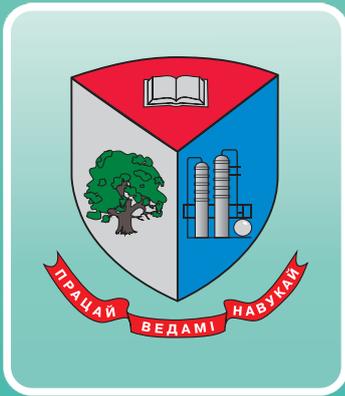


ISSN 2519-402X



# ТРУДЫ БГТУ

Научный журнал



Серия 1

ЛЕСНОЕ ХОЗЯЙСТВО,  
ПРИРОДОПОЛЬЗОВАНИЕ  
И ПЕРЕРАБОТКА  
ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ РЕСУРСОВ

№ 2 (282) 2024 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

Публикации союзного государства



**БГТУ**

Минск 2024

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 (282) 2024 год**

*Выходит два раза в год*

Минск 2024

**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;  
Флюрик 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;  
Латышев И. А., кандидат технических наук, доцент (ответственный секретарь), Республика Беларусь;  
Гордей Д. В., кандидат биологических наук (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;  
Усень В. В., 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](mailto: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 (282) 2024**

*Published biannually*

Minsk 2024

**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;

Prokopcuk 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;

Gordey D. V., PhD (Biology) (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;

Usenya V. V., 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\*1;631.6;630\*116

А. Ю. Комар<sup>1</sup>, М. В. Ермохин<sup>2</sup>, А. У. Судник<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купрэвича  
Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі

<sup>2</sup>ГА “Батанічнае таварыства”

### ПРАДУКЦЫЙНАСЦЬ ХВАЁВЫХ ЛЯСОЎ НА ВЕРХАВЫХ БАЛОТАХ ВА ЁМОВАХ УЗДЗЕЯННЯ АСУШАЛЬНЫХ СІСТЭМ

Асушальная меліярацыя з’яўляецца фактарам, які спрыяе павышэнню прадукцыйнасці лясоў. Пры гэтым асушэнне лясоў на верхавых балотах для мэтай лясной гаспадаркі з’яўляецца нелогічным і шкодным. Яно не мае аніякага эканамічнага эфекту, што падкрэслівалася шэрагам аўтараў на працягу ХХ ст. Непарушаныя хваёвыя лясы на верхавых балотах з’яўляюцца важным кампанентам біялагічнай разнастайнасці, якая страчваецца ў выніку асушэння. Згодна з мадыфікаванай І. Э. Рыхтарам шкалой ацэнкі тыпаў лесу і лясных участкаў па ступені пажарнай небяспекі для ўмоў Беларусі асушаныя хвойнікі багуновыя, сфагнавыя і асакова-сфагнавыя адносяцца да першага (найвышэйшага) класа пажарнай небяспекі. Хваёвыя лясы на верхавых балотах у нязначнай ступені рэагуюць на асушальную меліярацыю. Па выніках геабатанічных апісанняў і аналізу прыросту дрэў хвоі на 16 пробных плошчах выяўлена, што толькі ў рэдкіх выпадках клас банітэту хвойнікаў на верхавых балотах пасля асушэння павышаецца з V<sup>a</sup>–V<sup>b</sup> да III. У такім выпадку лесаўпарадкаваннем яны таксіруюцца чарнічнымі. Часцей за ўсё клас банітэту павышаецца да IV. Адзначаюцца выпадкі, калі асушальная сетка не аказала ўплыву на хваёвыя лясы і клас банітэту застаецца V<sup>a</sup>–V<sup>b</sup>. Гэта характэрна для ўчасткаў з недакладна спраектаванай асушальнай сеткай або недастатковай ступенню асушэння лясоў. Такім чынам, асушэнне верхавых балотаў не мае эканамічнага і лесаводчага эфекту. Неадпаведнасць таксацыйных паказчыкаў і фітацэнатычнай структуры асушаных хвойнікаў неабходна ўлічваць пры іх таксацыі і пазначаць такія лясы як меліярацыйна вытворныя.

**Ключавыя словы:** гідралесамеліярацыя, прадукцыйнасць, банітэт, радыяльны прырост, хвойнік багуновы, сукцэсія, заказнік «Налібоцкі».

**Для цытавання:** Комар А. Ю., Ермохин М. В., Судник А. У. Прадукцыйнасць хваёвых лясоў на верхавых балотах ва ўмовах уздзеяння асушальных сістэм // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 5–12.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-1.

А. Ю. Комар<sup>1</sup>, М. В. Yermokhin<sup>2</sup>, А. У. Sudnik<sup>1</sup>

<sup>1</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany  
of the National Academy of Sciences of Belarus

<sup>2</sup>PA “Botanical Society”

### PRODUCTIVITY OF PINE FORESTS IN RAISED BOGS WITHIN THE INFLUENCE OF DRAINAGE SYSTEMS

Drainage can enhance forest productivity, but draining raised bogs forests for forestry is both illogical and detrimental. This practice is economically unviable, a point highlighted by the author throughout the

20th century. The untouched pine forests in raised bogs are vital for biodiversity, which is diminished by drainage. According to modified scale of fire danger assessment criteria for Belarusian forest types and areas, drained pine forests fall into the highest fire danger class. Pine forests in raised bogs show minimal response to drainage. Pine forests in raised bogs respond to drainage to a minor extent. According to the phytocenological and tree-ring analysis on 16 test plots, it was revealed that only in rare cases the bonitet class of pine stands in raised bogs increases from V<sup>a</sup>-V<sup>b</sup> to III after drainage. In this case, they are described as *Pinetum myrtillosum* type in a forest inventory data. Most often, the bonitet class is increased to the IV. There are cases when drainage did not have an effect on pine forests and the bonitet class remains V<sup>a</sup>-V<sup>b</sup>. This is typical for sites with an inaccurately designed drainage network, or an insufficient intensity of drainage. Thus, the drainage of raised bogs has absolutely no economic and forestry effect. The inconsistency of forest inventory data and phytocenetic structure of drained pine forests must be taken into account when inventory them and such forests should be marked as drained forest type.

**Keywords:** forest drainage, productivity, bonitet, radial growth, *Pinetum ledosum*, succession, landscape reserve “Naliboksky”.

**For citation:** Komar A. Yu., Yermokhin M. V., Sudnik A. U. Productivity of pine forests in raised bogs within the influence of drainage systems. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 5–12 (In Belarusian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-1.

**Уводзіны.** Непарушаныя хваёвыя лясы на верхавых балотах з’яўляюцца важным кампанентам біялагічнай разнастайнасці і паводле дадатку I Дырэктывы аб месцапражываннях Еўрапейскага саюза адносяцца да біятопа 91D0 – Балотныя лясы (Bog woodland) [1]. У Беларусі яны адносяцца да катэгорыі «Хваёвыя лясы на верхавых, пераходных і нізінных балотах, бярозавыя лясы на пераходных балотах» рэдкіх і тыповых біятопаў, якія падлягаюць асаблівай ахове [2].

У XX ст. масавая асушальная меліярацыя на тэрыторыі Беларусі значна закранула ў тым ліку і верхавыя балоты.

Вывучэнне ўплыву асушэння на хваёвыя лясы на верхавых балотах у Беларусі было распачата яшчэ ў XIX ст. Паўночнай экспедыцыяй былі асушаныя паўночна-заходнія землі Расійскай Імперыі, уключаючы Прыбалтыку. Ужо ў той час адзначалася, што ва ўмовах верхавых балотаў рост прадукцыйнасці лясоў нязначны і назіраюцца негатыўныя эфекты асушэння [3].

Паводле А. Д. Дубаха [4], у выніку асушэння хвойнікаў сфагнавых банітэт можа павысіцца на тры класы. Але, як паказалі наступныя даследаванні, гэта хутчэй выключэнне, чым правіла [5–9].

У 1981 г. адзначалася, што пры выбары аб’ектаў для асушэння часта парушаюцца інструкцыі і тэхнічныя ўказанні, у выніку чаго асушаюцца верхавыя балоты для лясной гаспадаркі, што з’яўляецца нявыгадным і неразумным [6]. Ва Украінскім Палессі асушэнне верхавых балотаў прыводзіла да ўтварэння нізкапрадукцыйных бярозавых лясоў [7]. У Беларусі Л. П. Смаляк [8] у сваіх даследаваннях хоць і паказвае станоўчую дынаміку ў росце лесу

пасля асушэння верхавых балотаў, але адзначае нізкую прадукцыйнасць такіх лясоў. Тлумачыцца гэта пераходам хвойнікаў V<sup>b</sup>-V<sup>a</sup> класаў банітэту ў V<sup>a</sup>-V, радзей у IV клас. Аналагічныя змены характэрны і для лясоў Карэліі, але там павышэнне банітэту да IV класа лічыцца эфектыўным, паколькі сярэдні банітэт сухадолаў складае IV,3 [9].

З вышэйузгаданага становіцца відавочна, што асушэнне лясоў на верхавых балотах пазбаўлена сэнсу. Разам з тым узнікаюць негатыўныя праўленні асушэння. Згодна з мадыфікаванай І. Э. Рыхтарам шкалай ацэнкі тыпаў лесу і лясных участкаў па ступені пажарнай небяспекі для ўмоў Беларусі асушаныя хвойнікі багуновыя, сфагнавыя і асакова-сфагнавыя адносяцца да першага (найвышэйшага) класа пажарнай небяспекі [10]. Ва ўмовах павышэння рэкрэацыйнай нагрузкі на лясы дадзеная праблема мае актуальнае значэнне. І ў цэлым, з улікам таго, што асушэнне лясоў на верхавых балотах фактычна шкоднае, прыйшоў час асэнсаваць далейшыя шляхі іх выкарыстання.

*Мэтаі нашага даследавання* была ацэнка змен у прадукцыйнасці асушаных хвойнікаў на верхавых балотах, іх тыпалогіі і трансфармацыі падчас асушэння і праз некалькі дзесяцігоддзяў пасля яго на тэрыторыі заказніка «Налібоцкі».

**Асноўная частка.** Для ацэнкі структуры, таксамацыйнай характарыстыкі і дынамікі хваёвых лясоў на верхавых балотах былі закладзены 16 пробных плошчаў (ПП) у межах лясных асушальных сетак заказніка «Налібоцкі» (рыс. 1). На кожнай ПП зроблены поўныя геабатанічныя апісанні расліннасці з адборам узораў кернаў дрэў хвой звычайнай (*Pinus sylvestris*) для аналізу дынамікі радыяльнага прыросту.



Рис. 1. Схема размяшчэння аб'ектаў

Геабатанічны аналіз выкананы па агульнапрынятых метадыках [11–16]. Назву раслінаў удакладнялі па зборніках [17, 18].

Керны адбіраліся ў 15–25 дрэў I–II класа Крафта па два на кожнае дрэва на вышыні 0,5–0,8 м. Апрацоўка выконвалася па агульнапрынятых у дэндрахраналогіі метадах [19, 20]. Характарыстыка IIII дадзена ў табліцы.

Згодна са звесткамі б цыклаў лесаўпарадкавання, для часткі тэрыторыі заказніка «Налібоцкі» пасля масавага асушэння ў 1960–1970-х гг. нязменна павышаецца доля чарнічных хвойнікаў і, адпаведна, паніжаецца доля багуновых (рыс. 2).

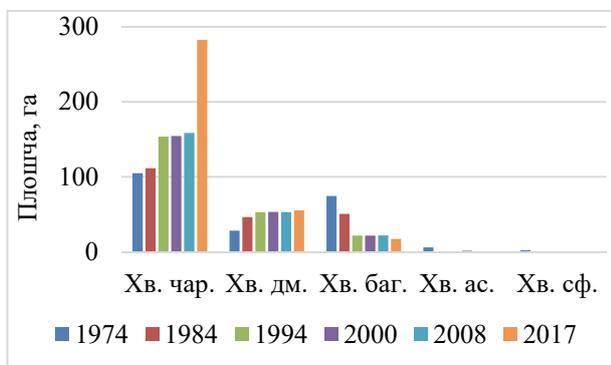


Рис. 2. Дынаміка плошчы балотных і забалочаных лясоў часткі заказніка [21]

У першую чаргу гэтая дынаміка звязана з тым, што на неглыбокіх торфах, да 1 м, на ўс-

крайках верхавых балотаў, дзе значная ступень асушэння (УГВ у межаны ніжэй за 1 м), былыя хвойнікі багуновыя трансфармуюцца ў чарнічныя, іх клас банітэту павышаецца да III (III 1–4) [22, 23]. Узрост асноўнага пакалення на момант асушэння быў 30–50 год. Гэта таксама дало станоўчы эфект, бо вядома, што маладнякі і сярэднеўзроставыя дрэвастаны ў большай ступені рэагуюць на асушэнне [8]. Сярэдні радыяльны прырост дрэў хвойі да асушэння ў дадзеных умовах складаў 0,81 мм у год (рыс. 3). За дваццацігадовы перыяд падчас асушэння сярэдні радыяльны прырост павысіўся амаль у 2 разы (1,56 мм).

На сучасным этапе сярэдні радыяльны прырост дрэў складае 1,07 мм у год, што больш за паказчыкі да асушэння, але значна менш паказчыкаў падчас асушэння. Верагодна, гэта звязана, па-першае, з натуральным старэннем дрэў, а па-другое, з поўнай адсутнасцю доглядаў за асшальнымі сеткамі. Паколькі такія хвойнікі поўнаасцю набываюць фітацэнатычнае аблічча чарнічных і павышаецца іх прадукцыйнасць, то і лесаўпарадкаваннем яны таксіруюцца як чарнічныя. Згодна з фларыстычнай класіфікацыяй, такія лясы аднесены да асацыяцыі *Molinio caeruleae* – *Pinetum sylvestris* вар. *Vaccinium uliginosum* – чарнічна-зёлёнаімховыя хваёвыя лясы на вільготных пяшчаных і супяшчаных глебах [24].

