma* [Woodworking: technologies, equipment, management of the 21st century: proceedings of the XVI International Eurasian Symposium]. Yekaterinburg, 2021, pp. 34–37 (In Russian).

Информация об авторах

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru

Аникеенко Андрей Федорович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Тишевич Александр Юрьевич – магистр технических наук. ООО «Спецтехномаркет» (ул. Ботаническая, 5а, 220037, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: 1270002@pferd.by

Information about the authors

Grinevich Sergey Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru

Anikeenko Andrey Fedorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Tishevich Aleksandr Yur'yevich – Master of Engineering. Spetstekhnomarket Ltd (5a Botanicheskaya str., 220037, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: 1270002@pferd.by

Поступила 12.03.2025

УДК 630*383.4

П. А. Лыщик, Е. И. Бавбель, А. И. Наumenко
Белорусский государственный технологический университет
**СОВРЕМЕННЫЕ ПОДХОДЫ К ПРОЕКТИРОВАНИЮ
ЛЕСОХОЗЯЙСТВЕННЫХ ДОРОГ В ПРОГРАММЕ
ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ**

Эффективность работы лесотранспорта во многом зависит от правильно установленных параметров лесохозяйственной дороги, основными из которых являются: расчетная скорость движения автомобиля; расстояние видимости поверхности дороги, расчетная нагрузка на ось, число полос движения (пропускная способность дороги).

Расчетная скорость является одним из важнейших проектных параметров. Под этим термином подразумевается максимальная безопасная скорость движения автомобилей, которая обеспечивается на всех участках дороги данной категории. От величины расчетной скорости зависит, каким должно быть расстояние видимости, ширина земляного полотна, ширина проезжей части, радиусы кривых и т. д.

На основании вышесказанного в статье отражены современные подходы к проектированию лесохозяйственных дорог, терминалов и площадок в программном комплексе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ с учетом нормативных документов.

Приведена возможность создания растровой подложки на основе картографического материала, на базе которого строится цифровая модель рельефа. Изложены методы создания цифровой модели ситуации, включающей в себя площадные (участки земельных угодий, водоемы, населенные пункты, площадки, терминалы и т. д.), линейные (лесохозяйственные дороги, водотоки, линии электропередач и др.) и точечные объекты.

Показаны современные методы проектирования плана трассы, продольного профиля и земляного полотна с выводом рабочих чертежей.

Ключевые слова: проектирование, цифровая модель, план трассы, продольный профиль.

Для цитирования: Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Наumenко А. И. Современные подходы к проектированию лесохозяйственных дорог в программе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 175–181.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-18.

P. A. Lyshchik, J. I. Bavbel, A. I. Naumenko
Belarusian State Technological University

**MODERN APPROACHES TO THE DESIGN OF FORESTRY ROADS
IN THE TIM CREDO DESIGN PROGRAM**

The efficiency of a forest transport largely depends on the correctly established parameters of a forestry road, the main of which are: the estimated speed of the vehicle; the distance of visibility of the road surface; the estimated axle load, the number of lanes (road capacity).

The design speed is one of the most important design parameters. This term means the maximum safe speed of vehicles, which is ensured on all sections of the road in this category. The magnitude of the calculated speed depends on what the visibility distance should be, the width of the roadway, the width of the roadway, the radii of the curves, etc.

Considering the above, the article reflects modern approaches to the design of forestry roads, terminals and sites in the TIM CREDO DESIGN PROGRAM software package, taking into account regulatory documents. The possibility of creating a raster substrate based on cartographic material, on the basis of which a digital relief model is being built, is presented. The methods of creating a digital model of the situation are described, which includes areal (land plots, reservoirs, settlements, sites, terminals, etc.), linear (forestry roads, watercourses, power lines, etc.) and point objects.

Modern methods of designing the route plan, longitudinal profile and ground surface with output of working drawings are shown.

Keywords: design, digital model, route plan, longitudinal profile.

For citation: Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Modern approaches to the design of forestry roads in the TIM CREDO DESIGN PROGRAM. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 175–181 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-18.

Введение. Современные программные средства обеспечивают комплексную автоматизацию процессов инженерных изысканий и проектирования лесохозяйственных дорог, а также сохранение результатов работы в едином электронном формате [1, 2].

В системах автоматизированного проектирования результаты инженерных полевых изысканий представляют в виде математической (цифровой) модели местности (ЦММ). При этом цифровое представление пространственных объектов соответствует топографическим картам и планам. Всю последующую информацию для проектирования (план трассы, продольный профиль дороги, поперечные профили земляного полотна, геологические разрезы и т. д.) получают на основе цифровых моделей местности. Трассирование лесохозяйственных дорог производят с учетом ситуации в районе проектируемого объекта, также отображаемой на специальной цифровой модели [3, 4].

Основная часть. Модуль ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ служит для проектирования нового строительства и реконструкции существующих лесохозяйственных дорог, а также автомобильных дорог общего пользования всех технических категорий, терминалов и площадок [5, 6].

Основой служит цифровая модель местности, созданная на участке прохождения трассы лесохозяйственной дороги.

В модуле реализовано проектирование горизонтальной и вертикальной планировки съездов, терминалов, площадок; конструирование искусственных сооружений (водопропускные трубы и малые мосты); проектирование водоотвода с поверхности проезжей части; создание ведомостей по распределению земляных масс и проектов организации дорожного движения.

Области применения модуля: проектирование, строительство и эксплуатация лесотранспортных путей.

Исходными данными для работы являются проекты, наборы проектов в виде файлов в форматах PRX, MPRX и OBX, наборы проектов формата COPLN и проекты форматов CPPGN, CPVOL, CPPGL, CPGDS, CPDRL, CPDRW.

Создание цифровой модели рельефа. При проектировании и строительстве любых объектов необходимо учитывать характер рельефа местности. Любое проектирование производится с помощью топографических карт или с использованием цифровых моделей местности.

Рельеф местности является важнейшим элементом содержания топографических карт. Рельеф любого места можно расчленить на пять основных форм: холм, впадина, хребет, седловина, лощина [4].

При изысканиях и проектировании лесохозяйственных дорог необходимо помнить о том, что характерными точками рельефа являются

вершины холмов и дно котловин (самая низкая точка – седловины), а характерными линиями (структурными линиями) рельефа – водораздел хребта и водослив лощины.

В системе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ разработка лесохозяйственных дорог ведется на основе цифровой модели местности (ЦММ), с помощью которой получают всю последующую информацию (продольные и поперечные профили, геологические разрезы и т. д.).

Цифровая модель рельефа (ЦМР) – средство цифрового представления трехмерных пространственных объектов (поверхностей, рельефа местности). В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ таким представлением является нерегулярная сеть треугольников (триангуляция Делоне), построенная с учетом дополнительных условий (ограничений), накладываемых используемыми структурными линиями на поле точек, которые имеют пространственные координаты и высоту [7].

Важным шагом при построении ЦМР является оцифровка карты. Процесс оцифровки заключается в последовательном указании всех объектов (точек, структурных линий, поверхностей), имеющихся на карте. При выполнении данной операции необходимо пользоваться растровой подложкой карты.

Основных точек недостаточно для построения ЦМР и при оцифровке картографического материала рельеф моделируется по горизонталям.

Определение положения водотоков выполняется с помощью создания структурной линии, совпадающей с положением русла водотока на карте. Перед созданием структурной линии необходимо создать две рельефные точки с отметками: точку в начале русла водотока и в его конце.

Создание структурной линии выполняется захватом начальной точки русла, указанием и захватом точек, определяющих положение русла водотока, и завершается захватом конечной точки русла. Начинать рекомендуется с истока. Если водоток ограничен границами растровой подложки, то указывайте точки, двигаясь от границы. Пример создания структурной линии, описывающей положение русла водотока, показан на рис. 1.

Создание цифровой модели ситуации. Цифровая модель ситуации (ЦМС) включает в себя площадные (земельные участки, терминалы, водоемы, населенные пункты, площадки, отдельные здания, сооружения и т. д.), линейные (лесохозяйственные дороги, водотоки и др.) и точечные объекты [7].

В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ все данные можно создавать и хранить в различных проектах. Цифровую модель ситуации, как правило, размещают в отдельном проекте. Каждый вид ситуационных объектов может быть размещен в отдельных слоях.

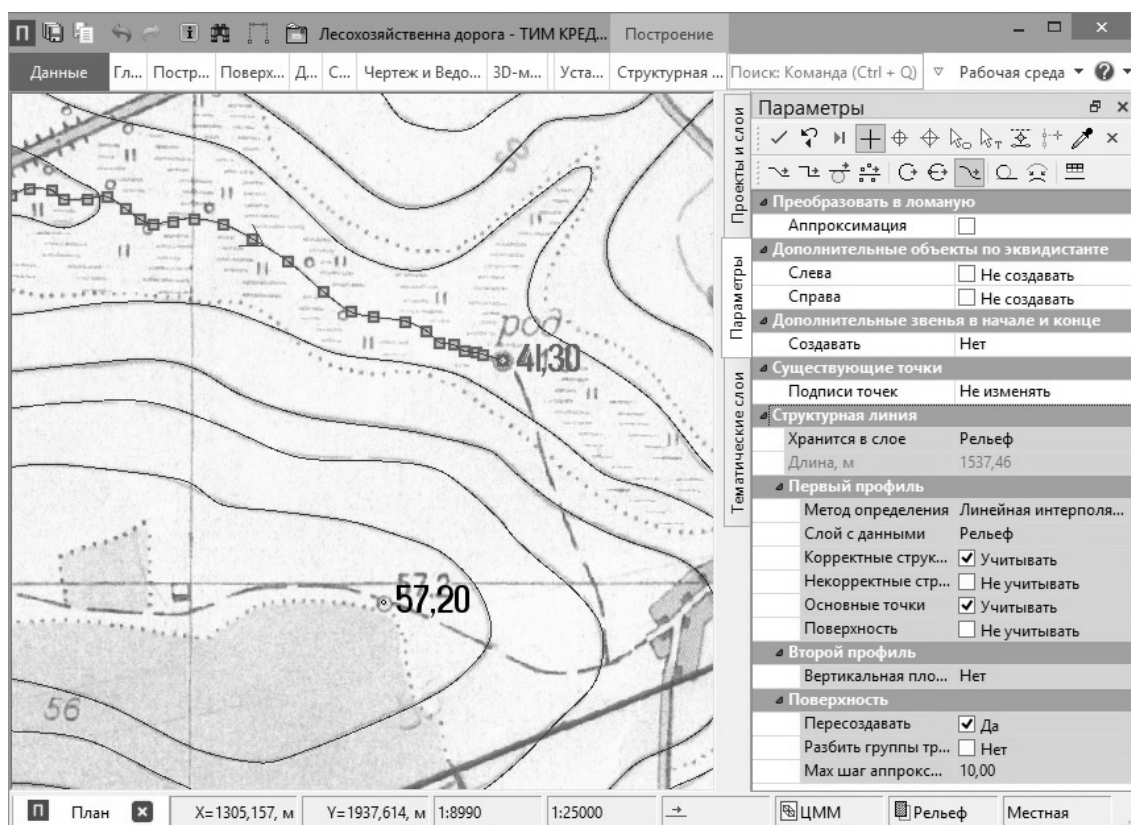


Рис. 1. Структурная линия для оцифровки водотоков

Площадные объекты ситуации применяются для нанесения на карту изображений болот, населенных пунктов, зданий, лесов и т. д. Они делятся на прямоугольные площадные объекты и объекты произвольной формы.

Проектирование плана трассы лесохозяйственной дороги. Размещение лесохозяйственных дорог должно выполняться с учетом особенностей ведения лесного хозяйства, продолжительности цикла лесохозяйственного производства, распределения объемов работ по территории лесного фонда, многократного возвращения в одни и те же участки леса в течение длительного периода, а также проведения ряда работ в определенные агротехнические сроки [8].

Главное направление магистрали лесохозяйственной дороги должно быть размещено по линии, делящей зону тяготения примерно на две равные части, и по возможности совмещено с направлениями квартальных просек [5, 8].

При проектировании плана трассы лесохозяйственной дороги должны соблюдаться основные принципы, выполняться требования действующих нормативных документов [9, 10]:

- минимальные радиусы кривых в плане;
- максимальный продольный уклон в соответствии с техническими нормами;
- трассирование по кратчайшему, если возможно, направлению между заданными пунктами (воздушная линия);

- природные условия района проложения трассы;
- ситуационные особенности района проектирования;
- варианты пересечения водотоков.

План и продольный профиль дорог следует проектировать с учетом наименьшего ограничения скорости, обеспечения безопасности движения и наилучшей защиты дорог от снежных заносов. При благоприятных местных условиях, если это технически возможно и экономически целесообразно, рекомендуется применять параметры указанные в таблице.

Рекомендуемые показатели

Показатель	Значение
Продольный уклон, %	Не более 40
Расстояние видимости поверхности дороги, м	175
Радиус кривой в плане, м	300–400
Радиус кривой в продольном профиле, м:	
выпуклый	5000
вогнутый	3000

В большинстве случаев проектирование плана трассы лесохозяйственной дороги ведется с помощью полигонального трассирования. При использовании этого метода на топографической карте строят полигон – ломаный магистральный

ход. В его изломы вписывают круговые кривые или круговые кривые с переходными кривыми [4, 11].

При проектировании трассы по принципу полигонального трассирования в первую очередь необходимо определить опорные точки магистрального хода (НТ, ВУП, КТ). Второй этап проектирования заключается в построении ломаной линии.

После создания плана трассы необходимо произвести расчет ведомости углов поворота, прямых и кривых (рис. 2).

Проектирование продольного профиля. Наиболее ответственной частью работы над продольным профилем является нанесение проектной линии. Приступая к проектированию продольного профиля, необходимо наметить основной принцип проложения проектной линии, зависящей от условий рельефа, грунтово-геологических, гидрологических факторов и категории дороги [12–14].

В условиях равнинного рельефа проектную линию наиболее целесообразно назначать по обертывающей с возвышением бровки земляного полотна отдельных участков на величину, рекомендуемую техническими условиями, в зависимости от климатических, грунтовых и гидрологических условий [3].

На пересеченной местности или при наличии участков с уклонами местности, большими, чем допустимые по нормам для данной дороги, возникает необходимость проектирования по принципу секущей.

На лесохозяйственных дорогах оптимальной является обертывающая проектная линия. Земляное полотно следует проектировать в насыпях, сводя к минимуму участки дорог с выемками.

Основными принципами положения проектной линии продольного профиля независимо от метода проектирования являются:

1) соблюдение технических норм проектирования: максимальный продольный уклон, минимальные радиусы вертикальных кривых;

2) обеспечение минимальных объемов земляных работ и рационального распределения земляных масс;

3) прохождение проектной линии через контрольные точки: водопропускные трубы, мосты, путепроводы;

4) ограничение длин участков с предельными уклонами;

5) обеспечение зрительной плавности и ясности трассы, удобства и безопасности движения.

В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ применяются два метода проектирования продольного профиля [1, 2, 7, 15].

1. Метод автоматизированного проектирования, или оптимизация, который предусматривает программный контроль соблюдения требований проектировщика по минимально допустимым радиусам, максимально допустимому продольному уклону и контрольным точкам (рис. 3).

2. Метод конструирования проектной линии по контрольным точкам и элементам. Контроль соблюдения требований возлагается на проектировщика (рис. 3).

Эскизная линия – это линия желаемого проектного решения продольного профиля, которая может не учитывать технические нормы [10].

При описании эскизной линии дорога может быть разделена на участки, учитывая контрольные точки. На одних участках профиль эскизной линии можно определять рабочими отметками, на других – интерактивно геометрическими элементами (параболами). При этом линия может быть не состыкована ни по уклонам, ни по радиусам, поскольку она – только эскиз проектного решения [7, 14].

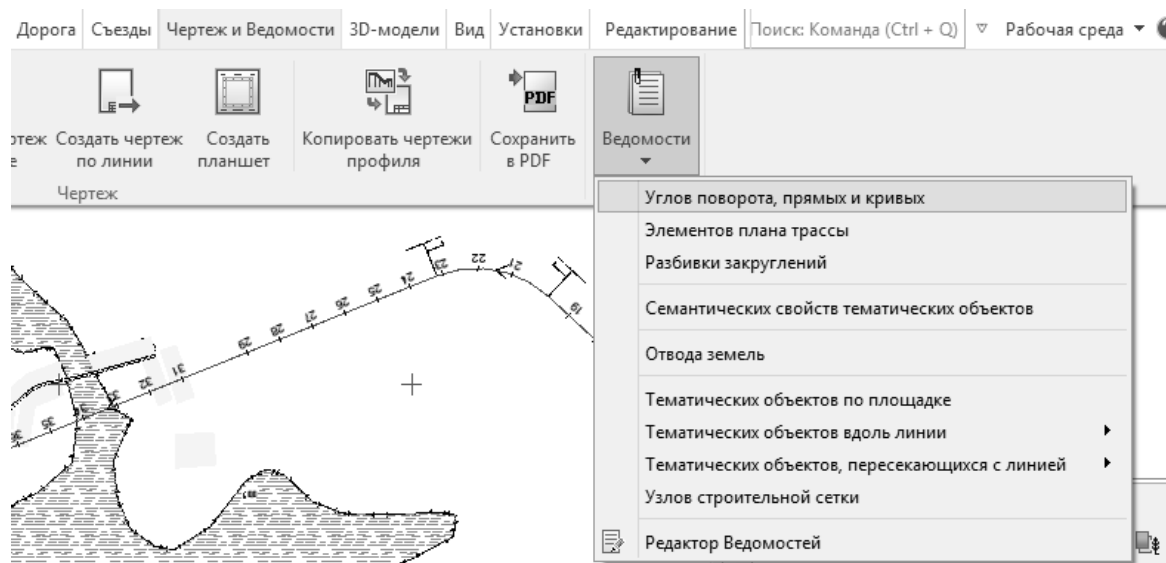


Рис. 2. Вид меню Чертеж и Ведомости

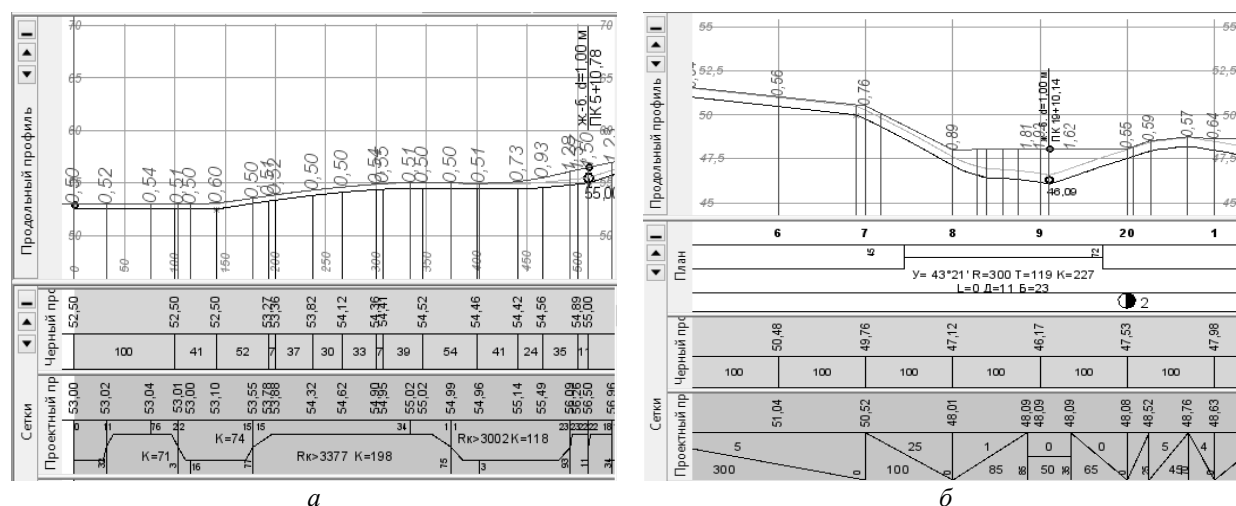


Рис. 3. Результат проектирования проектного профиля:

а – метод автоматизированного проектирования;

б – метод конструирования проектной линии по контрольным точкам и элементам

Оптимизация профиля – это автоматизированное проектирование продольного профиля трассы лесохозяйственной дороги с минимизацией объемов работ и при удовлетворении нормативным ограничениям по уклонам, радиусам, видимости, а также контрольным и руководящим отметкам.

В модуле ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ представлены два метода оптимизации проектного профиля: Экспресс-Оптимизация (быстрое определение проектного профиля) и Слайн-Оптимизация (усложненный метод, обеспечивающий более высокую геометрическую плавность и эксплуатационную ровность) [2, 12].

В целях снижения затрат на подготовку земляного полотна в насыпи рабочую отметку на дорогах круглогодочного действия следует назначать не менее 0,5 м, что устраняет необходимость снятия

растительного слоя и корчевки пней. Проектная линия имеет вид сопрягающихся прямых с последующим вписыванием (разбивкой) на переломах продольного профиля вертикальных выпуклых и вогнутых кривых.

Заключение. Модуль ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ позволяет создавать цифровые модели местности лесных территорий, решать на их основе задачи проектирования лесохозяйственных дорог, терминалов и площадок, а также получать в итоге цифровую модель дорожного объекта.

При создании цифровой модели проекта происходит передача в план результатов проектирования в профиле.

Цифровая модель проекта может использоваться для дальнейшего проектирования, выпуска чертежей и визуализации проектных решений.

Список литературы

1. Лыщик П. А., Бавбель Е. И. Инновационные технологии в проектировании лесных дорог // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2014. Т. 2. № 3, ч. 3 (8–3). С. 196–198.
2. Бавбель Е. И., Лыщик П. А., Науменко А. И. Использование новой версии программы ТИМ КРЕДО при проектировании лесных автомобильных дорог // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 88-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 29 янв. – 16 февр. 2024 г. Минск, 2024. С. 73–75.
3. Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Основные принципы развития сети лесных автомобильных дорог // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2020. № 1 (228). С. 125–130.
4. Бавбель Е. И., Лыщик П. А., Науменко А. И. Создание опорной сети лесных дорог на основе ГИС-технологий // Лесозаготовительное производство: проблемы и решения: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 26–28 апр. 2017 г. Минск, 2017. С. 140–144.
5. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Обоснование размещения лесотранспортных сетей // Известия вузов. Лесной журнал. 2009. Вып. 4. С. 82–88.
6. Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Особенности проектирования лесных автомобильных дорог на основе ГИС-технологий // 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. 100–105.

7. Бавбель Е. И. Экспериментальный проект транспортной сети ГЛХУ «Червенский лесхоз» Натальевского лесничества // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 56–60.
8. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group // Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications. Bulgaria: Info Invest, 2007. Vol. 1. P. 49–59.
9. Лесохозяйственные дороги. Нормы и правила устройства: ТКП 500-2016 (33090). Минск: М-во лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 2016. 91 с.
10. Бавбель Е. И., Лыщик П. А. Проектирование лесных дорог на основе ТКП 500 «Лесные автомобильные дороги. Нормы проектирования и правила устройства» // Состояние и перспективы развития лесного комплекса в странах СНГ: материалы Междунар. науч.-техн. конф. в рамках Междунар. молодеж. форума по лесопромышленному образованию «Лес – Наука – Инновации – 2018», Минск, 13–16 нояб. 2018 г., Минск. 2018. С. 16–20.
11. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study / E. Oburger [et al.] // Science of The Total Environment. 2016. P. 711–721.
12. Третьяков В. В., Бавбель Е. И. Проектирование и строительство лесохозяйственных автомобильных дорог в Республике Беларусь // 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. 60–67.
13. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads // Croatian Journal of Forest Engineering. 2014. P. 81–89.
14. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization / C. Kanzian [et al.] // Biomass bioengineering. 2013. P. 294–302.
15. Короленя Р. О., Бавбель Е. И., Лашенко А. П. Решение и анализ задач оптимизации студентами направления специальности 1-46 01 01-02 «Лесная инженерия и логистическая инфраструктура лесного комплекса (логистические системы и инфраструктура лесного комплекса)» // 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. 255–258.

References

1. Lyshchik P. A., Bavbel J. I. Innovative technologies in the design of forest roads. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Actual directions of scientific researches of the XXI century: theory and practice], 2014, vol. 2, no. 3, part 3 (8–3), pp. 196–198 (In Russian).
2. Bavbel J. I., Lyshchik P. A., Naumenko A. I. Using the new version of the TIM CREDO program in the design of forest highways. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry Engineering, Materials Science and Design: materials of the 88th Scientific and Technical Conference of faculty, researchers and postgraduates (with international participation)]. Minsk, 2024, pp. 73–75 (In Russian).
3. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Basic principles of the development of the forest highway network. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2020, no. 1 (228), pp. 125–130 (In Russian).
4. Bavbel J. I., Lyshchik P. A., Naumenko A. I. The creation of a support network of forest roads on the basis of GIS-technologies. *Lesozagotovitel'noye proizvodstvo: problemy i resheniya: materialy mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Logging production: problems and solutions: materials of the international scientific and technical conference]. Minsk, 2017, pp. 140–144 (In Russian).
5. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Justification of placement of forest transport networks. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of universities. Forest journal], 2009, no. 4, pp. 82–88 (In Russian).
6. Lyshchik P. A., Bavbel J. I., Naumenko A. I. Features of designing forest highways based on GIS technologies. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The state and prospects of development of the forest complex in the CIS countries: collection of articles of the II International scientific and technical conference]. Minsk, 2022, pp. 100–105 (In Russian).
7. Bavbel J. I. Experimental project of the transport network of GLHU “Chervensky forestry” of Natalyevsky forestry. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, no. XVII, pp. 56–60 (In Russian).
8. Bavbel J. I., Lyshchik P. A. Designing of the road network in wood of the second group. *Materials, Methods and Technology. International Scientific Publications*. Bulgaria, Info Invest Publ., 2007, vol. 1, pp. 49–59.
9. ТКП 500-2016 (33090). Wood highways. Norms and device rules. Minsk, Ministry of Forestry of the Republic of Belarus Publ., 2016. 91 p. (In Russian).

10. Bavbel J. I., Lyshik P. A. Design of forest roads on the basis of the TKP 500 “Forest road. Design rules and device rules”. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii v ramkakh Mezhdunarodnogo molodezhnogo foruma po lesopromyshlennomu obrazovaniyu “Les – Nauka – Innovatsii – 2018”* [State and prospects of development of the forest complex in the CIS countries: materials of the International scientific and technical conference within the framework of the International youth forum on forestry education “Forest – Science – Innovation – 2018”]. Minsk, 2018, pp. 16–20 (In Russian).

11. Oburger E., Jager A., Pasch A., Dellantonio A., Stampfe K., Wenzel W. Environmental impact assessment of wood ash utilization in forest road construction and maintenance – A field study. *Science of The Total Environment*, 2016, pp. 711–721.

12. Tretyakov V. V., Bavbel E. I. Design and construction of forestry highways in the Republic of Belarus. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The state and prospects of development of the forest complex in the CIS countries: collection of articles of the II International scientific and technical conference]. Minsk, 2022, pp. 60–67 (In Russian).

13. Bohrn G., Stampfer K. Untreated Wood Ash as a Structural Stabilizing Material in Forest Roads. *Croatian Journal of Forest Engineering*, 2014, pp. 81–89.

14. Kanzian C., Kuhmaier M., Zazgornik J., Stampfer K. Design of forest energy supply networks using multi-objective optimization. *Biomass bioengineering*, 2013, pp. 294–302.

15. Korolenya R. O., Bavbel E. I., Lashchenko A. P. Solving and analyzing optimization problems by students of specialty 1-46 01 01-02 “Forest engineering and logistics infrastructure of the forest complex (logistics systems and infrastructure of the forest complex)”. *Sostoyaniye i perspektivy razvitiya lesnogo kompleksa v stranakh SNG: sbornik statey II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [The state and prospects of development of the forest complex in the CIS countries: collection of articles of the II International scientific and technical conference]. Minsk, 2022, pp. 255–258 (In Russian).

Информация об авторах

Лышик Петр Алексеевич – кандидат технических наук, доцент, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lyshchik@belstu.by

Бавбель Евгения Ивановна – кандидат технических наук, доцент, старший преподаватель кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Науменко Андрей Иванович – кандидат технических наук, доцент кафедры инженерной графики. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: ig@belstu.by

Information about the authors

Lyshchik Petr Alekseevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Professor, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lyshchik @belstu.by

Bavbel Jane Ivanovna – PhD (Engineering), Associate Professor, assistant lecturer, the Department of Logging Machinery, Forest Roads and Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bavbel-ji@belstu.by

Naumenko Andrey Ivanovich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Engineering Drawing. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ig@belstu.by

Поступила 17.03.2025

ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

WOODWORKING INDUSTRY

УДК 674.023

Б. В. Войтеховский, С. А. Гриневич, А. Ф. Аникеенко
Белорусский государственный технологический университет

ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА ЦИЛИНДРИЧЕСКОГО ФРЕЗЕРОВАНИЯ ЛАМИНИРОВАННЫХ ДРЕВЕСНОСТРУЖЕЧНЫХ ПЛИТ НАКЛОННЫМИ РЕЖУЩИМИ ЭЛЕМЕНТАМИ ПО КРИТЕРИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ СТОЙКОСТИ

В мебельной промышленности широкое применение находят ламинированные древесностружечные плиты. Фрезерование кромок этого материала является довольно энергоемким процессом, и снижение энергетических затрат представляет собой важную задачу как с научной, так и с практической точки зрения. Одним из способов снижения энергопотребления и повышения качества обработки является создание угла наклона режущих элементов.

В настоящее время энерго- и ресурсосбережение является одной из наиболее актуальных задач для деревообрабатывающего и мебельного производства. Одним из направлений решения данной задачи может быть определение рациональных режимов механической обработки древесины и древесных материалов, обеспечивающих требуемое качество обработки при минимальных затратах на энергопотребление и дереворежущий инструмент.

В результате проведенных исследований процесса цилиндрического фрезерования кромок ламинированной древесностружечной плиты выявлены следующие основные технологические факторы: толщина стружки, величина припуска, скорость резания, угол наклона резца, угол резания. Критерием остановки эксперимента являлось появление недопустимых сколов на поверхности ламината. Обработка экспериментальных данных позволила получить математические зависимости для определения величины фаски по задней поверхности режущего элемента и для расчета пути резания по критерию качества.

Проведена оптимизация режимов обработки с целью получения максимальной стойкости дереворежущего инструмента с учетом возможного числа его переточек.

Ключевые слова: древесностружечная плита, фрезерование, технологические факторы, оптимизация, стойкость.

Для цитирования: Войтеховский Б. В., Гриневич С. А., Аникеенко А. Ф. Оптимизация процесса цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит наклонными режущими элементами по критерию технологической стойкости // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 182–187.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-19.

B. V. Voitechovsky, S. A. Grinevich, A. F. Anikeenko
Belarusian State Technological University

OPTIMIZATION OF THE PROCESS OF CYLINDRICAL MILLING OF LAMINATED WOOD CHIPBOARDS WITH INCLINED CUTTING ELEMENTS BASED ON THE CRITERION OF TECHNOLOGICAL DURABILITY

Laminated wood chipboards are widely used in the furniture industry. Milling the edges of this material is a rather energy-intensive process and reducing energy costs is an important task both from a scientific and practical point of view. One of the ways to reduce energy consumption and improve the processing quality is to create an inclination angle of cutting elements.