Пэўнаму тыпу лесу адпавядае комплекс гаспадарчых мерапрыемстваў [25]. Калі хвойнікі на торфе таксіруюцца як чарнічныя, варта разумець, што ў іх будзе адпаведным чынам весціся лясная гаспадарка, характэрная для хвойнікаў на мінеральнай глебе. Да таго ж высечкі лесу на мінеральнай і арганічнай глебе маюць свае спецыфічныя рысы [26]. Гэта звязана з асаблівасцямі фарміравання асушаных лясоў. Такія дрэвастаны маюць складаную ўзроставую структуру, невысокую паўнату, нізкі клас банітэту і адрозніваюцца па санітарным стане ад хваёвых лясоў на мінеральных глебах. Паводле шкалы пажарнай небяспекі асушаныя хвойнікі на торфе аднесены да першага, найвышэйшага, класа пажарнай небяспекі [10]. І калі яны таксіруюцца як чарнічныя, то гэта не адпавядае іх рэальнай пажарнай небяспецы. Падчас палявых даследаванняў намі адзначаліся выпадкі нізавых пажараў у такіх лясах з выгараннем торфу (рыс. 4).

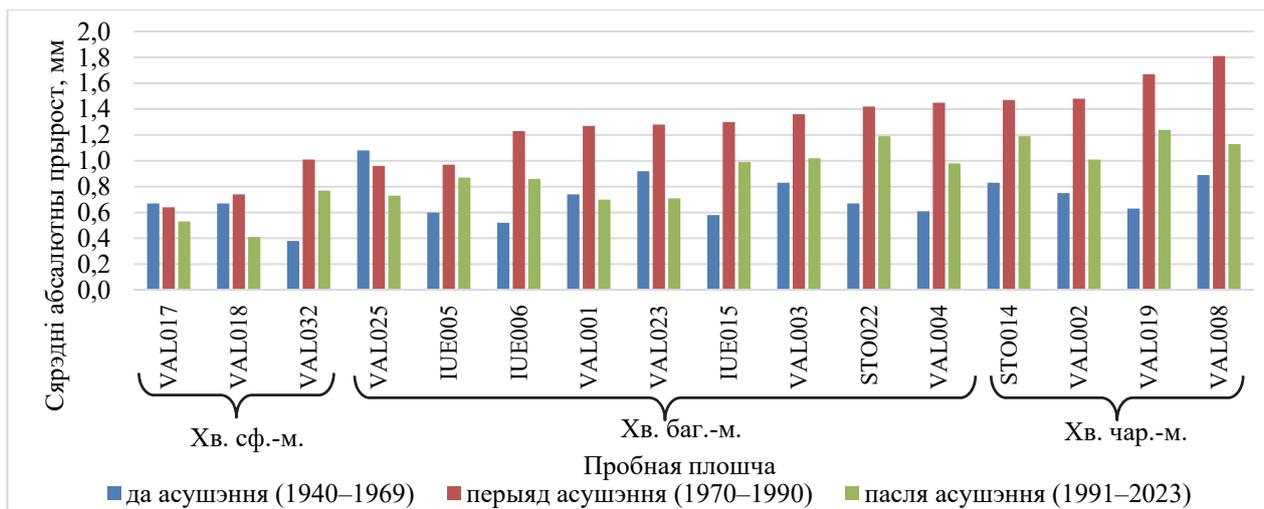
Часцей за ўсё (10 IIII, або 59%) хвойнікі багуновыя трансфармаваліся нязначна, у бягучы момант іх клас банітэту IV–V. Сярэдні радыяльны прырост да асушэння складаў 0,72 мм у год, падчас асушэння – 1,29 мм і на сучасным этапе 0,93 мм у год. У гэтым выпадку ў жывым наглебавым покрыве дамінуюць чарніцы (*Vaccinium myrtillus*).

## Характарыстыка асушаных хваёвых лясоў на верхавых балотах на пробных плошчах

Назва ПП	Тып лесу па звестках lesaўпарадкавання	Тып лесу фактычны	Састаў дрэвастану	Адносная паўната*	Запас*	Пакаленне – узрост, гадоў (колькасць дрэў, %)**	Вышыня, м		Клас банітэту да асушэння	Глеба	Глыбіня торфу, м
							да асушэння	бягучы			
VAL002	Хв. баг.	Хв. чар.-м.	8С2Бп	0,9	280	1 – 120 (22) 2 – 80 (78)	18,5	<V	III	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	1,0
VAL008	Хв. чар.	Хв. чар.-м.	8С2Бп	0,8	330	1 – 130 (30) 2 – 80 (70)	21,2	<V	III	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	0,6
STO014	Хв. баг.	Хв. чар.-м.	8С2Бп	0,7	180	1 – 160 (10) 2 – 100 (70) 3 – 75 (20)	23,1	<V	III	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	0,6
VAL019	Хв. баг.	Хв. чар.-м.	9С1Бп	0,8	250	1 – 200 (52) 2 – 150 (19) 3 – 130 (10) 4 – 80 (19)	19,9	<V	IV	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	0,6
VAL001	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,8	200	1 – 150 (29) 2 – 100 (71)	15,7	<V	V	Тарфяна-балотная на сярэднямоцных торфах	1,5
VAL003	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,8	220	1 – 217 (5) 2 – 95 (95)	17,2	<V	IV	Тарфяна-балотная на сярэднямоцных торфах	1,1
VAL004	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,7	250	1 – 175 (5) 2 – 155 (85) 3 – 105 (10)	20,8	<V	IV	Тарфяна-балотная на сярэднямоцных торфах	1,0
IUE005	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,7	220	1 – 140 (91) 2 – 70 (11)	14,9	<V	V	Тарфяна-балотная на моцных торфах	2,0
IUE006	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,8	260	1 – 160 (22) 2 – 140 (67) 3 – 100 (11)	20,6	<V	IV	Тарфяна-балотная на моцных торфах	2,0
IUE015	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	9С1Бп	0,8	260	1 – 205 (5) 2 – 175 (60) 3 – 120 (35)	21,3	<V	IV	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	0,8
STO022	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С+Бп	0,8	230	1 – 165 (12) 2 – 90 (88)	18,9	<V	IV	Тарфяна-балотная на сярэднямоцных торфах	1,5
VAL023	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С	0,8	190	1 – 135 (35) 2 – 115 (60) 3 – 95 (5)	18,0	<V	IV	Тарфяна-глебевая	0,5
VAL025	Хв. ас.-сф.	Хв. баг.-м.	10С	0,7	100	1 – 195 (14) 2 – 140 (5) 3 – 110 (67) 4 – 80 (14)	16,4	<V	IV	Тарфяна-балотная на маламоцных торфах	0,8
VAL032	Хв. баг.	Хв. баг.-м.	10С	0,8	160	Рознаўзроставы дрэвастан – 62–180	12,9	<V	V <sup>a</sup>	Тарфяна-балотная на моцных торфах	2,0
VAL017	Хв. ас.-сф.	Хв. баг.-м.	10С	0,7	100	1 – 161 (5) 2 – 125 (95)	9,8	<V	V <sup>b</sup>	Тарфяна-балотная на моцных торфах	2,0
VAL018	Хв. ас.-сф.	Хв. баг.-м.	10С	0,7	100	1 – 125 (74) 2 – 105 (26)	9,9	<V	V <sup>b</sup>	Тарфяна-балотная на моцных торфах	2,0

\* Адзначаны таксама і іншыя паказчыкі па звестках лесаўпарадкавання.

\*\* Тойсамым шпрафтам вылучана асноўнае пакаленне.



Рыс. 3. Сярэдні абсалютны прырост дрэў хвойі ў перыяды да, падчас і пасля асушэння



Рыс. 4. Сляды пажару на асушаных ускрайках верхавых балотаў

Згодна з фларыстычнай класіфікацыяй расліннасці, такія лясы аднесены да асацыяцыі *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* var. *Vaccinium myrtillus* [22, 24].

Сустрадаюцца хвойнікі багуновыя, на якія асушэнне фактычна не паўплывала (ПП 15–17). Напрыклад, на ПП 16 (VAL017) сярэдні радыяльны прырост да асушэння быў 0,67 мм, падчас асушэння 0,64 мм, у бягучы момант прырост складае 0,53 мм. Гэта тлумачыцца недакладнасцю праектавання і пракладкі асушальнай сеткі. Цяпер клас банітэту такіх хвойнікаў  $V^a-V^b$ . Лесаўпарадкаваннем яны таксіруюцца як асакова-сфагнавыя, верагодна, з-за таго, што ў табліцах І. Д. Юркевіча [27] дадзены банітэт і адпавядае такім лясам. Гэта з’яўляецца памылкай. Асакова-сфагнавыя хвойнікі фарміруюцца на

пераходных балотах з працёчным увільгатненнем са спецыфічнай расліннасцю – асака (*Carex lasiocarpa*), вахта трохлісная (*Menyanthes trifoliata*), шабельнік балотны (*Comarum palustre*) [8]. А ў дадзеным выпадку геабатанічнае апісанне цалкам адпавядае багуновым хвойнікам на верхавых балотах. Але па прадукцыйнасці ( $V^a-V^b$  клас банітэту) яны адпавядаюць хвойнікам сфагнавым. Таму, на нашу думку, будзе правільным такія хвойнікі таксіраваць сфагнава-меліяраванымі («Хв. сф.-м.»). Тым больш, згодна з ТКП 587–2016 «Правілы выдзялення тыпаў лесу» меліярацыйна-вытворныя асацыяцыі хвойніка сфагнавага адпавядаюць  $V-V^a$  класу, а непарушаныя хвойнікі сфагнавыя адпавядаюць  $V^a-V^b$  класу банітэту, тады як клас банітэту асакова-сфагнавых  $V$  (IV), але ніяк не  $V^a$ . Па фларыстычнай класіфікацыі расліннасці такія лясы адпавядаюць асацыяцыі *Vaccinio uliginosi – Pinetum sylvestris* var. *typica*.

У працы [28] была прапанавана банітэтная шкала для асушаных хвойнікаў, дзе патрабуецца ўсталяваць сярэднюю вышыню дрэвастану да асушэння і даўнасць асушэння. Яе практычнае выкарыстанне магло б паменьшыць хібы ў вызначэнні класа банітэту асушаных лясоў, але цяпер фактычна немагчыма выявіць дакладныя гады асушэння і вызначыць вышыню дрэвастану да асушэння таксама праблематычна.

**Заклучэнне.** Асушэнне лясоў на верхавых балотах для мэтай лясной гаспадаркі з’яўляецца нелагічным і шкодным. Яно не мае аніякага эканамічнага эфекту, што падкрэслівалася шэрагам аўтараў на працягу XX ст. Разам з тым, на ўскрайках верхавых балотаў са значнай ступенню асушэння (УГВ у межань ніжэй за 1 м) клас банітэту павышаецца з  $V$  да  $III$  і фарміруюцца тыпы лесу, падобныя да чарнічных, у якіх адзначаюцца сляды пажараў, што не дзіўна – асушаныя хвойнікі сфагнавыя і багуновыя аднесены да першага класа пажарнай небяспекі па шкале Рыхтэра.

І калі яны таксіруюцца як чарнічныя, значыць, не ўлічваецца іх рэальная пажарная небяспека. Гэтаксама не ўлічваецца, што ў асушаных хвойніках чарнічных на торфе будзе адрознівацца гаспадаранне ў параўнанні з класічнымі чарнічнымі. Большасць хвойнікаў багуновых на тарфяна-балотных мала- і сярэднямоцных глебах трансфармаваліся нязначна – клас банітэту такіх лясоў павысіўся да IV (V). Адзначаны выпадкі таксацы асушаных сфагнавых лясоў хвойнікамі асакова-сфагnavымі, што цалкам не адпавядае глебава-гідралагічным умовам такіх лясоў.

У 1990-я і пачатку 2000-х гг. была ўкаранёнай практыка таксіраваць асушаныя лясы, дадаючы ў назву тыпу лесу літару «м». – напрыклад,

«С. чар.-м., С. баг.-м.». Гэтым самым здымаліся пытанні неадпаведнасці тыпу лесу або класа банітэту глебава-тыпалагічным характарыстыкам. Таксама гэта дазваляла карэктыраваць лесагаспадарчыя мерапрыемствы згодна з умовамі росту дрэвастанаў. Цяпер ад такой практыкі адмовіліся, што, на нашу думку, не з'яўляецца правільным рашэннем.

Усё гэта дае падставу для вяртання ў практыку лесаўпарадкавання таксацы хвойнікаў у межах лясных асушальных сістэм з моцнасцю торфу больш за 0,3 м як меліярацыйна-вытворных. У такім выпадку адразу адпадуць пытанні па прадукцыйнасці, тыпалогіі і пажаранебяспечнасці асушаных лясоў.

### Спіс літаратуры

1. A European network of protected sites under EU legislation // Natura 2000. URL: <http://www.biodiversityaz.org/areas/27/> (date of access: 01.02.2024).
2. 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. 90 с.
3. Чиндяев А. С. Гидротехнические мелиорации лесных земель: история и перспективы развития лесосушительной мелиорации. Екатеринбург: УГЛТУ, 2010. 52 с.
4. Дубах А. Д. Влияние осушения на прирост древесины // Повышение производительности лесных земель посредством осушительной мелиорации. Л., 1936. С. 6–23.
5. Блинцов И. К. Лесоосушение и его влияние на продуктивность сосновых насаждений в Белоруссии // Пути повышения продуктивности лесов: материалы Всесоюз. совещания по повышению продуктивности лесов. Минск, 1966. С. 133–137.
6. Пьявченко Н. И. Осушительная мелиорация и охрана природы // Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. Минск, 1981. С. 5–12.
7. Балашев Л. С. Изменение растительности болот Украины под влиянием мелиорации // Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. Минск, 1981. С. 62–65.
8. Смоляк Л. П. Болотные леса и их мелиорация. Минск: Наука и техника, 1969. 209 с.
9. Медведева В. М. Изменение растительности болот Карелии под влиянием лесосушительной мелиорации // Антропогенные изменения, охрана растительности болот и прилегающих территорий. Минск, 1981. С. 62–65.
10. Рыхтэр І. Э. Лясная піралогія з асновамі радыёэкалогіі. Мінск: БДТУ, 1996. 300 с.
11. Ellenberg H. Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas. Göttingen: Goltze, 1992. 282 s.
12. Булохов А. Д., Семенищенков Ю. А. Практикум по классификации и ординации растительности. Брянск: РИО БГУ, 2009. 120 с.
13. Tichy L., Holt J. JUICE program for management, analysis and classification of ecological data // Prirodovedecka fakulta, Masarykova Univerzity. URL: [www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman\\_all.pdf](http://www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman_all.pdf) (date of access: 01.03.2022).
14. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures / M. Chytrý [et al.] // Journal of Vegetation Science. 2002. No. 13. P. 79–90.
15. Hill M. O. TWINSPAN-a FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of Individual and Attributes Ecology and Systematics. New York: Cornell University, 1979. 90 p.
16. Shannon C. E., Weaver W. The Mathematical Theory of Communication. Urbana: Univ. Illinois Press, 1949. 117 p.
17. Цвелев Н. Н. Определитель сосудистых растений Северо-Западной России (Ленинградская, Псковская и Новгородская области). СПб.: Изд-во СПХВА, 2000. 781 с.
18. Рыковский Г. Ф., Масловский О. М. Флора Беларуси. Мохообразные: в 2 т. Минск: Беларус. навука, 2004–2009. Т. 2: *Hepaticopsida – Sphagnopsida*. 2009. 213 с.
19. Holmes R. L. Dendrochronology program library. Tucson, Arizona: University of Arizona, 1984. 51 p.
20. Nowacki J. G., Abrams M. D. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks // Ecological Monographs. 1997. Vol. 67, no. 2. P. 225–249.