Currently, energy and resource saving is one of the most urgent tasks for woodworking and furniture production. One of the ways to solve this problem may be to set rational modes of mechanical processing of wood and wood materials that ensure the required processing quality at minimal cost of energy consumption and woodworking tools.

As a result of the conducted studies of the process of cylindrical milling of the laminated wood chipboard edges the following main technological factors were identified: chip thickness, allowance value, cutting speed, angle of cutter inclination, cutting angle. The criterion for stopping the experiment was the appearance of unacceptable chips on the laminate surface. The processing of experimental data made it possible to obtain mathematical dependencies for determining the chamfer value along the back surface of the cutting element and for calculating the cutting path according to the quality criterion.

The optimization of processing modes has been carried out in order to obtain maximum durability of the wood-cutting tool taking into account the possible number of its sharpening.

Keywords: wood chipboards, milling, technological factors, optimization, durability.

For citation: Voitechovsky B. V., Grinevich S. A., Anikeenko A. F. Optimization of the process of cylindrical milling of laminated wood chipboards with inclined cutting elements based on the criterion of technological durability. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 182–187 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-19.

Введение. Ламинированные древесностружечные плиты (ЛДСП) нашли широкое распространение в мебельном производстве. Благодаря различному по цвету и текстуре покрытию из ламината, дизайнеры мебели получили широкое поле деятельности для проектирования конкурентоспособной современной мебели.

Однако механическая обработка данного вида материала является довольно трудоемким процессом [1–3]. Это обусловлено тем, что плотность поверхностных слоев ДСП в несколько раз больше, чем в ее средней части. Также в поверхностных слоях находится большее количество связующего (смолы). Эти особенности сильно сказываются на характере износа режущего инструмента и его стойкости.

На степень износа и характер затупления инструментов влияют: физико-механические свойства и структура материала режущих элементов, геометрические и угловые параметры режущих элементов, физико-механические свойства обрабатываемого материала, условия и режим резания (вид резания, глубина резания и толщина стружки, скорость резания и подачи), условия и режим работы инструмента (точность, жесткость и колебания инструмента, состояние станка, продолжительность работы инструмента и др.), качество подготовки инструмента к работе (заточка и доводка режущих элементов).

Поэтому деревообрабатывающий инструмент для фрезерования ЛДСП должен быть оснащен режущими элементами с повышенной износостойкостью.

Особенностью затупления резца при фрезеровании ЛДСП является то, что участки лезвия, обрабатывающие более плотные слои, изнашиваются быстрее (рис. 1).

Такой вид износа подтвержден многими авторами, которые изучали данную проблему [4–6]. Износ дереворежущего инструмента в значительной степени зависит от режима обработки, материала резца и др. Основным критерием для оценки затупления режущего инструмента при обработке

ЛДСП, является величина фаски по задней поверхности η . Поэтому данный критерий был выбран главным при оценке затупления резца при проведении эксперимента.

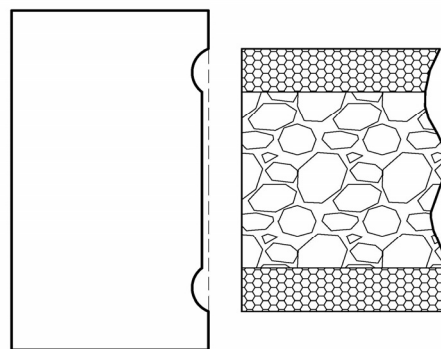


Рис. 1. Особенности износа режущего элемента при фрезеровании ЛДСП

Вторым, не менее важным фактором при обработке ЛДСП является критерий технологической стойкости [7, 8]. Технологическая стойкость – период работы инструмента, в пределах которого сохраняется требуемый уровень качества обработки. Она может быть выражена в единицах времени, метрах пути резания, погонных метрах обработанного материала. Для наглядности и простоты обработки результатов эксперимента наиболее целесообразно выражать технологическую стойкость в метрах пути контакта резца L с обрабатываемым материалом до появления первых сколов на поверхности обрабатываемого материала. Целью данной работы является получение оптимального режима обработки ЛДСП наклонными режущими элементами, при котором стойкость инструмента по критерию качества будет максимальной с учетом количества перезаточек.

Основная часть. На базе Белорусского государственного технологического университета были проведены исследования влияния основных технологических факторов (угла наклона режущей кромки ω , угла резания δ , скорости резания V ,

величины припуска h , толщины стружки a) на величину износа режущего инструмента по задней поверхности (величину фаски η) и технологическую стойкость, выраженную в метрах пути L , при цилиндрическом фрезеровании кромок ЛДСтП. На основании методов планирования эксперимента составлена методическая сетка опытов. Опыты проведены на экспериментальной установке, созданной на базе промышленного четырехстороннего продольно-фрезерного станка марки С26-2М. Экспериментальная установка позволяет плавно изменять частоту вращения режущего инструмента (от 0 до 6000 мин⁻¹) и скорость подачи обрабатываемого материала (от 0 до 30 м/мин).

Методика проведения опытов представлена в работе [9].

Для определения износа режущего инструмента по задней грани использовался метод слепков (рис. 2). Достоинством данного метода является возможность получения информации о динамике затупления режущего элемента без его снятия с фрезы и последующего повторного базирования при установке назад в режущий инструмент, что гарантирует чистоту проведения эксперимента.

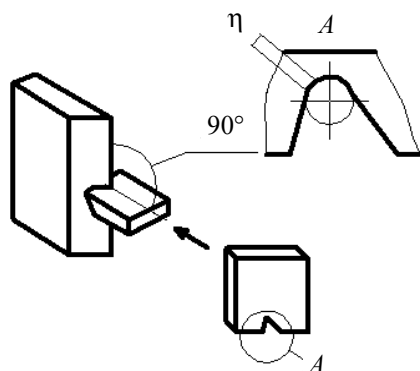


Рис. 2. Иллюстрация к методу слепков

Условия проведения опытов представлены в таблице.

Условия проведения опытов исследования технологической стойкости при цилиндрическом фрезеровании кромок ЛДСтП

Факторы	Условное обозначение	Нижний уровень (-1)	Основной уровень (0)	Верхний уровень (+1)	Интервал варьирования Δ
Переменные факторы					
Угол наклона режущей кромки, град	$X1 [\omega]$	0	15	30	15
Угол резания, град	$X2 [\delta]$	60	70	80	10
Скорость резания, м/с	$X3 [V]$	20	35	50	15
Толщина срезаемого слоя, мм	$X4 [h]$	1,5	3,0	4,5	1,5
Толщина стружки, мм	$X5 [a]$	0,05	0,25	0,45	0,20
Постоянные факторы обрабатываемого материала					
Основа	ДСтП				
Облицованный слой	Ламинат				
Ширина фрезерования B , мм	25				
Влажность, %	8 ± 2				
Материал лезвия режущего инструмента	Твердый сплав ВК6				
Диаметр фрезы D , мм	180				

После реализации методической сетки опытов и проведения статистического анализа результатов [10, 11] были получены регрессионные математические модели (1, 2), отражающие влияние основных технологических факторов на величину фаски по задней поверхности η и технологическую стойкость режущего инструмента по критерию качества, выраженную в длине пути резания L .

$$\begin{aligned} \eta = & 1066,537 + 11,702 \cdot \omega - 24,497 \cdot \delta - \\ & - 3,905 \cdot V - 0,565 \cdot h - 282,267 \cdot a + \\ & + 0,036 \cdot \omega^2 + 0,078 \cdot V^2 - 0,138 \cdot \omega \cdot \delta + \\ & + 0,017 \cdot \omega \cdot V + 0,643 \cdot \omega \cdot h + \\ & + 16,470 \cdot \omega \cdot a - 0,053 \cdot \delta \cdot V - 0,581 \cdot \delta \cdot h + \\ & + 0,893 \cdot V \cdot h + 2,303 \cdot V \cdot a + 55,300 \cdot h \cdot a; \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} L = & 490,31 + 121,25 \cdot \omega + 0,64 \cdot \delta + \\ & + 0,32 \cdot V - 51,11 \cdot h - 2218,05 \cdot a + \\ & + 4,98 \cdot \omega^2 - 2,61 \cdot \omega \cdot \delta + 1,21 \cdot \omega \cdot V + \\ & + 24,75 \cdot \omega \cdot h + 288,03 \cdot \omega \cdot a + \\ & + 62,78 \cdot V \cdot a + 917,19 \cdot h \cdot a. \quad (2) \end{aligned}$$

Данные модели позволяют математически описать процесс при обработке кромок ЛДСтП методом фрезерования. Адекватность полученных математических моделей подтверждена проверкой по F-критерию Фишера.

Эксперимент ранее описан в научных статьях [12, 13].

На основании полученных данных решено провести оптимизацию режимов обработки по критерию обеспечения максимальной технологической стойкости с учетом количества возможных переточек режущего инструмента. Оптимизация процессов механической обработки ЛДСтП будет способствовать увеличению производительности деревообрабатывающего оборудования и уменьшению трудоемкости производства единицы продукции.

Математически поставленная задача может быть выражена как

$$S_{\Sigma} = S \cdot (1 + n) \rightarrow \max, \quad (3)$$

где S_{Σ} – суммарная технологическая стойкость режущего инструмента с учетом возможных переточек, п. м; S – технологическая стойкость режущего инструмента в пределах одной переточки, п. м; n – возможное количество переточек режущего инструмента, определяется по формуле

$$n = \frac{a_{\text{стач}}}{b}, \quad (4)$$

где $a_{\text{стач}}$ – допускаемая величина стачивания за срок службы, мм; b – величина стачивания за одну переточку, мм.

Допускаемая величина стачивания твердосплавных ножей за срок службы согласно пособиям [14, 15] $a_{\text{стач}} = 8\text{--}10$ мм.

На рис. 3 представлена схема для определения величины стачивания b [14], где α – задний угол; β – угол заточки; γ – передний угол.

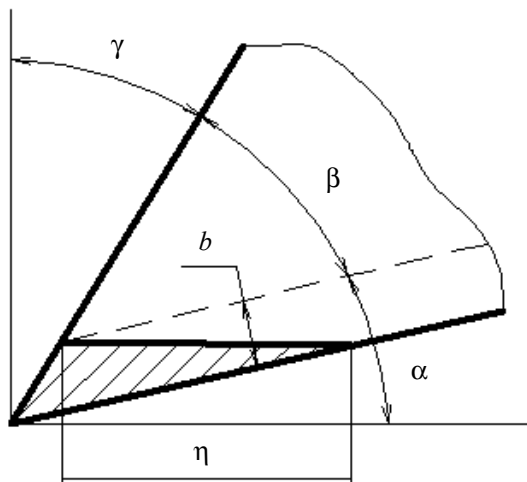


Рис. 3. Схема определения величины стачивания

Величина стачивания за одну переточку зависит от степени затупления режущего инструмента, т. е. в нашем случае от величины фаски по задней поверхности ножа η .

На основании рис. 3 величину b можно записать в виде

$$b = \eta \cdot \sin \alpha. \quad (5)$$

Технологическая стойкость S , выраженная в погонных метрах обработанного материала, связана с величиной пути резания и может быть выражена через формулу

$$S = \frac{L \cdot a \cdot z}{h}, \quad (6)$$

где z – число режущих элементов в фрезе, шт.

Подставив уравнения (4), (5), (6) в выражение (3) получим

$$S_{\Sigma} = \frac{L \cdot a \cdot z}{h} \cdot \left(1 + \frac{a_{\text{стач}}}{\eta \cdot \sin \alpha} \right) \rightarrow \max. \quad (7)$$

Заключение. Условия максимума функции (7) найдены с помощью пакета MathCad.

Так, при $z = 1$ наибольшая технологическая стойкость с учетом возможного количества переточек составила 219 900 п. м при следующих значениях основных переменных технологических факторов: угол наклона режущей кромки $\omega = 30^\circ$, угол резания $\delta = 72,9^\circ$, скорость резания $V = 48,8$ м/с, величина припуска на обработку $h = 1,5$ мм, толщина стружки $a = 0,45$ мм.

Допускаемая величина стачивания при расчете принята $a_{\text{стач}} = 8$ мм. С учетом полученных значений технологическая стойкость режущего инструмента в пределах одной переточки $S = 3198$ п. м, величина фаски по задней поверхности режущего элемента $\eta = 456,2$ мкм, а величина стачивания за одну переточку $b = 118$ мкм.

Список литературы

1. Хуажев О. З. Исследование и разработка рациональных режимов резания и инструментов для обработки кромок облицованных древесностружечных плит: автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.06.02. Л., 1982. 21 с.
2. Зотов Г. И. Энергоемкость резания // Дерево.RU. 2008. № 1. С. 132–134.
3. Аникеенко А. Ф., Фридрих А. П. Рекомендации по методике проведения исследований в области механической обработки ламинированных древесностружечных плит // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 313–317.
4. Цуканов Ю. А., Амалицкий В. В. Обработка резанием древесностружечных плит. М.: Лесная пром-сть, 1966. 95 с.
5. Гришкевич А. А. Моделирование процесса фрезерования древесностружечных плит, облицованных натуральным шпоном, по качественным показателям // Лес – 96: тез. докл. междунар. науч. практ. конф. Минск, 1996. С. 19.
6. Бершадский А. Л., Цветкова Н. И. Резание древесины: учеб. пособие. Минск: Выш. шк., 1975. 304 с.
7. Клубков А. П., Войтеховский Б. В. Критерии затупления дереворежущего инструмента при фрезеровании древесины и древесных материалов // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообраб. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 222–224.

8. Войтеховский Б. В., Гриневич С. А., Лукаш В. Т. Исследование стойкости фрезерного инструмента с наклонными резцами при обработке кромок ДСтП // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2007. Вып. XV. С. 225–229.
9. Войтеховский Б. В., Гриневич С. А. Влияние технологических факторов на качество обработанной поверхности при фрезеровании ламинированных ДСтП // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2008. Вып. XVI. С. 323–327.
10. Пижурич А. А., Пижурич А. А. Моделирование и оптимизация процессов деревообработки. М.: Моск. гос. ун-т леса, 2004. 376 с.
11. Пижурич А. А., Розенблит М. С. Исследования процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1984. 232 с.
12. Гриневич С. А., Войтеховский Б. В. Исследование технологической стойкости при фрезеровании ламинированных древесностружечных плит наклонными резцами // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2010. Вып. XVIII. С. 284–286.
13. Войтеховский Б. В., Гриневич С. А. Особенности износа твердосплавного инструмента при фрезеровании ламинированных ДСтП наклонными ножами // Труды БГТУ. 2011. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 252–255.
14. Амалицкий В. В., Санев В. И. Оборудование и инструмент деревообрабатывающих предприятий. М.: Экология, 1992. 480 с.
15. Амалицкий В. В., Амалицкий В. В. Оборудование отрасли. М.: ГОУ ВПО МГУЛ. 2005. 584 с.

References

1. Khuazhev O. Z. *Issledovaniye i razrabotka ratsional'nykh rezhimov rezaniya i instrumentov dlya obrabotki kromok oblitsovannykh drevesnostruzhechnykh plit. Avtoreferat dissertatsii kandidata tekhnicheskikh nauk* [Research and development of rational cutting modes and tools for processing edges of faced chipboards. Abstract of thesis PhD (Engineering)]. Leningrad, 1982. 21 p. (In Russian).
2. Zotov G. I. Energy intensity of cutting. *Derevo.RU* [Wood.RU], 2008, no. 1, pp. 132–134 (In Russian).
3. Anikeenko A. F., Fridrich A. P. Recommendations on the methodology for conducting research in the field of mechanical processing of laminated chipboards. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, 2011, pp. 313–317 (In Russian).
4. Tsukanov Yu. A., Amalitskiy V. V. *Obrabotka rezaniyem drevesnostruzhechnykh plit* [Cutting processing of chipboards]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1966. 95 p. (In Russian).
5. Grishkevich A. A. Modeling the process of milling chipboards faced with natural veneer, according to quality indicators. *Les – 96: tezisy dokladov mezhdunarodnoy nauchno-praktichskoy konferentsii* [Forest – 96: abstracts of reports of the international scientific and practical conference]. Minsk, 1996, p. 19 (In Russian).
6. Bershadskiy A. L., Tsvetkova N. I. *Rezaniye drevesiny* [Wood cutting]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1975. 304 p. (In Russian).
7. Klubkov A. P., Voitekhovsky B. V. Criteria for blunting wood cutting tools during milling of wood and wood materials. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 222–224 (In Russian).
8. Voitekhovsky B. V., Grinevich S. A., Lukash V. T. Study of the durability of milling tools with inclined cutters when processing chipboard edges. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2007, issue XV, pp. 225–229 (In Russian).
9. Voitekhovsky B. V., Grinevich S. A. Influence of technological factors on the quality of the machined surface during milling of laminated chipboard. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2008, issue XVI, pp. 323–327 (In Russian).
10. Pizhurin A. A., Pizhurin A. A. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov derevoobrabotki* [Modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, Moscow State Forest University Publ., 2004. 376 p. (In Russian).
11. Pizhurin A. A., Rozenblit M. S. *Issledovaniya protsessov derevoobrabotki* [Research of woodworking processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 232 p. (In Russian).
12. Grinevich S. A., Voitekhovsky B. V. Investigation of technological stability during milling of laminated chipboards with inclined cutters. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2010, issue XVIII, pp. 284–286 (In Russian).
13. Voitekhovsky B. V., Grinevich S. A. Features of wear of hard-alloy tools during milling of laminated chipboard with inclined knives. *Trydy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 2: Forest and Woodworking Industry, pp. 252–255 (In Russian).
14. Amalitskiy V. V., Saney V. I. *Oborudovaniye i instrument derevoobrabatyvayushchikh predpriyatiy* [Equipment and tools for woodworking enterprises]. Moscow, Ekologiya Publ., 1992. 480 p. (In Russian).

15. Amalitskiy V. V., Amalitskiy V. V. *Oborudovaniye otrasli* [Equipment of the industry]. Moscow, Moscow State Forest University Publ., 2005. 584 p. (In Russian).

Информация об авторах

Войтеховский Борис Викторович – старший преподаватель кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: voitechovskiy@belstu.by

Гриневич Сергей Анатольевич – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: gres410a@ya.ru

Аникеенко Андрей Федорович – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: dosy@belstu.by

Information about the authors

Voitekhovsky Boris Viktorovich – Senior Lecturer, the Department of Engineering Graphics. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: voitechovskiy@belstu.by

Grinevich Sergey Anatol'yevich – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gres410a@ya.ru

Anikeenko Andrey Fedorovich – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: dosy@belstu.by

Поступила 17.03.2025

УДК 621.914:674:004

В. В. Раповец, В. Т. Лукаш, М. А. Мазовка

Белорусский государственный технологический университет

**ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИЗНОСОСТОЙКИХ
АЛМАЗОПОДОБНЫХ ПОКРЫТИЙ НА НОЖАХ ДЕРЕВОРЕЖУЩЕГО
ФРЕЗЕРНОГО ИНСТРУМЕНТА**

Статья посвящена исследованию эффективности применения износостойких алмазоподобных покрытий на ножах деревоорежущего фрезерного инструмента. В условиях интенсивной эксплуатации деревообрабатывающего оборудования ключевым фактором, влияющим на долговечность и производительность инструмента, является износостойкость режущих кромок. Использование алмазоподобных покрытий, обладающих высокой твердостью, низким коэффициентом трения и устойчивостью к абразивному износу, позволяет улучшить эксплуатационные характеристики инструмента.

Повышение износостойкости деревоорежущего инструмента является актуальной задачей для Республики Беларусь, поскольку увеличение объемов выпускаемой продукции из древесины вызывает рост объемов используемого режущего инструмента, большая часть которого закупается за границей. Это ведет к увеличению затрат валютных средств, тем самым снижая общий объем валютных поступлений от продажи изделий из древесины и древесных материалов. Таким образом, повышение износостойкости деревоорежущего инструмента является актуальной технической задачей.

Статья представляет интерес для специалистов в области деревообработки, материаловедения, механики поверхностей и проектирования режущего инструмента. Результаты исследования подтверждают перспективность использования алмазоподобных покрытий для повышения эффективности и конкурентоспособности деревоорежущего инструмента в условиях современного производства.

Ключевые слова: износостойкость, алмазоподобные покрытия, древесные материалы, резание, эксперимент.

Для цитирования: Раповец В. В., Лукаш В. Т., Мазовка М. А. Эффективность использования износостойких алмазоподобных покрытий на ножах деревоорежущего фрезерного инструмента // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 188–193.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-20.

V. V. Rapovets, V. T. Lukash, M. A. Mazovka

Belarusian State Technological University

**EFFICIENCY OF USING WEAR RESISTANT DIAMOND-LIKE COATINGS
ON KNIVES OF WOODWORKING MILLING TOOLS**

The article is devoted to the study of the efficiency of using wear-resistant diamond-like coatings on the knives of woodworking milling tools. Under conditions of intensive use of woodworking equipment, the key factor affecting the durability and productivity of the tool is the wear resistance of the cutting edges. The use of diamond-like coatings with high hardness, low friction coefficient and resistance to abrasive wear improves the performance characteristics of the tool.

Increasing the wear resistance of woodworking tools is an urgent task for the Republic of Belarus, since an increase in the volume of manufactured wood products leads to an increase in the volume of cutting tools used. The republic purchases most of its woodworking tools abroad. This leads to an increase in foreign exchange costs, thereby reducing the total volume of foreign exchange earnings from the sale of wood products and wood materials. Thus, increasing the wear resistance of wood-cutting tools is an urgent technical task.

The article is of interest to specialists in the field of woodworking, materials science, surface mechanics and cutting tool design. The results of the study confirm the prospects of using diamond-like coatings to improve the efficiency and competitiveness of wood-cutting tools in modern production conditions.

Keywords: wear resistance, diamond-like coatings, wood materials, cutting, experimental research.

For citation: Rapovets V. V., Lukash V. T., Mazovka M. A. Efficiency of using wear resistant diamond-like coatings on knives of woodworking milling tools. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 188–193 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-20.

Введение. На современных деревообрабатывающих и мебельных предприятиях для обработки кромок натуральной древесины и древесного материала, криволинейного раскроя, обхода по контуру изделия методом цилиндрического фрезерования применяется концевой фрезерный инструмент, оснащенный стальными и твердосплавными пластинами. Наиболее распространенными в эксплуатационном отношении являются марки быстрорежущей стали P6M5, P12, HSS и твердого сплава BK6, BK8 и BK15. Ранее выполненные исследования [1–10] показали, что применение инструментальных сталей, твердого сплава и упрочняющих технологий для создания тугоплавких покрытий на нем для процесса фрезерования древесного материала дает возможность значительно увеличить (в 5–20 раз) технологическую стойкость режущего инструмента в сравнении с износостойкостью ножей из инструментальной быстрорежущей стали.

Основная часть. Немаловажную роль в повышении технологической стойкости играют различные упрочняющие покрытия из тугоплавких материалов и алмазоподобные DLC-покрытия, полученные плазменно-ассистированными, ионно-лучевыми или гибридными методами с получением многослойных покрытий и др. [11].

Выполненный анализ литературных источников в области использования износостойких покрытий на поверхностях дереворежущего инструмента показал перспективность применения двух основных методов получения алмазоподобных DLC-покрытий: химическим осаждением на подложку из паровой фазы (CVD) и плазменным распылением графита в вакуумной камере с осаждением ионов углерода на изделия (PVD).

Технология получения алмазоподобных DLC-покрытий сводится к плазменному импульсному распылению графита в вакуумной камере и осаждению ионов углерода с достаточно большой энергией на поверхности режущего инструмента. В результате такого напыления углерода образуется аморфное покрытие, состоящее из атомов углерода как с алмазными sp^3 -, так и графитоподобными sp^2 -связями. Такие аморфные покрытия можно получать в широкой области температур, вплоть до комнатной, на различных материалах: металлах, керамике, стекле, пластических материалах.

Для получения DLC-покрытий алмазоподобного углерода на ножах концевой фрезы использовался метод физического вакуумного осаждения (PVD), основанный на создании высокоэнергетичных потоков углеродной плазмы, которая формируется импульсными дугowymi генераторами из графитовых электродов. Осаждение DLC-покрытий алмазоподобного углерода осуществлялось в вакууме. Метод позволил получить покрытия

АПУ, имеющих аморфную структуру и свойства, близкие к алмазу, с максимальным содержанием атомов углерода с sp^3 -гибридизацией валентных электронных оболочек (т. е. с алмазным типом связи).

В качестве экспериментальной базы были выбраны образцы ножей разных марок, изготовленные из твердого сплава типа BK8, на которые были нанесены алмазоподобные покрытия. В результате были сформированы износостойкие DLC-покрытия на ножах дереворежущего инструмента в двух вариациях.

DLC-покрытие 1. Получено путем осаждения покрытий алмазоподобного углерода (АПУ) в вакууме на установке вакуумного напыления УВНИПА-1-001, оборудованной источником импульсной плазмы катодно-дугового разряда, а также ионным источником ИИ-4-0,15.

Для получения покрытий алмазоподобного углерода – АПУ (diamond-like carbon – DLC) использовался метод физического вакуумного осаждения (PVD), основанный на создании высокоэнергетичных потоков углеродной плазмы, формируемой импульсными дугowymi генераторами из графитовых электродов. При бомбардировке поверхности осаждения ионами углерода с энергией 10–50 эВ в течение коротких импульсов (0,3–0,5 мсек), создаются условия, аналогичные высоким давлению и температуре, необходимые для получения алмазной фазы углерода. Особенностью процесса осаждения является импульсный режим, при котором длительность паузы между импульсами многократно превышает длительность импульсов, во время которых формируется АПУ-покрытие. В результате этого во время паузы происходит рассеивание тепла и охлаждение растущей пленки. Регулируя соотношение между длительностью импульса и паузы, можно управлять температурой нагрева поверхности осаждения покрытия АПУ. Средняя температура нагрева деталей при нанесении АПУ обычно составляет 30–150°C, что значительно ниже, чем при использовании других вакуумно-плазменных методов нанесения твердых покрытий. Благодаря этому, их можно осаждавать как на термостойкие материалы, например металлы, стекло, керамику, так и на материалы с низкой температурой структурных превращений – полимеры, бумагу, ткани. Метод позволяет получать покрытия АПУ с максимальным содержанием атомов углерода с sp^3 -гибридизацией валентных электронных оболочек (т. е. с алмазным типом связи). Такие покрытия имеют аморфную структуру и свойства, близкие к алмазу [12–14]:

- плотность 3,0–3,5 г/см³;
- микротвердость 30–80 ГПа в зависимости от условий получения и типа АПУ-покрытия;
- коэффициент сухого трения по стали 0,1–0,2;

- электрическое удельное сопротивление 10^6 – 10^{14} Ом/см;
- показатель преломления 2,4–2,6;
- прозрачность в видимой и инфракрасной областях спектра;
- химическую инертность;
- термостойкость на воздухе до 350°C;
- биологическую совместимость с живыми тканями.

После откачки вакуумной камеры до остаточного давления порядка $5 \cdot 10^{-3}$ Па выполнялась ионно-лучевая очистка поверхности датчиков ионами аргона при следующих параметрах работы ионных источников: давление аргона $1,5 \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение 2,5–3,0 кВ, ускоряющий ток 40–60 мА, время обработки 40 мин.

Затем формировалось покрытие АПУ из плазмы импульсного (длительность импульса порядка 300 мкс) высокотокового (порядка 3 кА/имп.) разряда. В качестве катода использовался графит с чистотой 99,99%. Источник плазмы работал при следующих параметрах: напряжение разряда 300 В, емкость разрядной батареи 2150 мкФ, частота следования разрядных импульсов 3 Гц, общее число разрядных импульсов 7000. Толщина осажденного покрытия АПУ составила порядка 300 нм (рис. 1).



Рис. 1. Дереворежущие ножи концевой фрезы с алмазоподобным DLC-покрытием 1

Комбинированное DLC-покрытие 2. Сформировано методом осаждения покрытия алмазоподобного углерода (АПУ) в реакционной среде с использованием комбинированного способа PVD-CVD. Его сущность состоит в том, что в результате взаимодействия углеродной плазмы катодно-дугового разряда с парами углеводорода происходит деструкция органических молекул с образованием химически активных фрагментов, осаждаю-

щихся на подложке и формирующих покрытие АПУ. Это позволяет существенно повысить скорость формирования тонкопленочного материала, снизить в нем величину остаточных напряжений сжатия, без значимого ухудшения механо-трибологических характеристик. Наличие свободного водорода в области потока углеродной плазмы позволяет стабилизировать оборванные связи углеродных молекул и тем самым повысить содержание «азмазного» типа sp^3 -связей между атомами углерода в осажденном покрытии АПУ.

Для осаждения покрытия АПУ использовалась установка УВНИПА-1-002, оборудованная двумя источниками дуговой плазмы и четырьмя ионно-лучевыми источниками с анодным слоем типа «Радикал». После откачки вакуумной камеры до остаточного давления порядка $5 \cdot 10^{-3}$ Па для удаления с поверхности образцов следов органических загрязнений выполнялась ионно-лучевая очистка (ИЛО) поверхности ионами аргона при следующих параметрах работы ионных источников: давление аргона $1,5 \cdot 10^{-2}$ Па, ускоряющее напряжение 3,5–4,0 кВ, ускоряющий ток 50–70 мА, время обработки 60 мин. Затем формировалось покрытие АПУ из плазмы импульсного высокотокового разряда. Источники плазмы работали при следующих параметрах: напряжение разряда 340 В, емкость разрядной батареи 2150 мкФ, общая частота следования разрядных импульсов (на два источника) 5 Гц, общее число разрядных импульсов 20 000 (по 10 000 импульсов на каждый источник). В качестве реакционного углеводородного газа использовался ацетилен, подаваемый в вакуумную камеру до давления порядка 0,1 Па. Толщина осажденного покрытия АПУ составила порядка 0,7–1,0 мкм (рис. 2).

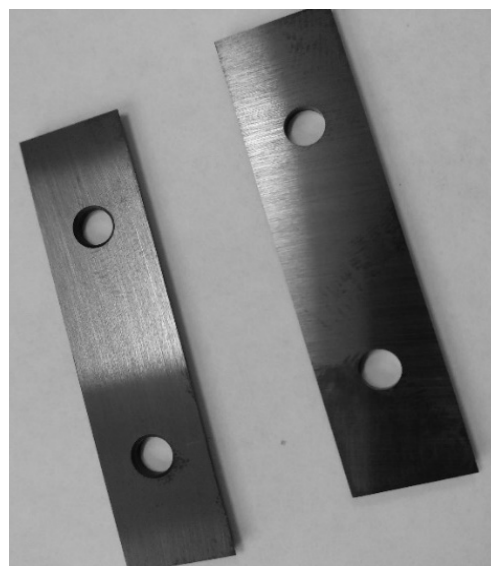


Рис. 2. Дереворежущие ножи концевой фрезы с комбинированным алмазоподобным DLC-покрытием 2

Производственные испытания технологической стойкости фрезерных ножей с алмазоподобными DLC-покрытиями в составе конструкций концевой инструмента проводились в условиях ОАО «Слониммебель» при выполнении технологической операции контурного вибрационного фрезерования материала МДФ на машине Biesse Rover A4.30 (рис. 3).