21. Комар А. Ю. Динаміка ляснога фонду асушанай часткі Расолішскага лясніцтва // Современ-ные проблемы экспериментальной ботаники: материалы III Междунар. науч. конф. молодых ученых, Минск, 25–29 сент. 2023 г. Минск, 2023. С. 356–361.
22. Комар А. Ю., Созинов О. В. Типологическое разнообразие мелиоративно-производных сосняков заказника «Налибокский» // Ботаника (Исследования): сб. науч. тр. Минск, 2023. Вып. 52. С. 71–86.
23. Комар А. Ю., Ермохин М. В., Судник А. У. Сукцэсіі і стан фітацэнозаў хвойі звычайнай (*Pinus sylvestris* L.) у межах лясных асушальных сістэм (на прыкладзе заказніка «Налібоцкі») // Ботаника (Исследования): сб. науч. тр. Минск, 2024. Вып. 53. С. 71–86.
24. Цвирко Р. В., Груммо Д. Г. Синтаксономическое разнообразие лесной растительности национального парка «Беловежская пушча» (Беларусь) // Разнообразие растительного мира. 2020. № 1 (4). С. 57–80.
25. Лабоха К. В., Шиман Д. В. Лесоводство. Минск: БГТУ, 2015. 440 с.
26. Ипатьев В. А., Смоляк Л. П., Блинцов И. К. Ведение лесного хозяйства на осушенных землях. М.: Лесная пром-сть, 1984. 144 с.
27. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
28. Рубцов В. Г., Книзе А. А. Ведение хозяйства в мелиорированных лесах. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 120 с.

### References

1. A European network of protected sites under EU legislation Available at: <http://www.biodiversityaz.org/areas/27/> (accessed 01.02.2024).
2. 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 Publ., 2021. 90 p. (In Russian).
3. Chindyayev A. S. *Gidrotekhnicheskiye melioratsii lesnykh zemel': istoriya i perspektivy razvitiya lesoosushitel'noy melioratsii* [Hydraulic reclamation of forest lands: history and prospects for the development of forest drainage reclamation]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2010. 52 p. (In Russian).
4. Dubakh A. D. Effect of drainage on wood growth. *Povysheniye proizvoditel'nosti lesnykh zemel' posredstvom osushitel'noy melioratsii* [Increasing the productivity of forest lands through drainage reclamation]. Leningrad, 1936, pp. 6–23 (In Russian).
5. Blintsov I. K. Forest drainage and its impact on the productivity of pine plantations in Belarus. *Puti povysheniya produktivnosti lesov: materialy Vsesoyuznogo soveshchaniya po povysheniyu produktivnosti lesov* [Ways to increase forest productivity: materials of the All-Union conference on improving forest productivity]. Minsk, 1966, pp. 133–137 (In Russian).
6. P'yavchenko N. I. Drainage reclamation and nature conservation. *Antropogennyye izmeneniya, okhrana rastitel'nosti bolot i prilegayushchikh territoriy* [Anthropogenic changes, protection of vegetation of swamps and adjacent areas]. Minsk, 1981, pp. 5–12 (In Russian).
7. Balashev L. S. Changes in the vegetation of Ukrainian swamps under the influence of reclamation. *Antropogennyye izmeneniya, okhrana rastitel'nosti bolot i prilegayushchikh territoriy* [Anthropogenic changes, protection of vegetation of swamps and adjacent areas]. Minsk, 1981, pp. 62–65 (In Russian).
8. Smolyak L. P. *Bolotnyye lesa i ikh melioratsiya* [Swamp forests and their reclamation]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1969. 209 p. (In Russian).
9. Medvedeva V. M. Changes in the vegetation of swamps in Karelia under the influence of forest drainage reclamation. *Antropogennyye izmeneniya, okhrana rastitel'nosti bolot i prilegayushchikh territoriy* [Anthropogenic changes, protection of vegetation of swamps and adjacent areas]. Minsk, 1981, pp. 62–65 (In Russian).
10. Ryhter I. E. *Lyasnaya piralogiya z asnovami radyoekalogii* [Forest pyrology with basics of radioecology]. Minsk, BDTU Publ., 1996. 300 p. (In Belarusian).
11. Ellenberg H. *Zeigerwerte der Gefasspflanzen Mitteleuropas*. Gottingen, Goltze Publ., 1992. 282 p. (In German).
12. Bulohov A. D., Semenishchenkov Yu. A. *Praktikum po klassifikatsii i ordinatsii rastitel'nosti* [Workshop on classification and ordination of vegetation]. Bryansk, RIO BGU Publ., 2009. 120 p. (In Russian).
13. Tichy L., Holt J. JUICE program for management, analysis and classification of ecological data. Available at: [www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman\\_all.pdf](http://www.sci.muni.cz/botany/juice/JUICEman_all.pdf) (accessed 01.03.2022).
14. Chytrý M., Tichý L., Holt J., Botta-Dukát Z. Determination of diagnostic species with statistical fidelity measures. *Journal of Vegetation Science*, 2002, no. 13, pp. 79–90.
15. Hill M. O. TWINSPAN—a FORTRAN Program for Arranging Multivariate Data in an Ordered Two Way Table by Classification of Individual and Attributes Ecology and Systematics. New York, Cornell University Publ., 1979. 90 p.
16. Shannon C. E., Weaver W. *The Mathematical Theory of Communication*. Urbana, Univ. Illinois Press Publ., 1949. 117 p.

17. Tsvelev N. N. *Opredelitel' sosudistyykh rasteniy Severo-Zapadnoy Rossii (Leningradskaya, Pskovskaya i Novgorodskaya oblasti)* [Key to vascular plants of Northwestern Russia (Leningrad, Pskov and Novgorod regions)]. St. Petersburg, Izdatel'stvo SPKhVA Publ., 2000. 781 p. (In Russian).
18. Rykovskiy G. F., Maslovskiy O. M. *Flora Belarusi. Mokhoobraznyye: v 2 tomakh. Tom 2: Hepaticopsida – Sphagnopsida* [Flora of Belarus. Bryophytes: in 2 vol. Vol. 2: *Hepaticopsida – Sphagnopsida*]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2009. 213 p. (In Russian).
19. Holmes R. L. Dendrochronology program library. Tucson, Arizona, University of Arizona, 1984. 51 p.
20. Nowacki J. G., Abrams M. D. Radial-growth averaging criteria for reconstructing disturbance histories from presettlement-origin oaks. *Ecological Monographs*, 1997, vol. 67, no. 2, pp. 225–249.
21. Komar A. Yu. Dynamics of the forest fund of the drained part of the Rasolish Forestry. *Sovremennyye problemy eksperimental'noy botaniki: materialy III Mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii molodykh uchyonykh* [Modern problems of experimental botany: materials of the III International scientific conference of young scientists]. Minsk, 2023, pp. 356–361 (In Belarusian).
22. Komar A. Yu., Sozinov O. V. Typological diversity of reclamation-derived pine forests of the Naliboksky nature reserve. *Botanika (Issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov* [Botany (Research): a collection of scientific papers]. Minsk, 2023, issue 52, pp. 71–86 (In Belarusian).
23. Komar A. Yu., Yermokhin M. V., Sudnik A. U. Successions and state of phytocenoses of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) within forest drainage systems (on the example of Nalibotsky Reserve). *Botanika (Issledovaniya): sbornik nauchnykh trudov* [Botany (Research): a collection of scientific papers]. Minsk, 2024, issue 53, pp. 71–86 (In Belarusian).
24. Tsvirko R. V., Grummo D. G. Syntaxonomic diversity of forest vegetation of the Belovezhskaya Pushcha National Park (Belarus). *Raznoobraziye rastitel'nogo mira* [Diversity of flora], 2020, no. 1 (4), pp. 57–80 (In Russian).
25. Labokha K. V., Shiman D. V. *Lesovodstvo* [Forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2015. 440 p. (In Russian).
26. Ipat'yev V. A., Smolyak L. P., Blintsov I. K. *Vedeniye lesnogo khozyaystva na osushennykh zemlyakh* [Forestry on drained lands]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1984. 144 p. (In Russian).
27. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types during forest management work]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p. (In Russian).
28. Rubtsov V. G., Knize A. A. *Vedeniye khozyaystva v meliorirovannykh lesakh* [Farming in reclaimed forests]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1981. 120 p. (In Russian).

### Інфармацыя пра аўтараў

**Комар Артур Юр'евіч** – навуковы супрацоўнік сектара маніторынгу расліннага свету. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча Нацыянальнай акадэміі навук Беларусі (220072, г. Мінск, вул. Акадэмічная, 27, Рэспубліка Беларусь). E-mail: artur.komar@tut.by

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

**Суднік Аляксандр Уладзіміравіч** – кандыдат біялагічных навук, загадчык лабараторыі. Інстытут эксперыментальнай батанікі імя В. Ф. Купрэвіча НАН Беларусі (220072, г. Мінск, вул. Акадэмічная, 27, Рэспубліка Беларусь). E-mail: asudnik@tut.by

### Information about the authors

**Komar Artur Yur'yevich** – researcher, the Sector of Monitoring of Plant World. 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: artur.komar@tut.by

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

**Sudnik Aliksandr Uladzimiravich** – PhD (Biology), Head of the Laboratory. 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

Пасмыніў 15.03.2024

УДК 574.4:630\*6

**В. В. Лукин<sup>1</sup>, Н. В. Кныш<sup>2</sup>, М. В. Ермохин<sup>2</sup>, Т. Л. Барсукова<sup>1</sup>, В. В. Савельев<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Институт экспериментальной ботаники имени В. Ф. Купревича

Национальной академии наук Беларуси

<sup>2</sup>ОО «Ботаническое общество»**ВЛИЯНИЕ ЭФФЕКТА «ГОРОДСКОГО ОСТРОВА ТЕПЛА» НА ДИНАМИКУ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА СОСНЫ ОБЫКНОВЕННОЙ (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

Активное развитие урбанизированных территорий вызывает изменение локального климата, что влияет также на рост и развитие древесной растительности. В работе представлены результаты исследования влияния так называемого «городского острова тепла» на динамику радиального прироста деревьев сосны, произрастающих в лесопарке «Слепянка» г. Минска. Активный рост города и создание крупных промышленных предприятий началось в послевоенные годы. К 1960-м гг. метеостанция «Минск», которая ранее находилась за городом, оказалась на его границе, а к 1980-м – в пределах города. В то же время недалеко от нее, на территории Пуховичского лесхоза в окрестностях метеостанции «Марьина Горка», расположенной в 60 км на юго-запад от Минска, сохранился крупный лесной массив. Контрольным объектом в этом массиве являются деревья сосны, произрастающие в аналогичном типе леса и имеющие такой же возраст. Городское потепление привело к увеличению радиального прироста в среднем от 9 до 16% по сравнению с контрольными древостоями начиная с 1980-х гг. Однако деревья стали более чувствительными к летним засухам и усилилась связь радиального прироста с зимними и ранневесенними температурами воздуха. Результаты подтверждают, что глобальное потепление климата будет способствовать увеличению продуктивности сосновых лесов в центральной части Беларуси, но делать их более восприимчивыми к неблагоприятным климатическим факторам. Это позволяет использовать деревья, которые растут в крупных городских лесопарках, для прогноза изменения продуктивности и устойчивости насаждений при дальнейшем изменении климата за пределами города в том же регионе.

**Ключевые слова:** сосна обыкновенная, ширина годичного кольца, климат, город.

**Для цитирования:** Лукин В. В., Кныш Н. В., Ермохин М. В., Барсукова Т. Л., Савельев В. В. Влияние эффекта «городского острова тепла» на динамику радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 13–20.  
DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-2.

**V. V. Lukin<sup>1</sup>, N. V. Knysh<sup>2</sup>, M. V. Yermokhin<sup>2</sup>, T. L. Barsukova<sup>1</sup>, V. V. Saveliev<sup>1</sup>**<sup>1</sup>V. F. Kuprevich Institute of Experimental Botany  
of the National Academy of Science of Belarus<sup>2</sup>PA “Botanical Society”**IMPACT OF THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT ON TREE-RING DYNAMICS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.)**

The active development of urbanized territories causes a change in the local climate and last impact to the growth and development of trees. The results of a study of the impact of the so-called “urban heat island” effect on the dynamics of tree-rings of Scots pine growing in the forest park “Slepyanka” in Minsk are presents. The active growth of the city and the development of large industrial enterprises began in the post the Second World War years. By the 1960s, the Minsk weather station, which was previously located outside the city, found itself on its border, and by the 1980s – within the city. At the same time, a large forest area has been preserved not far from it. The control object is pine trees growing in the same type of forest and of a similar age on the territory of the Pukhovichi forestry enterprise not so far from the Maryina Gorka weather station, located 60 km to the southwest of Minsk. Urban warming has increased radial growth by 9 to 16% compared to control stands since the 1980s. However, trees become more sensitive to summer droughts and the relationship between radial growth and winter-early spring air temperatures increases. The results confirm that global warming can increase the productivity of pine forest in Belarus but make them more susceptible to unfavorable climatic factors. This makes it possible to use trees that grow in large urban forest parks to predict changes in the productivity and sustainability of forest stands outside the city in the same region with further climate change.

**Keywords:** Scots pine, tree ring width, climate, town.

**For citation:** Lukin V. V., Knysh N. V., Yermokhin M. V., Barsukova T. L., Saveliev V. V. Impact of the urban heat island effect on tree-ring dynamics of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 13–20 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-2.

**Введение.** Леса являются важным компонентом урбанизированных природно-территориальных комплексов. Сохранение их устойчивости в условиях комплексного интенсивного антропогенного воздействия должно строиться с учетом происходящих климатических изменений. Особого внимания заслуживает и то, что сам город, развиваясь, меняет локальный климат быстрее, чем это происходит на сопредельных территориях. Создается так называемый «городской остров тепла», особенности которого подробно описаны в климатологии [1, 2]. Основное потепление в городе идет за счет ночных температур, что было четко показано и на примере Минска [3]. Превышение дневных летних температур в Марьиной Горке по сравнению с Минском стало особенно заметно в последние десятилетия. Кроме того, при положительном тренде ночные температуры в городе остаются выше, чем в сельской местности с 1977 г. Существование острова тепла приводит к удлинению безморозного периода, соответствующего сдвигу дат весенних и осенних заморозков. На 3–4 дня позже, чем в пригороде, образуется устойчивый снежный покров, и на несколько дней раньше он сходит. Такие различия, хоть и незначительные, должны стимулировать прирост растений, в том числе и древесных, расположенных в городе, но удаленных от прямых источников загрязнения. В то же время, сами деревья (и особенно насаждения) позволяют понизить температуру воздуха в городах, что можно использовать для адаптации городов к потеплению климата [4].

Изменение реакции деревьев различных пород на климатические факторы в городе и повышение их чувствительности было показано в ряде работ [5–9], а у некоторых пород деревьев был выявлен положительный тренд в радиальном приросте [10]. Например, на территории Берлина деревья широколиственных пород (ясень, бук, дуб черешчатый и скальный) показывают высокую чувствительность к летним засухам, в то время как деревья хвойных пород (сосна обыкновенная, псевдотсуга Мензиса) – к зимним и ранневесенним температурам. Причем климатический сигнал в годичных кольцах деревьев меняется по градиенту от центра города к периферии, что позволяет оценивать вклад именно «городского острова тепла» в формирование прироста [8].

По мере развития города его климат становится похожим на климат более южных регионов, что позволяет оценить, как древесные растения будут себя чувствовать при дальнейшем

потеплении климата в тех же географических условиях. Несмотря на имеющиеся исследования, вопрос о степени воздействия этих изменений на состояние деревьев и продуктивность древостоев до сих пор остается малоизученным. Во многом это связано с тем, что на деревья в городе оказывает воздействие большое количество других факторов: рекреация, загрязнение, повреждение стволов и корневых систем и пр. Поэтому выбор объекта исследований имеет важное значение для оценки влияния климатических факторов на городские насаждения.

В нашей работе мы поставили две задачи: во-первых, оценить влияние потепления на изменение тренда радиального прироста деревьев, а во-вторых – определить климатические факторы, которые вызывают эти изменения.

**Объекты и методы исследования.** Объектами исследования послужили деревья сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), растущие в лесопарке «Слепянка» в городе Минске. Особенностью лесного массива является то, что до 1950–60-х гг. он располагался за пределами города, так же как и Минская метеостанция. По мере роста города они оказались со всех сторон окружены городской застройкой и линиями коммуникации. Это позволило оценить время начала воздействия «городского острова тепла» на деревья. Контрольным объектом являются деревья сосны, произрастающие на территории Пуховичского лесхоза в окрестностях метеостанции «Марьиная Горка» (рис. 1).



Рис. 1. Схема размещения объектов исследования

Для исследования были подобраны насаждения близкого возраста – 120–140 лет, орлякового типа леса в соответствии с белорусской лесной

типологией [11, 12], с отсутствием или минимальными следами лесохозяйственного воздействия. Кроме того, чтобы снизить влияние локальных условий, керны отбирались у деревьев, произрастающих в нескольких близко расположенных древостоях. Всего было отобрано по 35 деревьев в модельном и контрольном лесных массивах, однако часть деревьев имела скрытые повреждения ствола, поэтому они были исключены из анализа.

Образцы древесины (керны) отбирали приростным буром по два из ствола на высоте 1,3 м от корневой шейки. В камеральных условиях подготовленные образцы древесины сканировались на планшетном сканере с разрешением 1200 dpi. Измерение ширины годичных колец выполнено по отсканированному изображению в программном обеспечении ArcGIS с точностью 0,01 мм. Для каждого дерева из двух измеренных кернов получали усредненный ряд.

Перекрестное датирование, выявление ложных и выпавших колец проведено с использованием кросс-корреляционного анализа [13]. Для оценки связи между древесно-кольцевыми хронологиями (ДКХ) использованы коэффициент синхронности (GLK) [14] и *t*-критерий [15], а для оценки степени воздействия климатических факторов на изменение величины прироста – коэффициент чувствительности [16]. Стандартизация изменчивости радиального прироста проводилась для каждого дерева с дальнейшим усреднением индексов по пробной площади и построением стандартизированной хронологии. Для сглаживания возрастных кривых использованы экспоненциальная кривая и функция Хагершофа [17, 18]. В результате построено две древесно-кольцевые хронологии: MNS07 (Минск) и PHV01 (Марьяна Горка), краткая характеристика которых приведена в таблице.

Для оценки влияния на радиальный прирост деревьев климатических данных и построения функций отклика использованы месячные суммы осадков и среднемесячные температуры воздуха по метеорологическим станциям «Минск» и «Марьяна Горка».

Перекрестное датирование отдельных серий годичных колец и ДКХ выполнено в программе COFESHA 6.06P, расчеты кривых для элиминирования возрастных трендов, индексов прироста и авторегрессионное моделирование – в про-

грамме ARSTAN40с, построение функций отклика радиального прироста на климатические факторы – в программе RESPO [19].

**Результаты исследования.** Метеорологическая станция в Минске ведет наблюдения с 1887 г. и на момент создания она находилась в 4 км от Минска (рис. 2). Вплоть до Второй мировой войны она находилась за пределами города. Бурный рост города произошел в послевоенные годы и уже к началу 1960-х гг. метеостанция оказалась на самой окраине города. С севера и запада к ней уже подступала жилая застройка. К 1980-м гг. городская застройка окружала метеостанцию со всех сторон, и с каждым годом подступала все ближе. Лесной массив «Слепянка» полностью попал в окружение города в 1980-х гг. (рис. 2). Таким образом, заметное изменение климатических показателей на метеостанции, связанных с развитием урбанизации территории, можно было ожидать с 1950–1960-х, а в лесном массиве – с 1980-х гг.

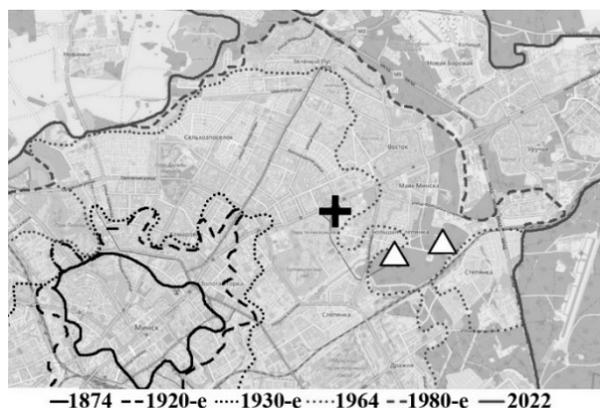


Рис. 2. Изменение условной границы городской агломерации Минска за последние 150 лет (обозначения те же, что на рис. 1)

На рис. 3 представлена динамика разности годовой суммы осадков и среднегодовых температур воздуха по метеостанциям «Минск» и «Марьяна Горка». Даже без проведения детального климатологического анализа видно, что на протяжении 1895–2020 гг. годовая сумма осадков на метеостанции «Минск» была в среднем выше на 60–70 мм, чем на метеостанции «Марьяна Горка», за исключением 1950-х гг. При этом разность температур начала сокращаться с 1955 г.

#### Характеристика древесно-кольцевых хронологий (ДКХ)

ДКХ	Количество деревьев	Период, гг.	Длина, лет	Тип ДКХ	Коэффициент чувствительности	Среднеквадратическое отклонение	Межсерийный коэффициент корреляции	Автокорреляция 1-го порядка
MNS07	34	1892–2015	124	raw	–	1,08	0,66	–
				std	0,16	0,23	–	0,61
				res	0,22	0,18	–	–
PHV01	29	1902–2015	114	raw	–	1,14	0,56	–
				std	0,12	0,20	–	0,69
				res	0,16	0,14	–	–

В 1895–1955 гг. среднегодовая температура воздуха в Минске была ниже на  $0,2^{\circ}\text{C}$ , чем в Марьиной Горке, в 1956–1977 гг. – на  $0,1^{\circ}\text{C}$ , а с 1977 г. и по настоящее время они в среднем сравнялись и разница колеблется по годам в пределах  $\pm 0,1^{\circ}\text{C}$ . Только в 2019–2020 гг. на метеостанции в Минске среднегодовая температура воздуха оказалась ниже на  $0,4$ – $0,5^{\circ}\text{C}$ , чем в Марьиной Горке. Причем происходит это все на фоне общего роста среднегодовых температур воздуха на обеих метеостанциях.

Более быстрый рост температур воздуха в Минске (рис. 3) четко повторяет рост города во второй половине XX в. (рис. 2). Потепление началось практически сразу, как только метеостанция оказалась в городской черте. При этом лесной массив «Слепянка» попал в полное окружение города спустя 10–20 лет.

Одна из основных проблем при оценке влияния климатических изменений на радиальный прирост деревьев – наличие у последних возрастного тренда, что не позволяет использовать и сравнивать абсолютные значения радиального прироста. Обязательно требуется проведение процедуры стандартизации и расчета индексов прироста. Широко используемые сплайны с узким окном приводят к полной элиминации долгопериодических колебаний и трендов в приросте. В нашем случае необходимо было использовать для стандартизации модели, которые позволяют удалить возрастную тренд, но сохраняют долгопериодические колебания. Поэтому для стандартизации радиального прироста нами были использо-

ваны две кривые: экспоненциальная функция и функция Хагершофа, специально разработанная для сглаживания возрастных кривых (рис. 4).

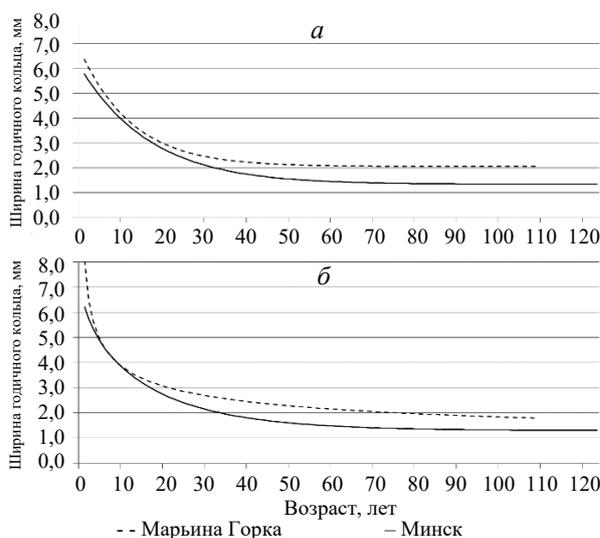


Рис. 4. Возрастные кривые радиального прироста в городском и фоновом насаждениях при стандартизации разными функциями: а – экспоненциальной; б – Хагершофа

Несмотря на один тип леса и близкий возраст деревьев, абсолютные значения прироста в фоновой древесно-кольцевой хронологии (PHV01) на 20–25% выше на протяжении всей жизни насаждения начиная с 15 лет. Связано это с несколько более богатыми почвенно-грунтовыми условиями.

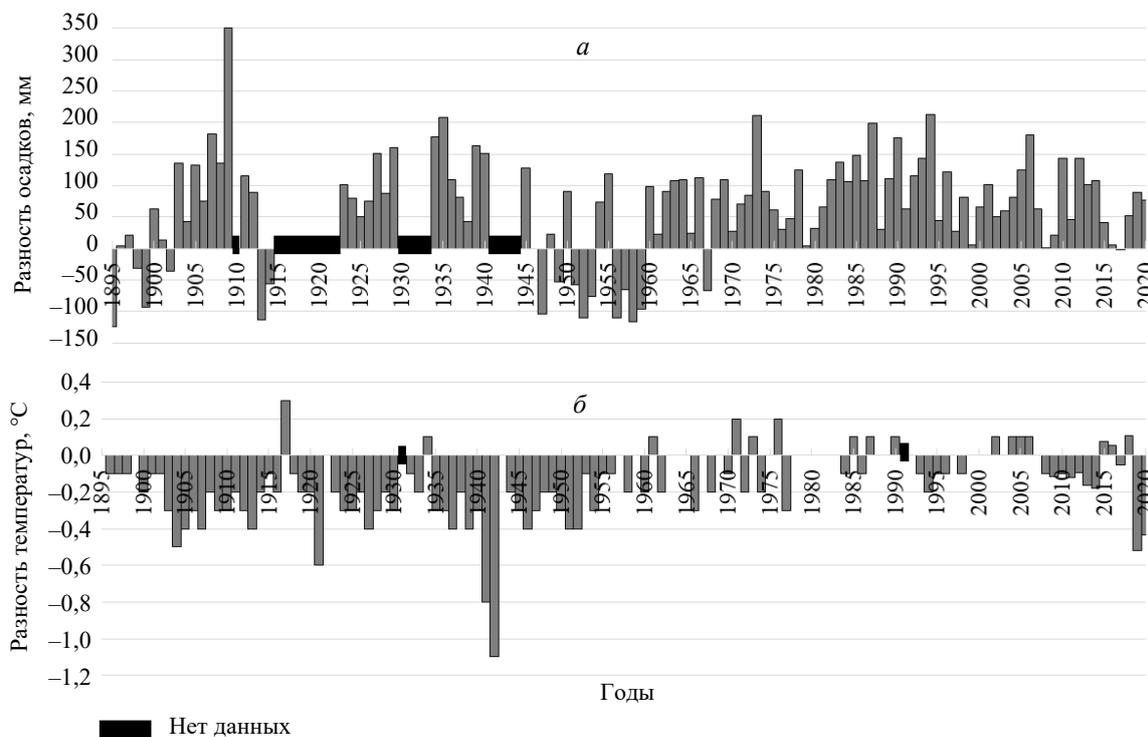


Рис. 3. Динамика разности годовой суммы осадков (а) и среднегодовых температур воздуха (б) по метеостанциям «Минск» и «Марьиная Горка»

При стандартизации радиального прироста разными функциями для городского насаждения различия находятся в пределах 1–2%. Для фонового насаждения они оказались гораздо более существенны. При расчете экспоненциальной кривой значения стабилизировались на уровне 2 мм с 50 лет, а при расчете функции Хагершофа радиальный прирост показывает постепенное снижение до 1,9 мм. Эти различия связаны с существенными флуктуациями радиального прироста у деревьев в молодом возрасте, когда в насаждениях, вероятно, проводились различные виды рубок. Поэтому сравнение индексов радиального прироста проводилось только для периода 1965–2015 гг.