Рис. 3. Машина Biesse Rover A4.30 с числовым программным управлением

Обоснованным технологическим режимом обработки материала ножами с DLC-покрытием по критерию требуемой производительности принят следующий: обрабатываемый материал MDF толщиной 22–44 мм; диаметр резания 25 мм, частота вращения инструмента $18\,000\text{ мин}^{-1}$, скорость подачи 4 м/мин, частота осевого перемещения 10 Гц, амплитуда колебаний 0,2 мм.

Результаты экспериментальных исследований показали значительное повышение технологической стойкости ножей с алмазоподобными DLC-покрытиями. В таблице приведены результаты сравнения технологической стойкости фрезерных ножей с алмазоподобным DLC-покрытием и без него.

Сравнительная характеристика износостойкости ножей

Наименование экспериментального образца	Суммарный путь резания, п. м
Нож BK8 без покрытия	1052
Нож BK8 с DLC-покрытием 1	3216
Нож BK8 с комбинированным DLC-покрытием 2	2401

Из таблицы видно, что использование алмазоподобных покрытий увеличивает технологическую стойкость ножей из твердого сплава BK8 в 2,4–3,2 раза. Кроме того, за счет снижения коэффициента трения на поверхности ножа снижается мощность на резание, что согласуется с наблюдениями о повышении производительности обработки. Обычно повышенная долговечность и эффективность процесса резания имеют прямое влияние на экономические показатели предприятий [15].

Заключение. Экспериментальные исследования технологической стойкости инструмента в производственных условиях деревообрабатывающего предприятия показали, что применение алмазоподобных DLC-покрытий на ножах дереворежущего инструмента значительно повышает их технологическую стойкость и эффективность работы. Увеличение суммарного пути резания до 3216 п. м в сравнении с 1052 п. м без покрытия является убедительным показателем эффективности применяемой технологии использования DLC-покрытий на ножах дереворежущего инструмента.

Долговечность и высокая производительность режущего инструмента при его эффективной эксплуатации позволит предприятиям снизить затраты на переподготовку инструментов к работе и повысить качество обработки изделий, что в свою очередь будет способствовать улучшению конкурентоспособности получения готовой продукции.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на использование различных комбинаций алмазоподобных DLC-покрытий и их сочетаний с другими методами обработки, что позволит углубить понимание физических процессов, происходящих при резании древесины.

Список литературы

1. Эффективность применения TiN-, ZrN-, Ti–Zr–N- и Ti-покрытий на твердосплавных резцах при обработке ламинированных древесно-стружечных плит концевыми фрезами / А. А. Гришкевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. VI, Физ.-мат. науки и информатика. 2008. Вып. XVI. С. 52–54.
2. Properties of coatings based on Cr, Ti, Mo nitrides with embedded metals deposited on cutting tools / A. K. Kuleshov // Journal of Friction and Wear. 2011. P. 192–198.
3. Способ получения износостойких сверхтвердых покрытий: пат. RU 2360032 C1 / В. С. Беляев, А. Э. Давлетшин, С. А. Плотников, И. Ш. Трахтенберг, А. Б. Владимиров. Опубл. 27.06.2009.

4. Low Friction CrN/TiN Multilayer Coatings Prepared by a Hybrid High Power Impulse Magnetron Sputtering / DC Magnetron Sputtering Deposition Technique / J. Paulitsch [et al.] // *Thin Solid Films*. 2010. Vol. 518. P. 5553–5557.
5. Структура и свойства многослойных систем TiN/MoN, полученных методом дугового испарения / А. Д. Погребняк [и др.] // *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.* 2015. № 48. С. 222–228.
6. Nano-Structured CrN/AlN Multilayer Coatings Synthesized by Pulsed Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering / J. Lin [et al.] // *Surf. Coat. Technol.* 2009. Vol. 204. P. 936–940.
7. Veprek S., Veprek-Heijman M. J. G. Industrial application of superhard nanocomposite coatings // *Surface and Coating Technology*. 2008. Vol. 202. P. 5063–5073.
8. The effect of temperature on wear mechanism of the AlCrN coated components / M. Michalak [et al.] // *Key Engineering Materials*. 2016. Vol. 674. P. 233–238.
9. The Leitz Lexicon. Handbook for woodworking machine tools. Edition 4. Oberkochen: Gerb. Leitz GmbH & Co, 2011. 832 p.
10. Раповец В. В. Повышение периода стойкости режущего инструмента фрезерно-брусующих станков при использовании твердого сплава в конструкциях двухлезвийных ножей // *Труды БГТУ*. 2014. № 2: Лесная и деревообраб. пром-сть. С. 152–154.
11. Боровиков С. М., Ридаль Р. В., Терещук О. И. Методы нанесения DLC-покрытий // *Молодой ученый*. 2021. № 43 (385). С. 16–19.
12. Voevodin A. A., Zabinski J. S. Superhard, functionally gradient, nanolayered and nanocomposite diamond-like carbon coatings for wear protection // *Diamond and Related Materials*. 2000. No. 9 (2). P. 162–171.
13. Tribological properties of DLC coatings in combination with biodegradable oils / B. Podgornik B [et al.] // *Tribology International*. 2012. No. 46. P. 58–66.
14. Properties of tetrahedral amorphous carbon prepared by vacuum arc deposition / B. Tay K. [et al.] // *Diamond and Related Materials*. 1999. No. 8 (2-5). P. 377–381.
15. Методика расчета мощности в программной среде LS-DYNA через мгновенные значения сил и скоростей резания при фрезеровании древесины / В. В. Раповец [и др.] // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2018. № 2 (210). С. 290–295.

References

1. Grishkevich A. A., Chaevsky V. V., Uglov V. V., Kuleshov A. K. Efficiency of using TiN, ZrN, Ti–Zr–N and Ti coatings on carbide cutters during processing of laminated chipboards with end mills. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series VI, Physics and Mathematics Informatics, 2008, issue XVI, pp. 52–54 (In Russian).
2. Kuleshov A. K., Uglov V. V., Chaevski V. V., Anishcik V. M. Properties of coatings based on Cr, Ti, Mo nitrides with embedded metals deposited on cutting tools. *Journal of Friction and Wear*, 2011, vol. 32, no. 3, pp. 192–198.
3. Belyaev V. S. Method for producing wear-resistant superhard coatings. Patent RU 2360032, 2009 (In Russian).
4. Paulitsch J., Schenkel M., Schintlmeister A., Hutter H., Mayrhofer P. H. Low Friction CrN/TiN Multilayer Coatings Prepared by a Hybrid High Power Impulse Magnetron Sputtering / DC Magnetron Sputtering Deposition Technique. *Thin Solid Films*, 2010, vol. 518, pp. 5553–5557.
5. Pogrebnyak A. D., Eyidi D., Abadias G., Bondar O. V., Beresnev V. M., Sobol O. V. Structure and properties of multilayer TiN/MoN systems obtained by arc evaporation. *Int. J. Refract. Met. Hard Mater.*, 2015, no. 48, pp. 222–228 (In Russian).
6. Lin J., Moore J. J., Mishra B., Pinkas M., Sproul W. D. Nano-Structured CrN/AlN Multilayer Coatings Synthesized by Pulsed Closed Field Unbalanced Magnetron Sputtering. *Surf. Coat. Technol.*, 2009, vol. 204, pp. 936–940.
7. Veprek S., Veprek-Heijman M. J. G. Industrial application of superhard nanocomposite coatings. *Surface and Coating Technology*, 2008, vol. 202, pp. 5063–5073.
8. Michalak M., Michalczewski R., Osuch-Słomka E., Maldonado-Corte's D., Szczerek M. The effect of temperature on wear mechanism of the AlCrN coated components. *Key Engineering Materials*, 2016, vol. 674, pp. 233–238.
9. The Leitz Lexicon. Handbook for woodworking machine tools. Edition 4. Oberkochen, Gerb. Leitz GmbH & Co Publ., 2011. 832 p.
10. Rapovets V. V. Increasing the service life of the cutting tool of milling and canting machines using hard alloy in the designs of double-blade knives. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forestry and Woodworking Industry, pp. 152–154 (In Russian).

11. Borovikov S. M., Pigal R. V., Tereshchuk O. I. Methods of applying DLC-coatings. *Molodoy uchenyy*, [Young scientist], 2021, no. 43 (385), pp. 16–19 (In Russian).
12. Voevodin A. A., Zabinski J. S. Superhard, functionally gradient, nanolayered and nanocomposite diamond-like carbon coatings for wear protection. *Diamond and Related Materials*, 2000, no. 9 (2), pp. 162–171.
13. Podgornik B. Tribological properties of DLC coatings in combination with biodegradable oils. *Tribology International*, 2012, no. 46, pp. 58–66.
14. Tay B. K. Properties of tetrahedral amorphous carbon prepared by vacuum arc deposition. *Diamond and Related Materials*, 1999, no. 8 (2-5), pp. 377–381.
15. Rapovets V. V., Klepatsky I. K., Medvedev S. V., Ivanets G. G. Methodology for calculating power in the LS-DYNA software environment through instantaneous values of cutting forces and speeds during wood milling. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 2 (210), pp. 290–295 (In Russian).

Информация об авторах

Раповец Вячеслав Валерьевич – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: slavyan_r@mail.ru

Лукаш Валерий Тадеушевич – кандидат технических наук, доцент кафедры деревообрабатывающих станков и инструментов. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: lukash_valeriyy@rambler.ru

Мазовка Мирон Александрович – студент. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь).

Information about the authors

Rapovets Vyacheslav Valerievich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: slavyan_r@mail.ru

Lukash Valery Tadeushevich – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Machines and Tools. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: lukash_valeriyy@rambler.ru

Mazovka Miron Aleksandrovich – student. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus).

Поступила 18.03.2025

УДК 004.92:684.7

И. А. Латышевич, В. А. Останин

Белорусский государственный технологический университет

**СПОСОБЫ СОЗДАНИЯ ВИРТУАЛЬНЫХ ПРОТОТИПОВ
ИЗДЕЛИЙ МЕБЕЛИ ДЛЯ ДОПОЛНЕННОЙ РЕАЛЬНОСТИ (ОБЗОР)**

Иммерсивные технологии активно используются различными отраслями промышленности, и деревообрабатывающая не стала исключением. Они позволяют наглядно осуществлять проверку проектируемого объекта, выявлять ошибки на ранних стадиях проектирования, а также проводить обучение молодого специалиста, что приводит к значительному снижению временных и энергетических затрат, исключает риски аварии или поломки дорогостоящего оборудования, при этом повышает скорость работы и качество проектирования. Дополненная реальность дает возможность визуализировать мебель в реальном пространстве, сохраняя ее размеры, форму и цвет.

Целью данного исследования является изучение процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности.

Полученные в ходе научного исследования данные позволили осуществить комплексный анализ процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности, а также установить, что для разработки AR-проекта наиболее подходящими программами из перечисленных являются Autodesk Inventor и Autodesk 3ds Max.

Использование Autodesk Inventor для создания базовых 3D-моделей и Autodesk 3ds Max для более сложных и детализированных объектов дает возможность построить комплексную и реалистичную 3D-среду, которую можно будет интегрировать в Unity для создания увлекательного AR-приложения. Научное исследование, несомненно, имеет практическую значимость для мебельной промышленности. Оно позволяет создавать более эффективные и качественные AR-приложения для визуализации мебели в реальном пространстве. При этом наблюдается усовершенствование процесса разработки, производства и продажи мебели, а также улучшение взаимодействия между производителями и потребителями.

Ключевые слова: иммерсивные технологии, виртуальная реальность, дополненная реальность.

Для цитирования: Латышевич И. А., Останин В. А. Способы создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2025. № 2 (294). С. 194–204.

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-21.

I. A. Latyshevich, V. A. Ostanin

Belarusian State Technological University

**WAYS TO CREATE VIRTUAL PROTOTYPES OF FURNITURE PRODUCTS
FOR AUGMENTED REALITY (REVIEW)**

Immersive technologies are actively used by various industries, and woodworking is no exception. They allow you to visually check the designed object, identify errors at the early stages of design, and also train a young specialist, which leads to a significant reduction in time and energy costs, eliminates the risk of an accident or breakdown of expensive equipment, while increasing the speed of work and the quality of design. Augmented reality makes it possible to visualize furniture in real space, preserving its size, shape and color.

The purpose of this study is to study the process of creating virtual prototypes of furniture products for augmented reality.

The data obtained during the scientific study made it possible to carry out a comprehensive analysis of the process of creating virtual prototypes of furniture products for augmented reality, and also to establish that the most suitable programs for developing an AR project from the listed ones are Autodesk Inventor and Autodesk 3ds Max. Using Autodesk Inventor to create basic 3D models and Autodesk 3ds Max for more complex and detailed objects makes it possible to build a comprehensive and realistic 3D environment that can be integrated into Unity to create an engaging AR application. The research certainly has practical implications for the furniture industry. It allows for the creation of more efficient and high-quality AR applications for visualizing furniture in real space. At the same time, there is an improvement in the process of developing, producing and selling furniture, as well as improving the interaction between manufacturers and consumers.

Keywords: immersive technologies, virtual reality, augmented reality.

For citation: Latyshevich I. A., Ostanin V. A. Ways to create virtual prototypes of furniture products for augmented reality (review). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2025, no. 2 (294), pp. 194–204 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2025-294-21.

Введение. В современном мире технологии виртуальной (VR) и дополненной (AR) реальности, так называемые иммерсивные технологии, нашли широкое применение в различных отраслях промышленности. Деревообрабатывающая промышленность не стала исключением.

В начале XXI в. данные технологии были доступны только корпорациям мирового уровня, таким как авиа- и машиностроение. Это было обусловлено высокой стоимостью и сложностью в эксплуатации специального оборудования [1, 2]. Однако высокие темпы развития материально-технического оснащения предприятий существенно расширили область применения иммерсивных технологий [3].

Основными задачами при проектировании мебели с использованием данных технологий является возможность наглядного осуществления проверки своего объекта и выявление ошибок на ранних стадиях проектирования, а также обучение молодого специалиста. Перечисленные аспекты позволяют значительно снизить временные и энергетические затраты, риски аварии или поломки дорогостоящего оборудования, при этом повысить скорость работы и качество проектирования [4–6].

AR позволяет пользователям визуализировать мебель в реальном пространстве, обеспечивая более точное представление о ее размерах, форме и цвете, а также о том, как она будет смотреться в конкретном интерьере [7, 8].

Проанализировав результаты применения VR в мировой практике, можно сделать вывод, что многим мировым предприятиям удалось сэкономить до 12 месяцев от общего времени на разработку проекта и на 90% избавиться от эргономических проблем (обеспечение удобства работы и безопасности персонала на высоком уровне) [9–11].

Современным подходом в разработке новой продукции, представляющим собой инновационные технологии воспроизведения виртуального образа изделия, является виртуальное прототипирование [12, 13].

Целью данного исследования является изучение процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности.

Основная часть. Виртуальное прототипирование (Virtual Prototyping) – это методология работы в виртуальной реальности с инженерной 3D-моделью изделия. Оно позволяет проверять и оптимизировать конструкции в виртуальной сре-

де, что значительно сокращает время и затраты на создание физических прототипов [14, 15].