В соответствии с дендрохронологическим зонированием сосны в Беларуси обе ДКХ относятся к Березинскому району [20] и показывают высокую корреляцию ( $t$ -критерий = 10,1) и синхронность ( $GLK = 65\%$ ) друг с другом. При этом коэффициент чувствительности (таблица) хронологии MNS07 гораздо выше (0,16 у стандартизированной и 0,22 у остаточной), чем PHV01 (0,12 и 0,16 соответственно). Это подтверждается и другими исследованиями влияния «городского острова тепла» на рост деревьев: попадая в новые климатические условия, они становятся более восприимчивы к воздействию внешних факторов [5–9].

Сравнение индексов радиального прироста городского и фонового насаждений показывает устойчивое увеличение прироста деревьев, растущих в городе, с конца 1980-х гг. (рис. 5) независимо

от метода стандартизации. Эти различия в 2005–2015 гг. составляли в среднем 11% при стандартизации функцией Хагершофа и 19% при стандартизации экспонентой, а за весь период устойчивого увеличения (с 1980-х гг.) – 9 и 16% соответственно.

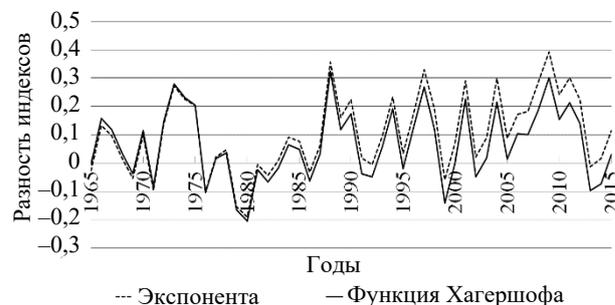


Рис. 5. Динамика разности индексов прироста городской (MNS07) и фоновой (PHV01) хронологии при стандартизации разными функциями

В то же время в годы с крайней напряженностью климатических факторов (в первую очередь летних засух) различия между городскими насаждениями и фоновыми исчезают (1991–1992, 1999, 2002–2003, 2013–2014 гг.) за счет большего снижения радиального прироста в городской ДКХ. Деревья, растущие в городских насаждениях, становятся более восприимчивы к колебаниям климатических факторов. Этот же факт подтверждает и анализ функций отклика радиального прироста на климат (рис. 6).

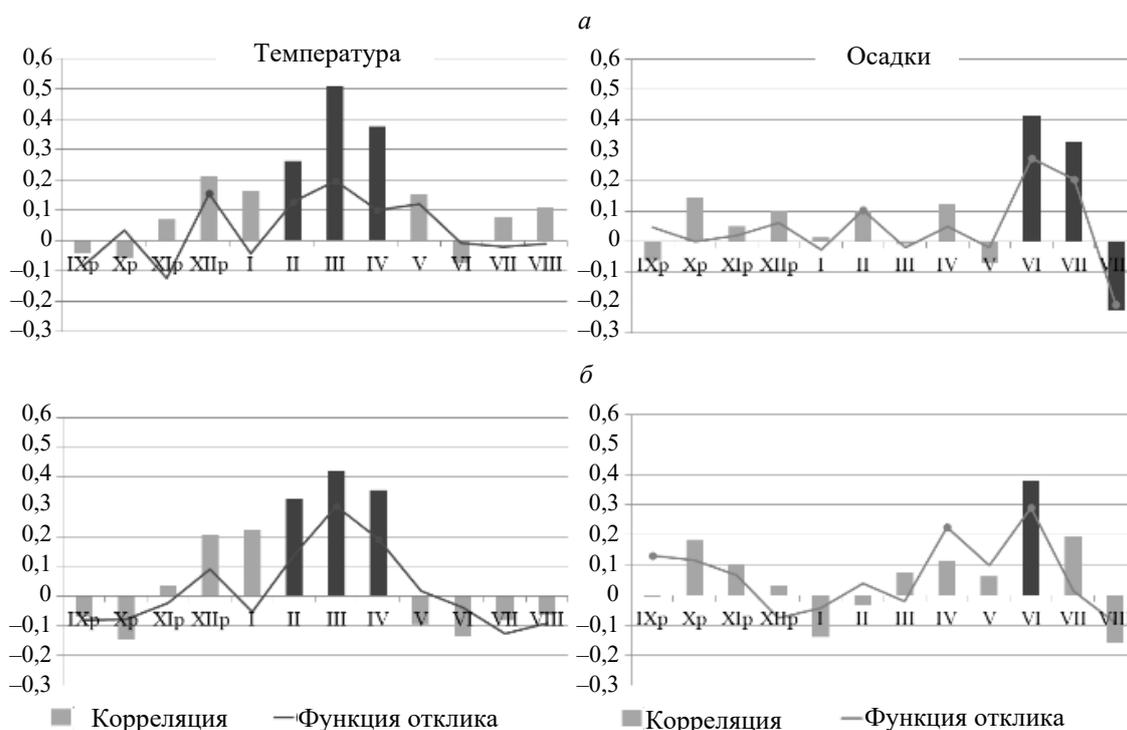


Рис. 6. Корреляция и функции отклика городской (а) и фоновой (б) хронологии сосны (значимые при  $p < 0,05$  коэффициенты выделены темным цветом и маркерами)

Влияние климатических факторов (температуры воздуха и количества осадков) имеет одинаковую направленность как в городской, так и фоновой хронологиях. Причем и в одном, и в другом случаях функция отклика объясняет почти одинаковую погодичную вариацию прироста: 45,6% – в городской хронологии и 47,2% – в фоновой. В то же время оценка влияния погодных условий отдельных месяцев показывает некоторые отличия.

Основное влияние на формирование радиального прироста оказывают температуры февраля, марта и апреля в обеих ДКХ (коэффициент корреляции оставляет от 0,26 до 0,50). Причем наиболее значимая положительная связь выявлена с температурами марта и апреля. Однако коэффициенты функции отклика в фоновой хронологии значимы (при  $p < 0,05$ ) только для марта и апреля, а в городской – еще и для февраля. Это в очередной раз подтверждает, что в центральной части Беларуси рост деревьев сосны в значительной степени ограничен продолжительностью вегетационного сезона [20], а в городе более высокие температуры ранневесенних месяцев стимулируют и раннее начало развития деревьев. Именно за счет этих месяцев возникает положительный тренд радиального прироста у деревьев, растущих в городских насаждениях.

В течение летних месяцев наиболее существенное влияние на радиальный прирост деревьев как в фоновой, так и городской ДКХ, оказывают осадки. Но в фоновой хронологии достоверным является только положительное влияние осадков июня – периода, когда идет максимальный прирост древесины. Для городской хронологии значимым является и июль (рис. 6). Это подтверждает тот факт, что засухи летних месяцев более негативно сказываются на городской хронологии, чем фоновой (рис. 5).

Еще одно отличие городской ДКХ от фоновой – наличие значимой отрицательной связи радиального прироста с осадками августа текущего года. Аналогичную зависимость периодически выявляют как для сосны [20], так и для

других древесных пород [21]. Поскольку в Беларуси в августе может формироваться до 10–20% радиального прироста [22], то, вероятнее всего, отрицательное влияние осадков может быть связано с тем, что при их большом количестве наблюдается продолжительная облачность. Она затрудняет приток прямой солнечной радиации и ограничивает рост деревьев, что особенно сильно проявляется в городской среде в конце вегетационного сезона при сокращении светового дня. Однако этот вопрос требует отдельных исследований.

**Заключение.** Урбанизация является одним из ведущих факторов, влияющих на региональный климат. Формирование «городского острова тепла», с одной стороны, стимулирует рост деревьев за счет расширения вегетационного сезона и более теплого зимнего периода. С другой – делает деревья более чувствительными к гидро-термическому режиму летних месяцев. Наши исследования показали, что изменение температур воздуха в городской среде на 0,2°C привело к повышению радиального прироста деревьев сосны на 9–16%, увеличению амплитуды его колебаний в засушливые годы и чувствительности древесно-кольцевых хронологий. Влияние летних осадков на изменчивость радиального прироста сосны становится таким же, как в насаждениях, расположенных на 100–200 км южнее, но за пределами города. Соответственно и негативное влияние потепления (в первую очередь летних засух) на бореальные породы деревьев будет проявляться в первую очередь в городских насаждениях. Это позволяет использовать деревья, растущие в городских насаждениях, для прогноза изменения продуктивности и устойчивости насаждений при дальнейшем изменении климата за пределами города в том же регионе.

**Благодарности.** Работа выполнена в рамках задания 1.06/3 «Реконструкция и прогноз региональных изменений в приросте и составе лесов под влиянием урбанизации и мелиорации» ГПНИ «Природопользование и экология».

### Список литературы

1. Oke T. The energetic basis of urban heat island // Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society. 1982. Vol. 108. P. 1–24. DOI: 10.1002/qj.49710845502.
2. Arnfield A. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island // International Journal of Climatology. 2003. Vol. 23. P. 1–26. DOI: 10.1002/joc.859.
3. Логинов В. Ф. Глобальные и региональные изменения климата: причины и следствия. Минск: ТетраСистемс, 2008. 496 с.
4. The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities / J. Schwaab [et al.] // Nat. Commun. 2021. Vol. 12. No. 1. DOI: 10.1038/s41467-021-26768-w.
5. Gillner S., Vogt J., Roloff A. Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites // Urban Forestry & Urban Greening. 2013. Vol. 12. P. 597–605. DOI: 10.1016/j.ufug.2013.05.003.
6. Gillner S., Bräuning A., Roloff A. Dendrochronological analysis of urban trees: Climatic response and impact of drought on frequently used tree species // Trees. 2014. Vol. 28. No. 4. P. 1079–1093. DOI: 10.1007/s00468-014-1019-9.

7. Wilde E. M., Maxwell J. T. Comparing climate-growth responses of urban and non-urban forests using *L. tulipifera* tree-rings in southern Indiana, USA // *Urban Forestry & Urban Greening*. 2018. Vol. 31. P. 103–108. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.01.003.
8. Using the dendro-climatological signal of urban trees as a measure of urbanization and urban heat island / C. Schneider [et al.] // *Urban Ecosystems*. 2022. Vol. 25. DOI: 10.1007/s11252-021-01196-2.
9. Городской остров тепла г. Екатеринбурга: есть ли влияние на радиальный прирост сосны обыкновенной? / В. В. Кукарских [и др.] // *Журн. Сиб. федер. ун-та. Биология*. 2022. № 15 (2). С. 264–278. DOI: 10.17516/1997-1389-0386.
10. Кладько Ю. В., Бенькова В. Е. Радиальный рост древесных видов в условиях высокой антропогенной нагрузки г. Красноярска // *Сиб. лесной журн*. 2018. № 4. P. 49–57.
11. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.
12. Гельтман В. С. Географический и типологический анализ лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1982. 326 с.
13. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement // *Tree-Ring Bull*. 1983. No. 44. P. 69–75.
14. Huber B. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung // *Holz als Roh und Werkstoff*. 1943. P. 263–268.
15. A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe / J. R. Pilcher [et al.] // *Nature*. 1984. No. 312. P. 150–152.
16. Fritts H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource // *Transactions American Geophysical Union*. 1969. Vol. 50. P. 22–29. DOI: 10.1029/eo050i001p00022.
17. Fritts H. C. *Tree-rings and climate*. London; N. Y.; San Francisco: Acad. Press, 1976. 576 p.
18. Cook E. R. A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization. Ph. D. Thesis, The University of Arizona, Tucson, AZ, USA, 1985. 183 p.
19. Holmes R. L. *Dendrochronology program library. Users manual*. Tucson, Arizona, 1984. 51 p.
20. Ермохин М. В. Дендрохронологическое районирование сосны обыкновенной в Беларуси // *Вест. Нац. акад. наук Беларуси. Сер. биял. навук*. 2020. Т. 65. № 4. С. 441–453. DOI: 10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453.
21. The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe / C.-C. Roibu [et al.] // *Forests*. 2020. Vol. 11 (5). DOI: 10.3390/f11050600.
22. Болботунов А. А., Лесковец С. В., Болботунов К. А. Мониторинг сезонной динамики радиального прироста хвойных пород // *Наука о лесе XXI века: материалы Междунар. науч.-практ. конф., посвящ. 80-летию Ин-та леса НАН Беларуси, Гомель 17–19 нояб. 2010 г. Гомель, 2010. С. 397–400.*

### References

1. Oke T. The energetic basis of urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, 1982, vol. 108, pp. 1–24. DOI: 10.1002/qj.49710845502.
2. Arnfield A. Two decades of urban climate research: A review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 2003, vol. 23, pp. 1–26. DOI: 10.1002/joc.859.
3. Loginov V. F. *Global'nyye i regional'nyye izmeneniya klimata: prichiny i sledstviya* [Global and regional climate changes: causes and consequences]. Minsk, TetraSistems Publ., 2008. 496 p. (In Russian).
4. Schwaab J., Meier R., Mussetti G., Seneviratne S., Bürgi C., Davin E. L. The role of urban trees in reducing land surface temperatures in European cities. *Nat. Commun.*, 2021, vol. 12, no. 1. DOI: 10.1038/s41467-021-26768-w.
5. Gillner S., Vogt J., Roloff A. Climatic response and impacts of drought on oaks at urban and forest sites. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2013, vol. 12, pp. 597–605. DOI: 10.1016/j.ufug.2013.05.003.
6. Gillner S., Bräuning A., Roloff A. Dendrochronological analysis of urban trees: Climatic response and impact of drought on frequently used tree species. *Trees*, 2014, vol. 28, no. 4, pp. 1079–1093. DOI: 10.1007/s00468-014-1019-9.
7. Wilde E. M., Maxwell J. T. Comparing climate-growth responses of urban and non-urban forests using *L. tulipifera* tree-rings in southern Indiana, USA. *Urban Forestry & Urban Greening*, 2018, vol. 31, pp. 103–108. DOI: 10.1016/j.ufug.2018.01.003.
8. Schneider C., Neuwirth B., Schneider S., Balanzategui D., Elsholz S., Fenner D., Meier F., Heinrich I. Using the dendro-climatological signal of urban trees as a measure of urbanization and urban heat island. *Urban Ecosystems*, 2022, vol. 25. DOI: 10.1007/s11252-021-01196-2.
9. Kukarskih V. V., Devi N. M., Bubnov M. O., Komarova A. V., Agafonov L. I. Urban Heat Island of Ekaterinburg: Does It Affect Radial Growth of the Scots Pine? *Zhurnal Sibirskogo federal'nogo universiteta. Biologiya* [Journal of Siberian Federal University. Biology], 2022, no. 15 (2), pp. 264–278. DOI: 10.17516/1997-1389-0386 (In Russian).
10. Klad'ko Yu. V., Benkova V. E. Radial growth of woody species in the conditions of high anthropogenic load in the city of Krasnoyarsk. *Sibirskiy Lesnoy Zhurnal* [Siberian Journal of Forest Science], 2018, no. 4, pp. 49–57. DOI: 10.15372/SJFS20180406 (In Russian).

11. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types during forest inventory works]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p. (In Russian).
12. Geltman V. S. *Geograficheskiy i tipologicheskiy analiz lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geographical and typological analysis of forest vegetation in Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1982. 326 p. (In Russian).
13. Holmes R. L. Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement. *Tree-Ring Bull.*, 1983, no. 44, pp. 69–75.
14. Huber B. Über die Sicherheit jahrringchronologischer Datierung. *Holz als Roh und Werkstoff*, 1943, pp. 263–268 (In German).
15. Pilcher J., Baillie M., Schmidt B., Becker B. A 7,272-year tree-ring chronology for western Europe. *Nature*, 1984, no. 312, pp. 150–152.
16. Fritts H. C. Tree-ring analysis: tool for water resource. *Transactions American Geophysical Union*, 1969, vol. 50, pp. 22–29. DOI: 10.1029/eo050i001p00022.
17. Fritts H. C. *Tree-rings and climate*. London; N. Y.; San Francisco, Acad. Press, 1976. 576 p.
18. Cook E. R. A Time Series Analysis Approach to Tree Ring Standardization. Ph. D. Thesis, The University of Arizona, Tucson, AZ, USA, 1985. 183 p.
19. Holmes R. L. *Dendrochronology program library. Users manual*. Tucson, Arizona, 1984. 51 p.
20. Yermokhin M. V. Dendrochronological zoning of Scots pine in Belarus. *Vestsi Natsyyanal'nay akademii navuk Belarusi* [Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus], Biological series, 2020, vol. 65, no. 4, pp. 441–453. DOI: 10.29235/1029-8940-2020-65-4-441-453 (In Russian).
21. Roibu C.-C., Sfecla V., Mursa A., Ionita M., Viorica N., Chiriloaei F., Lesan I., Ionel P. The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests*, 2020, vol. 11 (5). DOI: 10.3390/f11050600.
22. Bolbotunov A. A., Leskovets S. V., Bolbotunov K. A. Monitoring the seasonal dynamics of radial growth of coniferous species. *Nauka o lese XXI veka: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii, posvyashchennoy 80-letiyu Instituta lesa NAN Belarusi* [Forest Science of the 21st Century: materials from the International Research and Practical Conference dedicated to the 80th anniversary of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2010, pp. 397–400 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Лукин Виталий Васильевич** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: lukin.vitali04@gmail.com

**Кныш Наталья Валерьевна** – научный сотрудник. ОО «Ботаническое общество» (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: knyshnv@gmail.com

**Ермохин Максим Валерьевич** – кандидат биологических наук, ОО «Ботаническое общество» (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: maxim.yermokhin@gmail.com

**Барсукова Татьяна Леонидовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, ведущий научный сотрудник лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь). E-mail: barsukovatl@yandex.ru

**Савельев Василий Васильевич** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник лаборатории проблем экологии леса и дендрохронологии. Институт экспериментальной ботаники им. В. Ф. Купревича НАН Беларуси (220072, г. Минск, ул. Академическая, 27, Республика Беларусь).

#### Information about the authors

**Lukin Vitaliy Vasil'evich** – PhD (Biology), Leading 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

**Knysh Natalia Valer'evna** – Researcher. PA “Botanical Society” (27, Akademicheskaya str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: knyshnv@gmail.com

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

**Barsukova Tatiana Leonidovna** – PhD (Agriculture), Leading 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

**Saveliev Vasilii Vasil'evich** – PhD (Biology), 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).

Поступила 12.03.2024

УДК 630\*232

**О. А. Севко, В. В. Коцан**

Белорусский государственный технологический университет

**ЗАВИСИМОСТЬ ПРИРОСТА РАСТУЩЕЙ ЧАСТИ ДРЕВОСТОЯ  
ОТ ПРОСТРАНСТВЕННОГО РАЗМЕЩЕНИЯ ВЫРУБАЕМЫХ ДЕРЕВЬЕВ**

В статье изложены результаты исследования влияния пространственного размещения вырубемых при рубках ухода деревьев на радиальный прирост и прирост по объему оставшихся после рубки деревьев. При этом приведено разделение динамики радиального прироста для деревьев, находившихся до рубки в значительной конкуренции с соседними деревьями, и деревьев, не подверженных влиянию соседних деревьев ни до, ни после рубки.

Точность проведенных исследований обусловлена применением высокотехнологичных методов закладки пробных площадей, инструментальным определением радиального прироста деревьев сосны и ели, использованием возможностей Quantum GIS для обработки данных отсканированных ядер и создания цифровых карт пробных площадей, а также задействованием программных средств для дальнейшей обработки результатов.

В процессе исследования выявлено, что после рубки соседних деревьев наблюдается увеличение на 58–60% радиального прироста у деревьев ели, находящихся до рубки под пологом или под значительным влиянием соседних деревьев. В общем средний радиальный прирост деревьев ели, находящихся под влиянием, на 30–50% больше после проведения рубки, чем у деревьев без влияния соседних. У деревьев сосны, не подверженных значительной конкуренции со стороны соседних деревьев до рубки, изменение прироста после рубки незначительно. Прирост по объему у деревьев, находящихся рядом с вырубленными, увеличивается после рубки до 45–48%.

**Ключевые слова:** текущий прирост, пространственная структура, сложный древостой, регрессионный анализ.

**Для цитирования:** Севко О. А., Коцан В. В. Зависимость прироста растущей части древостоя от пространственного размещения вырубемых деревьев // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 21–29.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-3.

**O. A. Sevko, V. V. Kotsan**

Belarusian State Technological University

**DEPENDENCE OF THE GROWTH OF THE GROWING PART OF THE TREE  
STAND FROM THE SPATIAL PLACEMENT OF CUTTED TREES**

The article presents the results of a study of cut-down areas in the forest during felling, caring for trees on radial growth and volumetric growth remaining after cutting trees. At the same time, a definition is given of the dynamics of radial growth for trees that were before cutting under the control of competition between remaining trees and trees, and not the gradual influence of trees both before and after cutting.

The accuracy of the research is due to high-tech methods for laying trial plots, instrumentally determined radial growth of pine and spruce trees, as well as the use of Quantum GIS capabilities for processing scanned core data and creating digital maps of trial plots, as well as the use of software for further processing of the results

Based on the results of a study of radial growth, it was revealed that felling neighboring trees increases the radial growth of spruce trees that are under the canopy or under significant influence of neighboring trees after felling up to 58–60%. In trees that were under influence, after felling, the average radial growth increased by 30–50% compared to the growth of trees without influence. For pine trees that were not subject to significant competition from neighboring trees before felling, the change in growth after cutting neighboring trees was not significant. The increase in volume for trees located next to those cut down increases after felling to 45–48% for trees.

**Keywords:** current growth, spatial structure, complex forest stand, regression analysis.

**For citation:** Sevko O. A., Kotsan V. V. Dependence of the growth of the growing part of the tree stand from the spatial placement of cutted trees. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 21–29 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-3.

**Введение.** Одним из принципов ведения лесного хозяйства является обеспечение улучшения породного состава и качества лесов, повышение

их продуктивности. Основным способом достижения данной цели является проведение рубок, которые позволяют формировать высокопродуктивные

лесные насаждения, предотвращать потери древесины в соответствии с технологическими требованиями, установленными СТБ 1361–2002 «Устойчивое лесопользование и лесопользование. Рубки промежуточного пользования. Требования к технологиям».

Благодаря рубкам ухода происходит формирование хозяйственно ценных, высокопродуктивных и устойчивых насаждений [1].

Важнейшими организационно-техническими элементами рубок ухода являются отбор деревьев в рубку, интенсивность и метод рубки ухода. Правильное назначение деревьев в рубку позволяет эффективно использовать солнечную энергию за счет планового формирования крон деревьев и сомкнутости полога, что обеспечивает рост массы хвои, увеличение площади углеродного и минерального питания оставшихся после рубки деревьев и способствует сохранению деревьев с лучшими селекционными категориями и формами [2].

В настоящее время при отборе деревьев в рубку в соответствии с «Правилами рубок леса в Республике Беларусь» деревья классифицируются на лучшие, вспомогательные (полезные) и нежелательные. Для выращивания оставляют лучшие и вспомогательные деревья, а нежелательные удаляют [1].

При отборе деревьев в рубку в основном учитывается горизонтальная структура насаждения, поэтому использование понятия «пространственная структура» и ее учет при оценке взаимоотношений внутри древостоя становятся закономерными [1–3].

Изучение влияния пространственной структуры на прирост и дальнейшее развитие древостоя позволит обосновать и оптимизировать выбор и назначение организационно-технических элементов в каждом конкретном случае [4].

При этом общеизвестна классификация Крафта, которая описывает пространственно-конкурентные отношения деревьев по соотношению высот соседних деревьев, их размера и качества кроны. Принадлежность к определенному классу отражает положение дерева в насаждении, а значит, и его потенциал роста [3].

Для классификации деревьев в древостое могут использоваться различные критерии, например соотношение высоты центрального дерева к средней высоте деревьев-конкурентов. В результате классы получили следующие названия: доминирующие, средние и угнетенные деревья [5].

В работах А. А. Вайса, посвященных межвидовым и внутривидовым отношениям в сложных древостоях, отмечено, что оценить отношения между деревьями различных пород можно либо с учетом характеристик центрального дерева, но без выявления оптимального радиуса влияния, либо без учета характеристик центрального дерева, но с выявлением оптимального радиуса влияния [6].

Вопросы влияния пространственного размещения деревьев на производительность насаждения

рассматривались в работах С. В. Бойко, А. И. Бузыкина [7–10]. Учет размещения деревьев позволяет выделить те из них, которые активно увеличивают жизненное пространство и имеют текущий прирост выше среднего для данного насаждения.

В результате исследований смешанных насаждений В. Я. Грибанов и И. В. Прокопцев пришли к выводу, что горизонтальная структура в молодых и средневозрастных насаждениях соответствует групповому распределению, а в спелых и созревающих лесах наблюдается равномерное расположение растений [11].

Влияние нескольких показателей конкуренции рассматривается В. А. Усольцевым [3]. В его работах объединены оба подхода. В результате его исследований устанавливался оптимальный радиус влияния, обеспечивающий максимальный прирост ствола и фитомассы.

Для оценки внутривидовых и межвидовых отношений С. Н. Сеннова, В. В. Коцана, О. А. Севко используют индекс конкуренции (СИ), дающий количественное выражение конкурентных отношений между деревьями. Его применение возможно для вычисления изменчивости биологической продуктивности деревьев в насаждении [12–15].

Изменение конкурентных отношений в древостое после проведения рубок ухода и влияние изменения пространственной структуры на прирост оставшейся части древостоя являются при этом важнейшими вопросами, решение которых позволит оптимизировать пространственную структуру древостоя, а следовательно, окажет влияние на отбор деревьев в рубку.

**Основная часть.** Вопросы влияния рубок ухода на оставшуюся часть древостоя, а именно прирост оставшихся деревьев, приобретают особое значение при целевом лесовыращивании. Важно знать не только объем вырубленной древесины, но и то, какое именно влияние окажет рубка на рост соседних деревьев. Следовательно, необходимо детальное изучение прироста стволов, находящихся рядом с рубяемыми. При этом на первый план выходит влияние пространственной структуры древостоя: размещение деревьев, их форма и размеры до и после рубки.

Для изучения данного вопроса были заложены пробные площади с детальным картированием расположения деревьев, при этом использовались различные методики.

1. Разбивка пробной площади на квадраты со стороной 5 м. Внутри каждого квадрата условные координаты определяются методом прямоугольных координат (рис. 1).

2. Прокладывание ломаного буссольного хода по пробной площади с таким расчетом, чтобы с его точек методом полярных координат можно было определить положение каждого дерева (рис. 2).

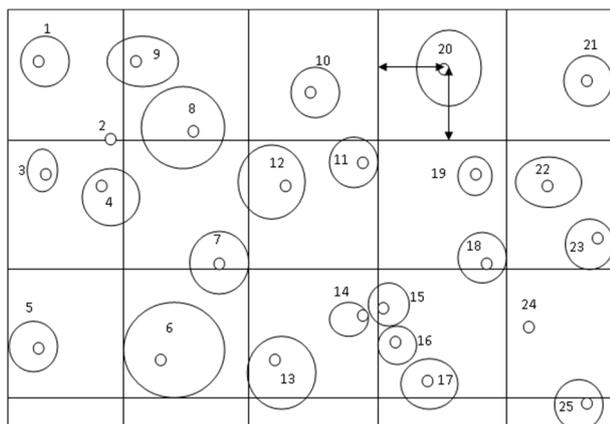


Рис. 1. Метод прямоугольных координат

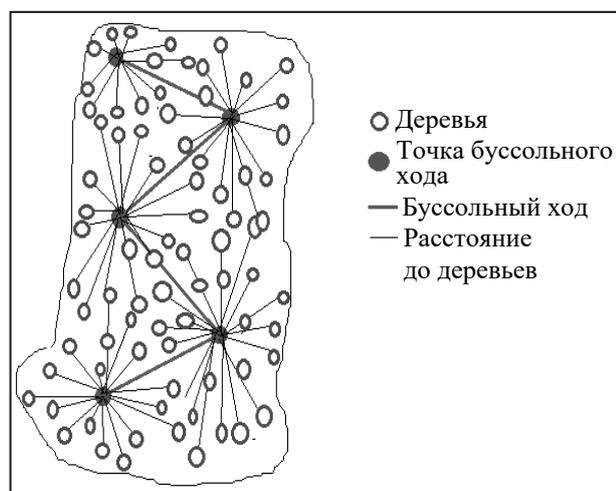


Рис. 2. Метод полярных координат

3. Разбивка пробной площади на квадраты со стороной 10 м. Внутри каждого квадрата положение

деревьев определяется методом линейных засечек с помощью ультразвукового дальномера (рис. 3).