Прототипирование заключается в использовании программного обеспечения (ПО) для автоматизированного проектирования (CAD), компьютерно-автоматизированного проектирования (CAutoD) и автоматизированного проектирования (CAE) для проверки проекта. При этом осуществляется создание сгенерированных компьютером геометрических форм (деталей), объединение их в сборку, тестирование различных механических движений, подгонка и функционирование. Сборка или отдельные детали мебели могут быть открыты в программном обеспечении CAE как цифровые двойники для имитации поведения продукта в реальном мире [16].

Создание виртуальных прототипов мебели для AR начинается со сбора достоверных данных о конкретных изделиях [17, 18]. Этот этап занимает ключевую позицию в точном воссоздании модели в виртуальной среде и обеспечивает высокое качество визуализации.

Следует выделить следующие способы сбора данных в мебельном производстве.

1. Фотографии и сканирование: для этого способа характерно использование фотографирования и сканирования реальных предметов мебели. Современные технологии сканирования позволяют создавать точные трехмерные модели, которые затем используют в виртуальных прототипах.

2. CAD-модели, которые являются основой для создания виртуальных прототипов. К недостаткам способа следует отнести проведение дополнительной работы по оптимизации моделей для использования в AR-приложениях.

3. Специализированные приложения: в конкретном способе применяются приложения и устройства, специально разработанные для создания трехмерных моделей изделий. Они часто включают в себя функции сканирования и редактирования, что делает процесс создания виртуальных прототипов более доступным [19–22].

Выбор подходящего способа сбора данных зависит от конкретных потребностей и возможностей производителя изделий. Критически важно обеспечить высокую точность и качество данных, чтобы виртуальные прототипы могли полностью отражать реальные изделия и обеспечивать удовлетворительный пользовательский опыт в AR.

Следующим этапом в виртуальном прототипировании для мебельного производства является

создание трехмерной модели, которая будет использована для AR. Этот этап требует тщательной работы и внимания к деталям с целью обеспечения точного и реалистичного воссоздания изделий [17].

Процесс разработки трехмерной модели состоит из следующих ключевых этапов.

1. Подготовка данных: проводится предварительная обработка данных при использовании фотографий или сканированных объектов, при этом удаляют ненужные элементы, осуществляют коррекцию перспективы и проводят дополнительные манипуляции для улучшения качества.

2. Моделирование: создается цифровая модель мебели с применением специализированного ПО, такого как Blender, Autodesk 3ds Max или SketchUp, с целью создания формы, текстуры и других деталей мебельного изделия.

3. Оптимизация: осуществляют уменьшение числа полигонов и оптимизацию текстур с целью снижения нагрузки на систему и улучшения скорости работы приложения.

4. Добавление дополнительных деталей: для создания более реалистичных и привлекательных виртуальных прототипов в зависимости от требований проекта используют дополнительные детали, такие как декоративные элементы, фурнитуру или даже анимацию.

5. Тестирование и итерации: после завершения моделирования проводится тестирование виртуального прототипа на соответствие ожиданиям и качеству визуализации. При запросе заказчика осуществляют итерацию и коррекцию для достижения желаемого результата.

Разработка трехмерной модели является фундаментальным этапом в создании виртуальных прототипов мебели для AR и определяет конечное визуальное впечатление пользователей. Тщательное выполнение описанного выше этапа гарантирует высокое качество и удовлетворение от использования AR-приложений в дизайне мебели [23–26].

После создания трехмерной модели мебели изделие интегрируется в приложение AR. Этот этап включает в себя техническую реализацию и разработку пользовательского интерфейса для удобного взаимодействия с виртуальными прототипами.

Ключевыми аспектами интеграции моделей мебели в AR-приложения являются следующие.

1. Выбор платформы: перед началом разработки необходимо определить целевую платформу для приложения AR. Это могут быть мобильное устройство (iOS или Android), AR-очки и др. Каждая платформа имеет свои особенности, которые нужно учитывать при разработке.

2. Программирование: разработка функционала AR включает в себя программирование с

использованием специализированных AR-фреймворков, таких как ARKit для iOS или ARCore для Android. Эти инструменты предоставляют Application Programming Interface (API) для работы с трехмерными моделями, отслеживания местоположения и других аспектов AR [27, 28].

3. Отображение модели: важным шагом является правильное отображение трехмерной модели мебели в AR-приложении. Оно включает в себя корректное масштабирование и позиционирование модели в реальном пространстве, а также учет освещения и теней для создания реалистичного визуального эффекта.

4. Интерактивность: для улучшения модели добавляются интерактивные элементы, такие как изменение цвета или конфигурации мебели, анимация при взаимодействии. Все это позволяет создать виртуальные прототипы более функциональными.

5. Тестирование и оптимизация: после завершения разработки проводится тестирование приложения, а также его оптимизация для обеспечения плавного и стабильного функционирования на различных устройствах и при разных условиях использования.

Интеграция моделей мебели в AR-приложения открывает новые возможности для визуализации и взаимодействия с мебелью в виртуальной среде. Правильная реализация этого этапа обеспечивает удобство использования приложений и удовлетворение потребностей пользователей [29, 30].

Актуальными ПО, которые в настоящее время используются для создания виртуального прототипа, являются Blender, Autodesk Maya, Autodesk 3ds Max, SketchUp, Rhinoceros 3D, Cinema 4D, SolidWorks, Fusion 360, ZBrush, Modo, Houdini, Daz Studio, Substance Designer, Substance Painter, Marvelous Designer, LightWave 3D, Vectary, Clara.io, SculptGL, MODO, 3D-Coat, Wings 3D, FreeCAD, Tinkercad, AutoCAD, Autodesk Inventor, Revit, CATIA, ArchiCAD, MODO Design 3D, RhinoGold, BlenderBIM, Vectr, Morphi, BricsCAD, DesignSpark Mechanical, PTC Creo, Siemens NX, KeyCreator, Onshape, TurboCAD, Pro/ENGINEER, CADMATE, Shapr3D, Design Doll, Sweet Home 3D, DesignCAD 3D Max, DraftSight, FreeCAD, HomeByMe.

Выделим наиболее распространенные ПО, задействованные в процессе дизайна и конструирования мебельной продукции, рассмотрим их преимущества и недостатки.

Blender – профессиональное свободное и открытое программное обеспечение для создания трехмерной компьютерной графики, включающее в себя средства моделирования, скульптинга, анимации, симуляции, рендеринга, постобработки и монтажа видео со звуком, компоновки с помощью «узлов», а также создания 2D-анимаций.

В настоящее время пользуется большой популярностью среди бесплатных 3D-редакторов в связи с его быстрым стабильным развитием и технической поддержкой. Blender основан на сетке и больше подходит для графических приложений и работы с органическими моделями, в нем не работают с (истинными) 3D-объектами, а взаимодействуют с сетками, внутренняя часть которых полая. Характерной особенностью пакета Blender является его небольшой размер по сравнению с другими популярными пакетами для 3D-моделирования [31, 32].

Blender может оперировать системами частиц, контролировать вес отдельных частиц при текстурировании, применять направляющие при анимации и использовать внешние силы, например ветер. Кроме того, в программе имеется симулятор флюидов, который открывает перед пользователем огромные возможности по созданию эффектов текучих тел, таких как дым или жидкости. В режиме реального времени пользователь может просчитывать физические задачи, например моделировать поведение мягких тел. В Blender большое количество модификаторов [33, 34].

Следует выделить основные преимущества и недостатки описанного ПО.

Преимущества программы Blender:

- доступность: распространяется бесплатно и доступна для скачивания на любой платформе (Windows, macOS, Linux);
- многофункциональность: охватывает широкий спектр задач в 3D-графике, включая моделирование, текстурирование, анимацию, рендеринг, композитинг и создание видео;
- открытый исходный код: является open-source-проектом. Разработчики и сообщество могут внести свой вклад в развитие и улучшение программы;
- кроссплатформенность: работает на различных операционных системах, что облегчает обмен проектами и совместную работу;
- высокая производительность: обладает мощными возможностями рендеринга и анимации, что позволяет создавать высококачественные 3D-проекты.

Недостатки программы Blender:

- небольшой выбор плагин и расширений: в сравнении с некоторыми коммерческими 3D-редакторами имеет меньший набор доступных плагинов и расширений;
- ограниченная поддержка некоторых форматов: не всегда идеально совместима с некоторыми распространенными файловыми форматами;
- сложность настройки: предлагает множество параметров и настроек, что может потребовать больше времени на установку проекта;
- отсутствие официальной сертификации: в отличие от некоторых коммерческих продуктов

не предлагает официальных сертификатов или учебных программ.

Несмотря на эти недостатки, Blender остается одним из наиболее мощных и популярных бесплатных 3D-редакторов, предлагающих широкие возможности для творчества и профессиональной работы.

AutoCAD – это система автоматизированного проектирования, которая является мировым лидером среди графических программ для 2D- и 3D-проектирования [35]. Первая версия этой программы была разработана компанией Autodesk и выпущена в 1982 г. Программа выпускается на 18 языках. Уровень локализации варьируется от полной адаптации до перевода только справочной документации. Она доступна на операционных системах семейства Microsoft Windows и macOS, а мобильное приложение на системах iOS и Android. Основным языком программирования в программном продукте AutoCAD является язык AutoLISP, впервые появившийся в 1986 г. в промежуточной версии 2.18. AutoLISP – диалект языка LISP, обеспечивающий широкие возможности для автоматизации работы в AutoCAD. В этом языке реализовано тесное взаимодействие с командной строкой, что позволяет разработчикам и пользователям писать функции и макропрограммы [35].

AutoCAD также имеет ряд преимуществ и недостатков.

Преимущества программы AutoCAD:

- широкая функциональность: AutoCAD предоставляет широкий спектр инструментов для 2D- и 3D-проектирования, черчения, моделирования, визуализации и т. д.;
- высокая точность и детализация: позволяет создавать точные и детализированные чертежи с возможностью использования различных масштабов;
- совместимость: работает с большим количеством файловых форматов, что облегчает обмен данными с другими программами и специалистами;
- расширяемость: может быть расширена с помощью специализированных надстроек и приложений, что позволяет адаптировать ее под конкретные потребности пользователя.
- широкое признание в отрасли: является стандартом во многих областях проектирования.

Недостатки программы AutoCAD:

- сложность освоения: имеет довольно некачественную систему обучения, что может быть проблемой для начинающих пользователей;
- высокая стоимость: лицензия на AutoCAD, особенно на профессиональные версии, достаточно дорогая;
- требовательность к ресурсам: предъявляет высокие требования к аппаратному обеспечению, особенно при работе с тяжелыми 3D-моделями;

- ограниченность базовых функций: для выполнения некоторых задач могут потребоваться дополнительные модули или надстройки, что увеличивает общую стоимость;

- сложность интеграции с другими системами: объединение с некоторыми специализированными САПР-системами может быть трудоемким и требовать дополнительных усилий [36].

В целом AutoCAD остается одним из ведущих САПР-решений, особенно в области архитектуры, строительства, машиностроения и других инженерных дисциплин. Выбор AutoCAD зависит от конкретных требований и бюджета организации.

SketchUp – программа, которой пользуются как студенты вузов, так и серьезные проектные организации, и фрилансеры. «Конек» SketchUp – эскизное проектирование различных объектов. Этой программой очень удобно пользоваться на начальном этапе проектирования, когда надо быстро и доступно показать общий объем и идею проектируемого объекта. В процессе работы понадобится лишь создать с помощью фигур и линий общие объемы и наложить на них необходимые текстуры. Эта работа быстра в исполнении, также на этом этапе можно настроить источники света. Процесс проектирования в программе очень прост и отчасти схож с рисунком на листе бумаги. Однако получаемый в итоге результат может быть вполне реалистичным. Если при этом пользоваться программой Photoshop, можно получить вполне качественную визуализацию готового проекта. Для этого надо лишь доработать модель в фотошопе, добавить реалистичные объекты, людей, растения, сделать тени и текстуры.

Следует отметить, что готовые проекты SketchUp сохраняются в формате *.skp. Программой также поддерживается импорт и экспорт других форматов двухмерной растровой и трехмерной графики, таких как *.3ds, *.dwg, *.ddf; *.jpg, *.png, *.bmp, *.psd, *.obj. Импорт растровой графики имеет несколько возможностей: вставка образа в качестве отдельного объекта, текстуры и основы для восстановления трехмерного объекта по фотографии [37–39].

Для данного ПО характерны свои преимущества и недостатки.

Преимущества программы SketchUp:

- простота использования: имеет интуитивно понятный интерфейс и инструменты, которые легко освоить даже начинающим пользователям;

- быстрое моделирование: благодаря инструментам для быстрого построения геометрии, позволяет в краткие сроки создавать 3D-модели;

- широкие возможности: предлагает широкий спектр инструментов для моделирования, текстурирования, визуализации и анимации;

- интеграция с другими приложениями: может импортировать и экспортировать файлы различных форматов, что позволяет интегрировать ее с другими программами;

- наличие онлайн-библиотек: доступно большое количество бесплатных 3D-моделей, текстур и плагинов.

Недостатки программы SketchUp:

- ограниченные возможности при сложном моделировании: хороша для быстрого моделирования простых форм;

- недостаточная точность: не предназначена для высокоточного инженерного моделирования, поэтому может быть менее точной, чем другие САПР-системы;

- ограниченные возможности визуализации: встроенные инструменты визуализации имеют ограниченные возможности по сравнению со специализированными программами;

- отсутствие возможности параметрического моделирования: не поддерживает параметрическое моделирование, что может быть ограничением для некоторых проектов;

- платная версия для профессионального использования: базовая версия бесплатна, но для профессионального использования требуется покупка лицензии [40].

В целом SketchUp является отличным выбором для быстрого 3D-моделирования, особенно для архитектуры, дизайна интерьеров и других подобных задач. Однако при работе с более сложными инженерными проектами могут потребоваться другие САПР-системы.

Autodesk 3ds Max – это программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации и рендеринга, разработанное компанией Autodesk. Оно широко используется в различных отраслях, таких как архитектура, дизайн интерьеров, киноиндустрия и видеоигры. Благодаря своим обширным возможностям и гибкости Autodesk 3ds Max является незаменимым инструментом для профессионалов [41].

Autodesk 3ds Max предлагает широкий набор инструментов для создания сложных 3D-моделей. Среди них полигональное моделирование, которое позволяет создавать модели с высокой детализацией. Этот метод моделирования основан на использовании многоугольников (полигонов) для создания сложных форм и структур. Полигональное моделирование является одним из самых популярных методов в 3D-графике благодаря своей гибкости и точности; NURBS-моделирование применяется для создания гладких и органических форм. NURBS (Non-Uniform Rational B-Splines) позволяет создавать модели с использованием кривых и поверхностей, что делает его идеальным для создания объектов с плавными и органическими формами, таких как автомобили или

персонажи. Сплайны – это кривые, которые могут быть использованы для создания сложных геометрических форм и поверхностей. Этот метод моделирования особенно полезен для создания архитектурных элементов и декоративных деталей.

Autodesk 3ds Max поддерживает различные рендер-движки, такие как Arnold, который обеспечивает высокое качество изображения. Он известен своей способностью создавать фотореалистичные изображения и поддерживает множество передовых технологий, таких как глобальное освещение и трассировка лучей; V-Ray – популярный рендер-движок, известный своей скоростью и качеством; Mental Ray – предлагает широкий спектр инструментов для создания реалистичных изображений и поддерживает множество форматов и стандартов [42].

Autodesk 3ds Max также предлагает множество дополнительных инструментов и плагинов, которые расширяют его возможности: симуляция частиц, позволяющая создавать эффекты, такие как дым, огонь и вода, которые добавляют динамику и реализм в сцены; текстурирование, включающее инструменты для создания и применения текстур и материалов к моделям, что позволяет добавлять детали и глубину моделям; скриптинг и автоматизация, заключающиеся в поддержке MaxScript и Python для усовершенствования задач и создания пользовательских инструментов [43].

Преимущества программы Autodesk 3ds Max:

- широкий инструментарий: предлагает обширный набор инструментов и функций для 3D-моделирования, текстурирования, анимации, визуализации и рендеринга;
- высокая производительность: отличается высокой производительностью и стабильностью, особенно при работе с крупными проектами;
- интегрированный рендер: имеет встроенный рендер-движок (Mental Ray, V-Ray, Arnold и др.), что упрощает и ускоряет процесс визуализации;
- расширяемость: обладает широким спектром плагинов и скриптов, которые используют для расширения ее функциональности;
- интеграция с другими приложениями: легко интегрируется с другими программами, такими как Adobe Creative Cloud, позволяя создавать комплексные мультимедийные проекты.

Недостатки Autodesk 3ds Max:

- высокая стоимость: является одним из самых дорогих программных продуктов в своем классе, что может быть барьером для начинающих или небольших студий;
- сложность освоения: имеет довольно сложный интерфейс и требует существенного времени на обучение и освоение всех ее функций;
- ограниченная поддержка некоторых платформ: в основном ориентирована на работу с

Windows, в то время как на macOS и Linux ее использование затруднено;

- высокие системные требования: для эффективной работы в 3ds Max требуется мощное аппаратное обеспечение, включая современный процессор, большой объем оперативной памяти и высокопроизводительную видеокарту;

- зависимость от лицензии: требует наличия действующей лицензии, что может создавать проблемы при переходе на другие рабочие места или при необходимости коллективной работы [44].

Autodesk Inventor – система трехмерного параметрического проектирования компании Autodesk, предназначенная для создания прототипов промышленных изделий. Инструменты этого программного обеспечения предоставляют инженеру-разработчику полный цикл проектирования и создания конструкторской документации [45].

Autodesk Inventor's API представлено на базе Microsoft технологии Automation. Эта технология позволяет обращаться к COM – объектам из интерпретаторов скриптовых языков. Первый способ разработки приложений для автоматизации проектирования представляет собой написание макросов в программной среде VBA. Они могут быть запущены только вручную непосредственно из Inventor. VBA применяется для оценки текущего состояния Inventor, например при отладке приложений, написанных на языках C# или VB.NET. Еще одним вариантом для работы с макросами является встроенная в Inventor среда iLogic. За разработку не надстроек, а отдельных Standalone EXE отвечает .NET Framework. Все преимущества данной платформы сохраняются и в отношении Inventor's API [46].

Преимущества программы Autodesk Inventor:

- интуитивный и удобный интерфейс, который легко осваивается даже начинающими пользователями;
- мощные инструменты для создания сложных 3D-моделей деталей, сборок и механизмов;
- широкие возможности визуализации и анимации, включая фотореалистичную визуализацию;
- интеграция с другими продуктами Autodesk, такими как AutoCAD, Fusion 360 и др.;
- поддержка многих форматов файлов, что облегчает обмен данными;
- наличие инструментов для инженерного анализа и проведения прочностных расчетов;
- возможность создания технической документации, такой как чертежи, спецификации и т. д.

Недостатки программы Autodesk Inventor:

- высокая стоимость лицензии, особенно для коммерческого использования;
- ограниченная функциональность в базовой версии, что требует покупки дополнительных модулей;

- требовательность к аппаратному обеспечению компьютера, особенно при работе со сложными моделями;

- отсутствие бесплатной версии для личного или некоммерческого использования;

- низкая кроссплатформенность: работает только на Windows, в то время как ряд конкурентов имеют версии под macOS и Linux [47].

В целом Autodesk Inventor является достаточно мощным и функциональным CAD-решением, особенно для инженеров, проектировщиков и производственных предприятий. Однако его использование требует значительных финансовых и временных инвестиций.

Заключение. Таким образом, в ходе исследовательской работы проведен комплексный анализ процесса создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности. Установлено, что для создания AR-проекта наиболее подходящими программами из перечисленных являются Autodesk Inventor и Autodesk 3Ds Max.

Autodesk Inventor – это программное обеспечение для трехмерного (3D) моделирования и проектирования, которое позволяет создавать и визуализировать сложные 3D-модели различных объектов и механизмов. Эта программа особенно полезна для разработки твердотельных 3D-моделей, которые могут быть впоследствии экспор-

тированы в Unity для использования в AR-приложении.

Autodesk 3ds Max – программное обеспечение для 3D-моделирования, анимации, визуализации и рендеринга. Оно предоставляет широкий спектр инструментов и функций для создания высококачественных 3D-моделей, анимаций и визуальных эффектов. 3ds Max особенно хорошо подходит для создания более сложных и детализированных 3D-моделей, которые могут быть затем импортированы в Unity для использования в AR-проекте.

Использование Autodesk Inventor для создания базовых 3D-моделей и Autodesk 3Ds Max для более сложных и детализированных объектов дает возможность построить комплексную и реалистичную 3D-среду, которую можно будет интегрировать в Unity для создания увлекательного AR-приложения.

Полученные результаты имеют практическую значимость для мебельной промышленности, заключающуюся в создании более эффективных и качественных AR-приложений для визуализации мебели в реальном пространстве, что позволяет совершенствовать процесс разработки, производства и продажи мебели, а также способствует улучшению взаимодействия между производителями и потребителями.

Список литературы

1. Иммерсивные технологии (VR, MR, AR, 3D-интерактив, 3D mapping) // УГМК-Телеком. URL: <https://ut-b2b.ru/otraslevye-resheniya/tekhnologii/immersivnye-tekhnologii-vr-mr-ar-3d-interaktiv-3d-mapping/> (дата обращения: 15.04.2025).
2. VR в промышленности // Habr. URL: <https://habr.com/ru/post/509374> (дата обращения: 15.04.2025).
3. Чуйков А. С., Куневич В. О., Игнатович Л. В. Особенности иммерсивных технологий, применяемых при проектировании мебели // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 174–180.
4. Барташевич А. А., Трофимов С. П. Конструирование мебели. Минск: Соврем. шк., 2006. 336 с.
5. Барташевич А. А., Гайдук С. С. Конструирование изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2016. 145 с.
6. Чуйков А. С. Моделирование объектов дизайна. Минск: БГТУ, 2019. 94 с.
7. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York: Springer, 2015. 510 p.
8. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York: Springer Science and Business Media, 2016. 213 p.
9. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London: Springer-Verlag, 2014. 104 p.
10. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC: T. M. C. Asser Press, 2016. 212 p.
11. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena: Apress, 2020. 347 p.
12. AR, VR и MR технологии. Что это и как применять? // Helmeton. URL: <https://helmeton.ru/blog/razlichiya-i-sfery-primeneniya-ar-vr-mr/> (дата обращения: 14.04.2025).
13. Куда нас погружают иммерсивные технологии // Harb. URL: <https://habr.com/ru/company/vtb/blog/463707/> (дата обращения: 14.04.2025).
14. Чуйков А. С., Тулейко В. В., Игнатович Л. В. Использование аддитивных технологий для производства декоративных элементов мебели // Технология и техника лесной промышленности: материалы 85-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 3 февр. 2021 г. Минск, 2021. С. 116–117.
15. Макеффри М. Unreal Engine VR для разработчиков. М.: Эксмо, 2019. 256 с.

16. Виртуальные прототипы // Wikipedia. URL: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_prototyping/ (дата обращения: 15.04.2025).
17. Чуйков А. С., Игнатович Л. В. Особенности проектирования трехмерных моделей и конструкций декоративных элементов мебели и их изготовления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 1 (240). С. 156–161.
18. Чуйков А. С., Утгоф С. С. Технология виртуальной и дополненной реальности для пространственного представления и обеспечения конкурентоспособности продукции деревообрабатывающих предприятий // Строительство: технологии и оборудование: ярмарка инновационных разработок, Минск, 18 марта 2021 г. Минск, 2021. С. 12–13.
19. Шэннон Т. Unreal Engine 4 для дизайна и визуализации. М.: Бомбора, 2021. 363 с.
20. Архитектурная визуализация в Unreal Engine 4 // Habr. URL: <https://habr.com/ru/post/253503/> (дата обращения: 15.04.2025).
21. Гайд: создание мастер-материала в Unreal Engine // XYZ Media. М., 2020. URL: <https://media-xyz.com/ru/articles/1258-gaid-sozdanie-master-materiala-v-unreal-engin> (дата обращения: 15.04.2025).
22. Лоспинозо Д. C++ для профи. СПб.: Питер, 2021. 816 с.
23. Проектирование мягкой мебели // Proekt-sam. URL: <https://proekt-sam.ru/proektmebel/proektirovanie-i-konstruirovanie-myagkoj-mebeli.html> (дата обращения: 15.04.2025).
24. 9 приложений для проектирования мебели // All in one person. URL: <https://blog.themarfa.name/9-prilozhenii-dlia-proektirovaniia-miebieli/> (дата обращения: 15.04.2025).
25. Эргономические требования к изделиям для сидения и лежания // Studwood. URL: https://studwood.net/2124268/tovarovedenie/ergonomicheskie_trebovaniya_izdeliyam_sideniya_lezhaniya (дата обращения: 15.04.2025).
26. Что такое эргономика мебели // ДомДворДороги. URL: <https://domdvordorogi.ru/chto-takoe-ergonomika-mebeli/> (дата обращения: 15.04.2025).
27. Программа для создания эскизов мебели: 9 приложений для проектирования мебели // ДК кафе. URL: <https://dk-nn.ru/raznoe/programma-dlya-sozdaniya-eskizov-mebeli-9-prilozhenij-dlya-proektirovaniya-mebeli.html> (дата обращения: 14.04.2025).
28. Новые технологии стимулируют рынок предметов интерьера // ChinaВЭД. URL: <https://chinaved.com/new-technologies-boost-house-decoration-market> (дата обращения: 13.04.2025).
29. Программа для проектирования мягкой мебели – специализированный программный комплекс АССОЛЬ // Центр «АССОЛЬ – Прикладные Компьютерные Технологии». URL: <https://assol.org/tpost/6revs1hdh1-programma-dlya-proektirovaniya-myagkoi-m> (дата обращения: 14.04.2025).
30. Программа для конструирования чехлов для мебели. Лучшие программы для проектирования мебели // Strojdzain. URL: <https://strojdzain.ru/programma-dlya-konstruirovanie-chehlov-dlya-mebeli-luchshie/> (дата обращения: 14.04.2025).
31. Текстуры // Blend4web. URL: <https://www.blend4web.com/doc/ru/textures.html> (дата обращения: 24.03.2025).
32. Серова М. С. Учебник-самоучитель по графическому редактору Blender 3D. Моделирование и дизайн. М.: Солон-пресс, 2020. 272 с.
33. Безверхова Л. П., Малков А. В. Использование программы «Blender 3D» в образовательном процессе // Технологическое образование и устойчивое развитие региона. 2014. № 1 (11). С. 111–115.
34. Клыков А. И., Фролова Н. А. Моделирование участка микроциркуляторного русла в 3D-редакторе Blender 2.49B // Наука о человеке: гуманитарные исследования. 2010. № 5. С. 237–240.
35. Кириллова Т. И. Компьютерная графика AutoCAD 2013, 2014: учеб. пособие. Екатеринбург: Изд-во Уральского ун-та, 2016. 156 с.
36. AutoCad // Autodesk. URL: <https://www.autodesk.com/> (дата обращения: 15.04.2025).
37. Шаакбаров Б. Р., Махаматова З. К. О возможностях SketchUp – программы трехмерного моделирования для архитекторов // Молодой инженер – основа научно-технического прогресса. 2015. С. 401–404.
38. Самарина А. Е. Использование программы для 3d-моделирования SketchUp в обучении студентов // Системы компьютерной математики и их приложения. 2014. № 15. С. 274–276.
39. Меньщиков К. А., Тетюшева С. Г. Обучение 3d-дизайну в программном продукте SketchUp // Актуальные проблемы обучения математике, физике и информатике в вузе и школе, 2017. С. 125–128.
40. Кончаков Р. Б., Сидляр М. Ю. Учебно-методическое пособие «3D-моделирование средствами Google SketchUp в прикладных и гуманитарных исследованиях» // Информационный бюллетень Ассоциации «История и компьютер», Москва – Звенигород, 3–5 окт. 2014 г. М., 2014. Вып. 42. С. 190–191.
41. 3dsmax-book // Интерактивный самоучитель 3dsmax-book.ru. URL: <https://3dsmax-book.ru/index.php> (дата обращения: 24.03.2025).

42. 3D Studio MAX: первые шаги. Урок 14. Камеры в сцене // Компьютер-пресс. URL: <http://surl.li/dalju> (дата обращения: 24.03.2025).

43. 3Ds max. Основы. Как и с чего начать? // Хабр. URL: <https://habr.com/ru/post/326532/> (дата обращения: 24.03.2025).

44. 3ds Max: мощный инструмент для профессионалов // Skypro wiki. URL: <https://sky.pro/wiki/digital-art/3ds-max-moshnyj-instrument-dlya-professionalov/> (дата обращения 16.04.2025).

45. Герасимова М. А. Обзор системы автоматизированного проектирования Autodesk Inventor // Молодежь и наука: материалы междунар. науч.-практ. конф. старшеклассников, студентов и аспирантов, Н. Тагил, 29 мая 2020 г. Н. Тагил, 2020. С. 300–304.

46. Бирюков С. С. Современные тенденции и стандарты в области разработки САПР // Проблемы и перспективы студенческой науки. 2017. № 2 (2). С. 9–10.

47. Обуховец В. А. САПР как инструмент освоения высокотехнологичных дисциплин // Высшее образование в России. 2014. № 5. С. 80–86.

References

1. Immersive technologies (VR, MR, AR, 3D interactive, 3D mapping). Available at: <https://ut-b2b.ru/otraslevye-resheniya/tehnologii/immersivnye-tehnologii-vr-mr-ar-3d-interaktiv-3d-mapping/> (accessed 15.04.2025).

2. VR in industry. Available at: <https://habr.com/ru/post/509374> (accessed 15.04.2025) (In Russian).

3. Chuikov A. S., Kunevich V. O., Ignatovich L. V. Features of immersive technologies applied in furniture design. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources], 2022, no. 1 (252), pp. 174–180 (In Russian).

4. Bartashevich A. A., Trofimov S. P. *Konstruirovaniye mebeli* [Furniture design]. Minsk, Sovremennaya shkola Publ., 2006. 336 p. (In Russian).

5. Bartashevich A. A., Hayduk S. S. *Konstruirovaniye izdeliy iz drevesiny* [Construction of wood products]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 145 p. (In Russian).

6. Chuikov A. S. *Modelirovaniye ob'yektov dizayna* [Design objects modeling processes]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 94 p. (In Russian).

7. Gibson I., Rosen D., Stucker B. Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. New York, Springer Publ., 2015. 510 p.

8. Horvath J. 3D Printed Science Projects: Ideas for Your Classroom, Science Fair, or Home. New York, Springer Science and Business Media Publ., 2016. 213 p.

9. Foster Sh., Halbstein D. Integrating 3D Modeling, Photogrammetry and Design. London, SpringerVerlag Publ., 2014. 104 p.

10. Van den Berg B., van den Hof S., Kosta E. 3D Printing. Washington DC, T. M. C. Asser Press Publ., 2016. 212 p.

11. Horvath J., Cameron R. Mastering 3D Printing. Pasadena, Apress Publ., 2020. 347 p.

12. AR, VR and MR technologies. What is it and how to apply it? Available at: <https://helmeton.ru/blog/razlichiya-i-sfery-primeneniya-ar-vr-mr/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).

13. Where immersive technologies are taking us. Available at: <https://habr.com/ru/company/vtb/blog/463707/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).