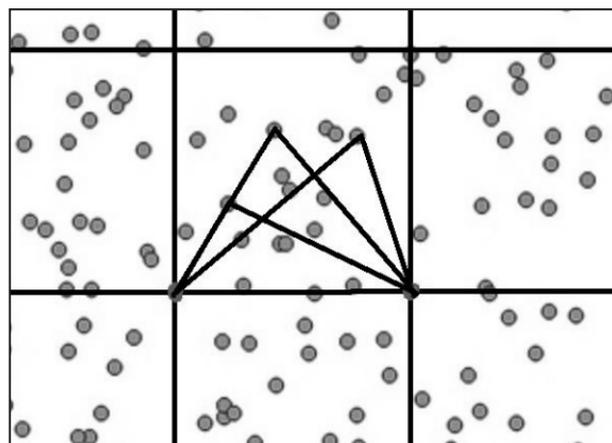


Рис. 3. Метод линейных засечек

Измерение таксационных характеристик проводилось подеревно, определялись порода, ярус, возраст, два перпендикулярных диаметра на высоте 1,3 м с вычислением среднего диаметра  $D$ , высота ствола  $H$ , с помощью ультразвукового дальномера определялись по четыре перпендикулярных радиуса кроны  $R$  с вычислением среднего радиуса кроны  $K$ , протяженность кроны, состояние по Крафту, а также координаты  $X$  и  $Y$  в условной системе координат. В результате определены средние и общие таксационные показатели древостоев. Пробы были заложены в ельнике черничном (ПП № 1: Е. чер., 31 год, 8Е2С+Б), сосняке орляковом (ПП № 2: 1-й ярус – 5С5Б, 60 лет, 2-й ярус – 10Е, 25 лет) и сосняке черничном (ПП № 3: С. чер, 65 лет, 5С2ЕЗБ, ель 30 лет) (табл. 1).

Таблица 1

Таксационные показатели древостоев на пробных площадях

Тип леса	ТУМ	Характеристика по элементам леса											
		Ярус	Элемент леса	Доля участия, %	Возраст, лет	Класс бонитета	Диаметр, см	Высота, м	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Количество деревьев, шт./га	Запас, м <sup>3</sup> /га	
Е. чер.	С3	1-й	Е	77	31	I	12	14,4	22,80	0,67	2033	190	
			С	20			25,8	21,3	5,20	0,14	100	49	
			Б	3			10,7	10,7	1,10	0,04	117	8	
		Итого			100	–	–	–	–	29,10	0,85	2250	247
С. ор.	С2	1-й	С	43	64	I	32,2	26,9	14,65	0,24	180	172	
			Б	57	60		31,1	28,8	18,65	0,36	245	234	
		Итого			100	–	–	–	–	33,30	0,60	425	406
		2-й	Е	100	25	I	16,7	19,9	28,83	0,51	495	280	
Итого			100	–	–	–	–	62,13	1,01	920	686		
С. чер.	С3	1-й	С	48	65	I	31,6	25,3	23,20	0,59	292	279	
			Е	22	30		21,9	17,0	8,10	0,19	189	81	
			Б	30	65		32,9	25,6	15,80	0,50	187	197	
		Итого			100	–	–	–	–	45,80	1,28	668	554

По результатам полевых работ с помощью компонентов QGIS строились цифровые карты расположения деревьев пробных площадей в условных системах координат (рис. 4–6)

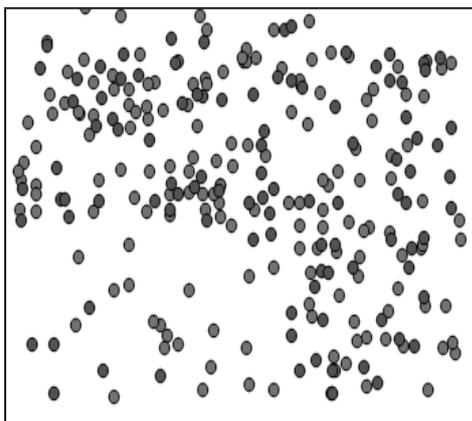


Рис. 4. Цифровая карта ПП № 1

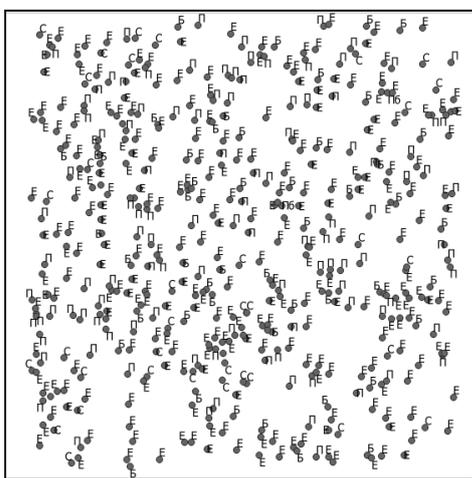


Рис. 5. Цифровая карта ПП № 2

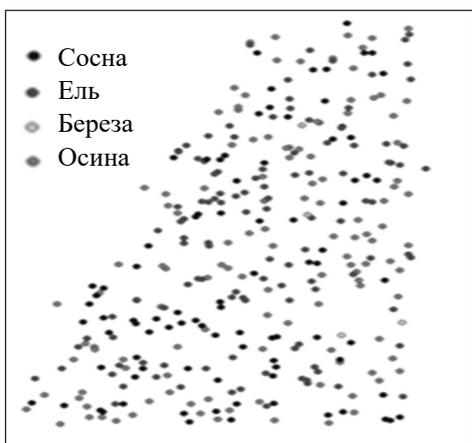


Рис. 6. Цифровая карта ПП № 3

К точкам, указывающим положение деревьев, подвязывался слой с параметрами крон для выявления перекрытий и определения кругов конкуренции соседних деревьев (рис. 7).

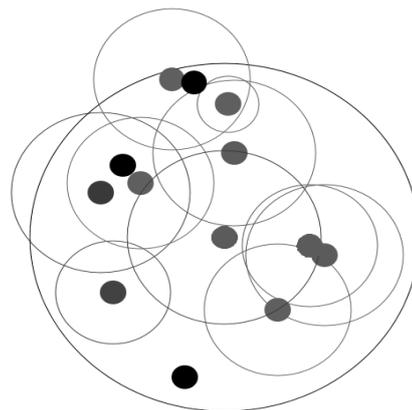


Рис. 7. Выделение кругов конкуренции

С помощью цифровых карт отбирались стволы ели, находящиеся либо рядом с пнями, либо под видимым воздействием соседних деревьев, т. е. наблюдалось перекрытие их крон и кругов конкуренции соседними деревьями.

На данном этапе наибольшее внимание было уделено изучению радиального прироста деревьев ели, около которых в пределах их круга конкуренции во время рубки были вырублены соседние деревья. Для этого у подобранных стволов брались керны, зачищались и измерялись размеры годовичных колец за 10-летний период (рис. 8).



Рис. 8. Вид отсканированных кернов

Обработка кернов проводилась в программе QGIS, с увеличением и масштабированием для избежания ошибок. Проводилось измерение каждого слоя, начиная с крайнего от коры (табл. 2–4). Для изучаемых деревьев определялся средний радиальный прирост, при этом оценивалась зависимость радиального прироста изучаемых

деревьев от расстояния до вырубленных при рубках ухода деревьев.

Таблица 2  
Динамика радиального прироста деревьев на ПП № 1

Номер дерева	Номер годичного слоя									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
17	1,9	1,9	1,8	1,6	1,8	1,7	1,7	2,1	2,1	2,3
56	1,7	1,4	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	1,6	1,5	1,5
85	1,7	1,4	1,3	1,1	1,3	1,3	1,4	1,5	1,7	1,7
88	1,3	0,8	1,0	1,1	1,0	1,0	1,0	1,2	1,4	1,4
94	1,8	1,7	1,6	1,8	1,8	1,7	1,7	2,0	2,1	2,0
113	1,6	1,4	1,2	1,4	1,3	1,3	1,2	1,4	1,6	1,5
116	1,7	1,7	1,7	1,5	1,5	1,7	1,4	1,7	1,9	1,9
158	1,2	1,0	1,2	1,1	1,0	0,9	1,0	1,1	1,3	1,1
188	1,1	1,0	0,7	0,9	0,8	0,8	1,0	0,9	0,9	1,0
194	1,0	0,9	0,8	0,9	0,7	0,8	0,7	1,0	1,1	1,0
226	1,2	1,2	1,1	1,0	1,1	1,0	1,1	1,3	1,3	1,3
256	1,2	1,2	1,0	1,0	0,8	1,0	0,9	1,2	1,0	1,2
266	1,3	1,2	1,0	1,0	1,0	1,1	1,0	1,2	1,2	1,2
343	1,2	1,0	0,9	0,9	1,1	0,9	0,9	1,2	1,2	1,3
351	1,2	1,5	1,2	1,0	1,2	1,1	1,3	1,7	1,5	2,0
369	1,7	1,7	1,7	1,5	1,6	1,6	1,6	1,7	1,7	1,9
392	1,0	0,9	1,1	1,0	1,0	0,9	1,2	1,3	1,0	1,2
405	1,2	1,1	1,2	1,2	1,0	1,1	1,0	0,9	1,0	1,0
32	1,7	1,4	1,5	1,3	1,5	1,4	1,3	1,6	1,5	1,5
375	1,7	1,4	1,3	1,1	1,3	1,2	1,4	1,5	1,6	1,6

Таблица 3  
Динамика радиального прироста деревьев на ПП № 2

Номер дерева	Номер годичного слоя									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Для сосны										
10	0,7	1	1	1,1	1,3	2,9	1,8	1,5	1,6	1,6
283	1,6	1,7	1,8	1,9	2	2,1	2,1	2,2	2,3	2,4
391	1,8	1,9	2	2,1	2,2	2,2	2,2	2,5	2,8	2,8
395	1,2	1,3	1,3	1,8	1,5	1,5	2,2	1,7	1,8	1,9
54	0,9	1,1	1,1	1,6	2,2	2,3	2,3	2,5	2,6	3,3
7	0,6	0,9	1,2	1,2	1,8	1,5	1,8	1,9	2,4	2,5
74	0,9	1,0	1,0	1,1	1,1	1,2	1,3	1,4	1,6	1,6
261	0,9	1,0	1,1	1,2	1,2	1,2	1,2	1,7	1,5	1,7
Для ели										
191	0,4	0,2	0,3	0,5	1,0	0,6	0,8	1,1	1,2	1,0
246	0,6	0,7	1,4	1,3	1,7	1,8	1,4	2,3	1,5	1,4
318	1,6	1,2	1,1	1,1	1,0	1,4	2,8	2,6	3,0	3,7
138	0,9	0,7	0,6	0,6	0,8	0,9	1,5	1,7	1,3	1,5
236	0,2	0,3	0,4	0,7	0,9	1,2	1,2	0,9	1,2	1,6
305	1,3	1,3	1,2	0,9	1,1	1,2	2,6	2,3	2,7	1,8
242	0,8	1,0	1,0	1,3	1,0	1,1	1,2	1,3	1,4	1,2
233	0,4	0,5	0,6	0,4	0,5	0,8	0,6	0,7	0,8	1,4

Детальное изучение радиального прироста показывает, что после рубки соседних деревьев увеличение радиального прироста у ели, согласно измерениям годичных слоев кернов, составило 58–60%. Различия между средними при-

ростами деревьев, находившихся под влиянием до рубки, и деревьев, не подверженных влиянию срубленных деревьев, оказались также значительными. У деревьев, находившихся под влиянием, после проведения рубки средний радиальный прирост увеличился по сравнению с приростом деревьев без влияния на 30–50%.

Таблица 4  
Динамика радиального прироста деревьев на ПП № 3

Номер дерева	Номер годичного слоя									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Для ели										
290	1,7	1,8	1,3	1,7	2,5	2,4	2,4	2,1	1,2	1,6
384	1,7	1,7	1,5	1,4	2,2	4,1	3,8	3,5	3,1	3,2
402	1,4	2,3	1,9	2,1	2,0	2,7	1,7	3,6	4,2	3,3
409	2,2	2,6	1,1	1,9	2,6	3,7	4,1	3,6	2,6	2,2
235	0,9	0,7	1,6	1,4	1,3	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
Для сосны										
16	1,3	0,9	1,1	1,9	1,9	2,5	2,6	2,8	1,7	3,6
138	2,5	2,0	2,1	2,7	2,9	2,9	2,2	2,7	1,9	1,7
81	1,4	1,6	1,6	1,3	1,6	1,9	1,9	1,8	1,4	1,7
91	1,9	1,2	0,7	0,9	1,4	1,2	1,3	0,7	1,6	2,2
22	0,9	0,7	0,6	0,9	0,8	1,1	1,1	1,3	0,7	1,1
42	0,5	0,7	0,5	0,6	0,7	0,8	0,7	0,7	0,5	1,1

Результаты исследования показали, что чем больше было соседнее вырубленное дерево и меньше расстояние до него, тем больше наблюдался прирост в оставшемся рядом дереве ели. Для того чтобы избежать случайной составляющей, было выделено два тренда: деревья, около которых была проведена рубка, и деревья, возле которых рубка не проводилась.

Показатели среднего радиального прироста для деревьев, подверженных конкуренции со стороны деревьев-соседей до рубки, значительно увеличиваются после нее по сравнению с радиальным приростом тех деревьев, которые не зависели от конкуренции вырубаемых стволов.

При этом наибольшее влияние оказывалось на радиальный прирост деревьев ели, находящихся во втором ярусе и, соответственно, более чувствительных к изменению режимов освещенности и питания, связанных с вырубкой соседних деревьев.