14. Chuikov A. S., Tuleyko V. V., Ignatovich L. V. The use of additive technologies for the production of decorative elements of furniture. *Tekhnologiya i tekhnika lesnoy promyshlennosti: materialy 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Technology and Engineering of Forest Industry: materials of the 85th Scientific and Technical Conference of the teaching staff, research workers and postgraduate students (with international participation)]. Minsk, 2021, pp. 116–117 (In Russian).

15. Makeffrey M. *Unreal Engine VR dlya razrabotchikov* [Unreal Engine VR for Developers]. Moscow, Eksmo Publ., 2019. 256 p. (In Russian).

16. What are Virtual Prototypes. Available at: https://en.wikipedia.org/wiki/Virtual_prototyping/ (accessed 15.04.2025) (In Russian).

17. Chuikov A. S., Ignatovich L. V. Features of designing three-dimensional models and structures of decorative furniture elements and their manufacturing. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 1 (240), pp. 156–161 (In Russian).

18. Chuikov A. S., Utgof S. S. Virtual and augmented reality technology for spatial representation and ensuring the competitiveness of woodworking enterprises' products. *Stroitel'stvo: tekhnologii i oborudovaniye: yarmarka innovatsionnykh razrabotok* [Construction: technologies and equipment: fair of innovative developments.]. Minsk, 2021, pp. 12–13 (In Russian).

19. Shennon T. *Unreal Engine 4 dlya dizayna i vizualizatsii* [Unreal Engine 4 for Design and Rendering]. Moscow, Bombora Publ., 2021. 363 p. (In Russian).
20. Architectural rendering in Unreal Engine 4. Available at: <https://habr.com/ru/post/253503/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
21. Guide: creating master material in the Unreal Engine. Available at: <https://media-xyz.com/ru/articles/1258-gaid-sozdanie-master-materiala-v-unreal-engin> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
22. Lospinozo D. *C++ dlya profi* [C++ for the pros]. St. Petersburg, Piter Publ., 2021. 816 p. (In Russian).
23. Upholstered furniture design. Available at: <https://proekt-sam.ru/proektmebel/proektirovanie-i-konstruirovaniye-myagkoj-mebeli.html> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
24. 9 applications for furniture design. Available at: <https://blog.themarfa.name/9-prilozhienii-dlia-proektirovaniia-miebieli/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
25. Ergonomic requirements for products for sitting and lying down. Available at: https://studwood.net/2124268/tovarovedenie/ergonomicheskie_trebovaniya_izdeliyam_sideniya_lezhaniya (accessed 15.04.2025) (In Russian).
26. What is furniture ergonomics? Available at: <https://domdvordorogi.ru/chto-takoe-ergonomika-mebeli/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
27. A program for creating furniture sketches: 9 applications for furniture design. Available at: <https://dk-nn.ru/raznoe/programma-dlya-sozdaniya-eskizov-mebeli-9-prilozhenij-dlya-proektirovaniya-mebeli.html> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
28. New technologies stimulate the market of interior items. Available at: <https://chinaved.com/new-technologies-boost-house-decoration-market> (accessed 13.04.2025) (In Russian).
29. The program for the design of upholstered furniture is a specialized software package ASSOL. Available at: <https://assol.org/tpost/6revslhdhl-programma-dlya-proektirovaniya-myagkoi-m> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
30. A program for designing covers for furniture. The best programs for furniture design. Available at: <https://strojdizain.ru/programma-dlya-konstruirovaniya-chehlov-dlya-mebeli-luchshie/> (accessed 14.04.2025) (In Russian).
31. Textures. Available at: <https://www.blend4web.com/doc/ru/textures.html> (accessed 24.03.2025) (In Russian).
32. Serova M. S. *Uchebnik-samouchitel' po graficheskomu redaktoru Blender 3d. Modelirovaniye i dizayn* [Self-study guide to the Blender 3D graphic editor. Modeling and design]. Moscow, Solon-press Publ., 2020. 272 p. (In Russian).
33. Bezverkhova L. P., Malkov A. V. Using the program “Blender 3D” in the educational process. *Technologicheskoye obrazovaniye ustoychivoye razvitiye regiona* [Technological education and sustainable development of the region], 2014, no. 1 (11), pp. 111–115 (In Russian).
34. Klykov A. I., Frolova N. A. Modeling of a section of the microcirculatory bed in 3D Editor Blender 2.49B. *Nauka o cheloveke: gumanitarnyye issledovaniya* [Science of Man: Humanitarian Research], 2010, no. 5, pp. 237–240 (In Russian).
35. Kirillova T. I. *Komp'yuternaya grafika AutoCAD 2013, 2014: uchebnoye posobiye* [Computer graphics AutoCAD 2013, 2014]. Ekaterinburg, Publishing house of the Ural University Publ., 2016. 156 p. (In Russian).
36. AutoCad. Available at: <https://www.autodesk.com/> (accessed 15.04.2025) (In Russian).
37. Shaakbarova B. R., Makhamatova Z. K. On the capabilities of SketchUp – a three-dimensional modeling program for architects. *Molodoy inzhener – osnova nauchno-tekhnicheskogo progressa* [Young engineer – the basis of scientific and technological progress], 2015, pp. 401–404 (In Russian).
38. Samarina A. E. Using the 3D modeling program SketchUp in teaching students. *Sistemy komp'yuternoy matematiki i ikh prilozheniya* [Computer Mathematics Systems and Their Applications], 2014, no. 15, pp. 274–276 (In Russian).
39. Menshchikov K. A., Tetyusheva S. G. Teaching 3D design in SketchUp software. *Aktual'nyye problemy obucheniya matematike, fizike i informatike v vuze i shkole* [Actual problems of teaching mathematics, physics and computer science in universities and schools], 2017, pp. 125–128 (In Russian).
40. Konchakov R. B., Sidlyar M. Yu. Study guide “3D modeling using Google SketchUp in applied and humanitarian research”. *Informatsionnyy byulleten' Assotsiatsii “Istoriya i komp'yuter”* [Information bulletin of the Association “History and computer”]. Moscow, 2014, issue 42, pp. 190–191 (In Russian).
41. 3dsmax-book. Available at: <https://3dsmax-book.ru/index.php> (accessed 24.03.2025) (In Russian).
42. 3D Studio MAX: the first steps. Lesson 14. Cameras in the scene. Available at: <http://surl.li/dalju> (accessed 24.03.2025) (In Russian).

43. 3Ds max. Basics. How and where to start. Available at: <https://habr.com/ru/post/326532/> (accessed 24.03.2025) (In Russian).

44. 3ds Max: a powerful tool for professionals. Available at: <https://sky.pro/wiki/digital-art/3ds-max-moshnyj-instrument-dlya-professionalov/> (accessed 16.04.2025) (In Russian).

45. Gerasimova M. A. Review of the automated design system Autodesk Inventor. *Molodezh' i nauka: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii starsheklassnikov, studentov i aspirantov* [Youth and Science: materials of the international scientific and practical conference of high school students, students and graduate students], Nizhny Tagil, 2020, pp. 300–304 (In Russian).

46. Biryukov S. S. Modern trends and standards in the field of CAD development. *Problemy i perspektivy studentcheskoy nauki* [Problems and prospects of student science], 2017, no. 2 (2), pp. 9–10 (In Russian).

47. Obukhovets V. A. CAD as a tool for the development of high-tech disciplines. *Vyssheye obrazovaniye v Rossii* [Higher education in Russia], 2014, no. 5, pp. 80–86 (In Russian).

Информация об авторах

Латышевич Ирина Александровна – 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: irinalatyshevitch@gmail.com

Останин Вадим Александрович – стажер младшего научного сотрудника кафедры технологии деревообрабатывающих производств, экодомостроения, дизайна мебели и интерьера. Белорусский государственный технологический университет (ул. Свердлова, 13а, 220006, г. Минск, Республика Беларусь). E-mail: vadim.ostanin777@gmail.com

Information about the authors

Latyshevich Iryna Alexandrovna – PhD (Engineering), Assistant Professor, Associate 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: irinalatyshevitch@gmail.com

Ostanin Vadim Aleksandrovich – trainee Junior Researcher, the Department of Woodworking Technology, Eco-House Building, Furniture and Interior Design. Belarusian State Technological University (13a Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vadim.ostanin777@gmail.com

Поступила 16.04.2025

СОДЕРЖАНИЕ

УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ.....	5
Цай С. С., Ильючик М. А., Толкач И. В., Шульга Е. А. Использование оптико-электронных материалов съемки с беспилотных летательных аппаратов для контроля качества несомкнувшихся лесных культур хвойных пород.....	5
Шульга Е. А., Толкач И. В., Цай С. С. Оценка состояния несомкнувшихся лесных культур по материалам лидарной съемки.....	14
Пушкин А. А., Коцан В. В., Севрук П. В., Ожич О. С. Автоматизированное дешифрирование поврежденных хвойных насаждений по разновременным материалам космической съемки.....	20
ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО.....	29
Гоман П. Н., Бойко А. А. Концепция комплексной оценки и прогнозирования условий возникновения и параметров развития лесных пожаров в Республике Беларусь.....	29
Вяршыцкая І. М., Комар С. А., Ермохін М. В., Кныш Н. В., Лукін В. В., Барсукова Т. Л., Пугачэўскі А. В. Першабытныя лясы Беларускага Палесся.....	39
ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ.....	53
Селищева О. А., Граник А. М., Юрениа А. В., Носников Д. В. Влияние стимуляторов роста на высоту сеянцев лиственных пород.....	53
Носников В. В., Селищева О. А., Севрук Т. Д., Синявская С. И. Опыт предварительного выращивания посадочного материала хвойных пород с закрытой корневой системой в полностью контролируемых условиях.....	61
Татун Е. В., Носников В. В. Применение пролонгированных удобрений при выращивании сеянцев березы повислой с закрытой корневой системой.....	69
Татун Е. В. Влияние сортировки органическими растворителями, замачивания в воде и стимуляторов роста на прораствание семян березы повислой.....	78
Поплавская Л. Ф., Ребко С. В., Тупик П. В. Изменение климатических факторов и их влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной различных провениенций.....	84
Гвоздев В. К., Якимов Н. И., Климчик Г. Я., Юрениа А. В. Лесоводственная оценка этапов формирования 75-летних опытных культур сосны обыкновенной разной густоты посадки.....	108
Rabko S. U., Domnenkova A. V., Yermak I. T. Sustainable forest management in radioactively contaminated areas.....	115
ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО.....	123
Гарбарук Д. К., Судник А. В., Углянец А. В. Состояние древостоев дуба в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции.....	123
Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Оценка поврежденности алычи членистоногими-филлофагами в рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский».....	139
Яковчик Ф. Г., Рогинский А. С., Буга С. В. Поврежденность каштана конского обыкновенного каштановой минирующей молью в зеленых насаждениях населенных пунктов и рекреационных лесах Национального парка «Нарочанский».....	147
ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО.....	154
Бессараб Д. А. Об особенностях использования приправ и специй в исторической литвинско-белорусской кулинарной традиции и их влиянии на возможности продвижения национальной туристической дестинации.....	154

ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ	168
Гриневич С. А., Аникеев А. Ф., Тишевич А. Ю. Движение заготовки в захватах когтевой завесы	168
Лыщик П. А., Бавбель Е. И., Науменко А. И. Современные подходы к проектированию лесохозяйственных дорог в программе ТИМ КРЕДО ПРОЕКТИРОВАНИЕ	175
ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ	182
Войтеховский Б. В., Гриневич С. А., Аникеев А. Ф. Оптимизация процесса цилиндрического фрезерования ламинированных древесностружечных плит наклонными режущими элементами по критерию технологической стойкости	182
Раповец В. В., Лукаш В. Т., Мазовка М. А. Эффективность использования износостойких алмазоподобных покрытий на ножах дереворежущего фрезерного инструмента	188
Латышевич И. А., Останин В. А. Способы создания виртуальных прототипов изделий мебели для дополненной реальности (обзор).....	194

CONTENTS

FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY	5
Tsai S. S., Ilyuchik M. A., Tolkach I. V., Shulga E. A. Using optical-electronic materials from unmanned aerial vehicles for quality control of unclosed coniferous forest crops	5
Shulga E. A., Tolkach I. V., Tsai S. S. Assessment of the condition on unclosed forest crops based on lidar survey data	14
Pushkin A. A., Kotsan V. V., Sevruck P. V., Ozhich O. S. Automated interpretation of damaged coniferous stands based on multi-temporal satellite imagery	20
FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE.....	29
Goman P. N., Boyko A. A. The concept of comprehensive assessment and forecasting the con- ditions of origin and parameters of forest fires development in the Republic of Belarus	29
Vershitskaya I. N., Komar S. A., Yermokhin M. V., Knysh N. V., Lukin V. V., Barsukova T. L., Puhachevskiy A. V. Primary forests of the Belarusian Polesie	39
FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING	53
Selishcheva O. A., Granik A. M., Yurenja A. V., Nosnikov D. V. Effect of growth stimulators on the height of deciduous species seedlings	53
Nosnikov V. V., Selishcheva O. A., Sevruck T. D., Sinyavskaya S. I. Experience of preliminary growing of container planting material of coniferous in fully controlled conditions	61
Tatun Ya. U., Nosnikov V. V. Use of slow-release fertilizers in growing containerized silver birch seedlings	69
Tatun Ya. U. Effect of sorting with organic solvents, spaking in water and growth stimulants on germination birch seeds	78
Paplauskaya L. F., Rabko S. U., Tupik P. V. Changes in climatic factors and their impact on radial growth of Scots pine of different provenances	84
Gvozdev V. K., Yakimov N. I., Klimchik G. Ya., Yurenja A. V. Forestry assessment of the stages of formation 75-year-old experimental cultures of Scots pine of various planting densities	108
Rabko S. U., Domnenkova A. V., Yermak I. T. Sustainable forest management in radioactively contaminated areas	115
FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING	123
Garbaruk D. K., Sudnik A. V., Uglyanets A. V. The state of oak stands in the exclusion zone of the Chernobyl nuclear power plant	123
Yakouchyk F., Buga S. Assessment of damage of cherry plum by phyllophagous arthropods in recreational forests of Narach National Park	139
Yakouchyk F., Roginsky A., Buga S. Damage of the common horse chestnut by Orchid leaf miner in settlement green areas and recreational forests in Narach National Park	147
TOURISM AND FOREST HUNTING	154
Bessarab D. A. About the features of using seasonings and spices in the historical Lithuanian-Belarusian culinary tradition and their influence on promotion opportunities national tourist destination	154
TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS.....	168
Grinevich S. A., Anikeenko A. F., Tishevich A. Yu. Workpiece movement in the anti-kickback fingers catch	168

Lyshchik P. A., Baybel J. I., Naumenko A. I. Modern approaches to the design of forestry roads in the TIM CREDO DESIGN PROGRAM.....	175
WOODWORKING INDUSTRY	182
Voitekhovsky B. V., Grinevich S. A., Anikeenko A. F. Optimization of the process of cylindrical milling of laminated wood chipboards with inclined cutting elements based on the criterion of technological durability	182
Rapovets V. V., Lukash V. T., Mazovka M. A. Efficiency of using wear resistant diamond-like coatings on knives of woodworking milling tools	188
Latyshevich I. A., Ostanin V. A. Ways to create virtual prototypes of furniture products for augmented reality (review)	194

Редактор *Т. Е. Самсанович*
Компьютерная верстка *Е. А. Матейко, В. А. Маркушевская*
Корректор *Т. Е. Самсанович*

Подписано в печать 15.07.2025. Формат 60×84^{1/8}.
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.
Усл. печ. л. 24,3. Уч.-изд. л. 26,5.
Тираж 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.