Далее определялись средние значения ширины слоев до и после рубки для деревьев сосны и ели. Рассчитывался средний периодический радиальный прирост каждого дерева до рубки и после (табл. 3, 4). Впоследствии вычислялся процент увеличения радиального прироста (табл. 5).

Графическое изображение позволяет увидеть увеличение радиального прироста изучаемых деревьев ели через год после рубки (рис. 9).

Таблица 5

## Влияние рубок на средний радиальный прирост

ПП № 1												
Номер дерева	17	56	85	226	256	343	351	369	392	405	32	375
Средний радиальный прирост до рубки, мм	1,72	1,31	0,97	0,87	1,04	1,21	1,59	1,02	0,96	0,77	1,38	0,99
Средний радиальный прирост после рубки, мм	2,19	1,63	1,34	1,13	1,19	1,70	1,77	1,15	1,31	1,33	1,56	0,95
Увеличение среднего радиального прироста, %	21,31	19,26	27,86	23,3	12,64	28,77	9,98	11,3	26,53	41,71	11,56	-4,20
ПП № 2												
Номер дерева	191	246	318	138	242	236	233	305				
Средний радиальный прирост до рубки, мм	0,38	1,00	1,21	0,71	0,93	0,31	0,46	1,16				
Средний радиальный прирост после рубки, мм	0,96	1,68	2,93	1,29	1,24	1,10	0,85	2,12				
Увеличение среднего радиального прироста, %	60,65	40,43	58,59	44,66	25,33	71,77	45,94	45,21				
ПП № 3												
Номер дерева	290	384	402	409	235							
Средний радиальный прирост до рубки, мм	1,63	1,56	1,95	1,69	1,17							
Средний радиальный прирост после рубки, мм	1,93	3,31	2,73	3,16	1,62							
Увеличение среднего радиального прироста, %	15,54	52,87	28,57	46,52	27,78							

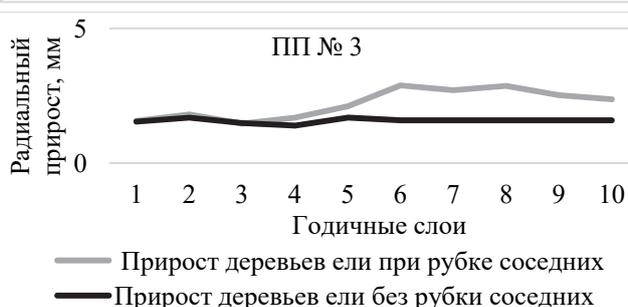
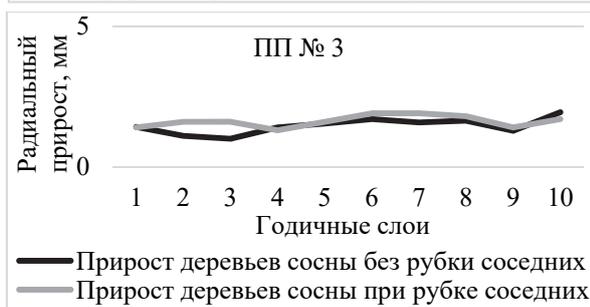
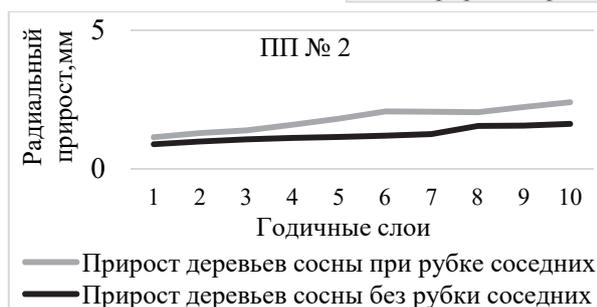
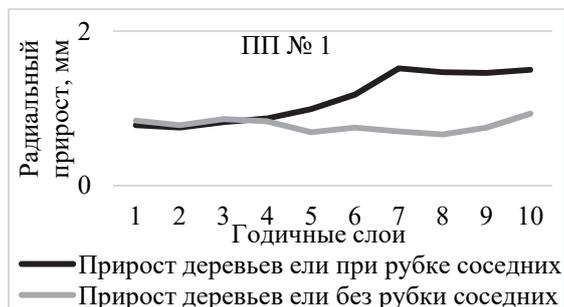


Рис. 9. Средние значения радиального прироста при влиянии и без влияния рубки соседних деревьев

Таблица 6

## Изменение прироста деревьев ели по объему

Номер дерева	Прирост деревьев ели по объему				Увеличение прироста по объему, %
	до рубки, м <sup>3</sup>	до рубки, %	после рубки, м <sup>3</sup>	после рубки, %	
ПП № 1					
17	0,14	0,18	56,78	72,16	15,38
56	0,07	0,09	66,78	82,71	15,93
85	0,03	0,04	62,97	87,29	24,32
88	0,15	0,18	51,77	60,52	8,75
266	0,04	0,05	60,64	78,51	17,87
343	0,07	0,10	49,76	69,85	20,09
351	0,12	0,14	53,74	59,70	5,96
369	0,02	0,03	57,00	64,26	7,26
392	0,05	0,07	43,64	59,39	15,76
405	0,01	0,02	66,76	114,53	47,77
32	0,07	0,08	59,00	66,71	7,71
375	0,04	0,03	57,19	54,89	-2,30
ПП № 2					
191	0,01	18,51	0,04	46,77	28,26
246	0,10	24,09	0,16	40,47	16,38
318	0,13	26,28	0,32	63,64	37,36
138	0,04	28,30	0,07	51,42	23,12
242	0,08	26,24	0,11	34,99	8,75
233	0,02	11,63	0,06	41,25	29,63
305	0,02	18,61	0,03	34,39	15,78
ПП № 3					
290	0,09	54,89	0,12	68,90	14,02
384	0,09	50,27	0,17	93,77	43,50
402	0,09	80,43	0,13	113,51	33,08
409	0,07	88,48	0,11	133,91	45,43
235	0,05	40,89	0,05	58,52	17,63

Однако для лесного хозяйства и его производственной составляющей большее значение имеет прирост по объему. Поэтому в дальнейшем с помощью методики Шнейдера был вычислен процент прироста по объему по формуле

$$P = \frac{K_i}{d},$$

где  $K$  – коэффициент Шнейдера, зависящий от протяженности кроны и энергии роста;  $i$  – ширина годичного слоя, годичный радиальный прирост, мм;  $d$  – диаметр дерева на высоте 1,3 м, см.

На основании этого показателя определен прирост по объему. Исходя из данных табл. 6 можно сделать вывод, что прирост у исследуемых деревьев ели, около которых была проведена рубка соседних деревьев, существенно увеличивался по объему после рубки (до 45–48%), у деревьев, рядом с которыми не вырубались соседние деревья, процент изменения прироста по объему незначительный. Это все свидетельствует о большой значимости и существенном влиянии рубок на прирост в древостое.

Анализируя материал, приведенный выше, можно точно сказать о возможности рубок ухода. Видно, как значительно увеличился прирост после изъятия деревьев. Это подтверждается показателями увеличения прироста по диаметру (до 48%) и по объему (до 45%).

**Заключение.** Исследование зависимости радиального прироста от изменения пространственной структуры древостоя показало значительную связь радиального прироста остающихся деревьев с изменением пространственной структуры древостоя. Если в работах Е. Ассмана (1961) было предложено при назначении рубок ухода полноту насаждений выражать тремя степенями: максимальная, оптимальная и критическая [16], то в настоящее время в Германии и Финляндии используется подход на основании абсолютной полноты (сумм площадей сечений) и верхних высот при проектировании интенсивности, не превышающей «природного отпада», с учетом оптимального размещения и прироста деревьев [6, 11].

Полученные в результате исследования данные (увеличение радиального прироста до 30–50%

и прироста по объему свыше 40%) подтверждают необходимость учета пространственной структуры при назначении деревьев в рубку для оптимизации прироста и максимизации производительности древостоев.

Исследование показало, что формирование оптимальной пространственной структуры древостоя позволяет формировать максимально продуктивные насаждения с оптимальной сортиментной структурой.

### Список литературы

1. Правила рубок в лесах Республики Беларусь: РД РБ 02080.019.2016. Минск: Минлесхоз Респ. Беларусь, 2016. 93 с.
2. Антонов О. И. Повышение качественной продуктивности насаждений – задача интенсивного лесного хозяйства // Лесной журнал. 2017. № 1. С. 86–94.
3. Усольцев В. А., Семышев М. М. Продукционные характеристики с учетом конкуренции деревьев в искусственных и естественных сосняках: сравнительный анализ. Екатеринбург: УрОРАН, 2007. 137 с.
4. Санкович М. М., Янушко А. Д. Организация производства и управление предприятием лесного хозяйства. Минск: БГТУ, 2004. 271 с.
5. Коцан В. В. Классификация деревьев на основании пространственной структуры при назначении в рубки ухода // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 24–27.
6. Вайс А. А. Научные основы оценки горизонтальной структуры древостоев для повышения их устойчивости и продуктивности: автореф. дис. ... д-ра с.-х. наук: 06.03.02. Красноярск, 2014. 25 с.
7. Бойко С. В. Типы размещения деревьев в естественных сосняках // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси, Гомель, 2011. Вып. 71. С. 355–359.
8. Бузыкин А. И. Анализ структуры древесных ценозов. Новосибирск: Наука. Сиб. отделение, 1985. 80 с.
9. Рахтеенко И. Н., Мартинович Б. С., Кабашникова Г. И. Взаимоотношения древесных пород в чистых и смешанных насаждениях // Эколого-физиологические основы взаимодействия растений в фитоценозах. Минск: Наука и техника, 1976. 16 с.
10. Неволлин О. А., Еремина О. О. Подрост и его значение в формировании высокопродуктивных сосновых лесов Европейского Севера России // Изв. вузов. Лесной журн. Архангельск, 1998. № 4. С. 12–18.
11. Грибанов В. Я. Пространственная структура сосновых и лиственных деревьев // Продуктивность лесных фитоценозов. Красноярск, 1984. С. 42–47.
12. Сеннов С. Н. Итоги экспериментального изучения конкуренции в древостоях // Изв. С.-Петербург. лесотехн. акад. 1993. С. 160–172.
13. Коцан В. В. Взаимосвязи между таксационными показателями деревьев в кругах конкуренции на примере сосняков мшистых искусственного происхождения // Труды БГТУ. 2014. № 11: Лесное хоз-во. С. 19–22.
14. Севко О. А., Пупенко А. В. Влияние пространственной структуры сосново-березовых древостоев на таксационные показатели деревьев сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 37–42.
15. Севко О. А. Оценка зависимости текущего прироста сосновой части смешанных сосново-березовых древостоев от их пространственной структуры // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 41–45.
16. Assmann E. Waldetragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen. Munchen: Bonn: Wien: Verlagsges, 1961. 490 p.

### References

1. PD RB 02080.019.2016. Rules for felling in the forests of the Republic of Belarus. Minsk, Minleskhov Respubliki Belarus' Publ., 2016. 93 p. (In Russian).
2. Antonov O. I. Improving the qualitative productivity of plantations is the task of intensive forestry. *Lesnoy zhurnal* [Forest Journal], 2017, no. 1, pp. 86–94 (In Russian).
3. Usoltsev V. A., Semyshev M. M. *Produktionnyye kharakteristiki s uchetom konkurentsii derev'yev v iskusstvennykh i estestvennykh sosnyakakh: sravnitel'nyy analiz* [Productive characteristics taking into account the competition of trees in artificial and natural pine forests: a comparative analysis]. Ekaterinburg, UrOAN Publ., 2007. 137 p. (In Russian).
4. Sankovich M. M., Yanushko A. D. *Organizatsiya proizvodstva i upravleniye predpriyatiyem lesnogo khozyaystva* [Organization of production and management of a forestry enterprise]. Minsk, BG TU Publ., 2004. 271 p. (In Russian).

5. Kotsan V. V. Classification of trees based on spatial structure when assigned to thinning. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 24–27 (In Russian).

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

7. Boyko S. V. Types of tree placement in natural pine forests. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa NAN Belarusi* [Problems of forest and forestry: collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel', 2011, issue 71, pp. 355–359 (In Russian).

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

9. Rakhtenko I. N., Martinovich B. S., Kabashnikova G. I. The relationship of tree species in clean and mixed stands. *Ekologo-fiziologicheskiye osnovy vzaimodeystviya rasteniy v fitotsenozakh* [Ecological and Physiological Basis for the Interaction of Plants in Phytocenoses]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1976. 216 p. (In Russian).

10. Nevolin O. A., Eremina O. O. Undergrowth and its importance in the formation of highly productive pine forests in the European North of Russia. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News from Universities. Forest Journal], 1998, no. 4, pp. 12–18 (In Russian).

11. Griбанov V. Ya. The spatial structure of pine and deciduous trees. *Produktivnost' lesnykh fitotsenozov* [Productivity of forest phytocenoses]. Krasnoyarsk, 1984, pp. 42–47 (In Russian).

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

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

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

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

16. Assmann E. *Waldetragskunde. Organische Produktion, Struktur, Zuwachs und Ertrag von Waldbeständen*. Munchen, Bonn, Wien, Verlagsges, 1961. 490 p. (In German).

### Информация об авторах

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

**Коцан Владимир Васильевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, старший преподаватель кафедры лесоустройства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: Wolodia250@belstu.by

### Information about the authors

**Sevko Oksana Aleksandrovna** – 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: o.sevko@belstu.by

**Kotsan Vladimir Vasil'yevich** – PhD (Agriculture), Senior Lecturer, the Department of Forest Inventory. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: Wolodia250@belstu.by

Поступила 13.03.2024

УДК 630\*587.6

**С. С. Цай**

Белорусский государственный технологический университет

**ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МАТЕРИАЛОВ ЛИДАРНОЙ СЪЕМКИ УЧАСТКОВ ЛЕСНОГО ФОНДА, ПОЛУЧЕННЫХ С БЕСПИЛОТНЫХ ЛЕТАТЕЛЬНЫХ АППАРАТОВ, ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ УГЛОВ НАКЛОНА МЕСТНОСТИ**

В рамках производства опытных работ по использованию беспилотных летательных аппаратов (БЛА) для целей лесного хозяйства и лесоустройства в 2022 г. выполнялась лидарная съемка участков лесного фонда, имеющих выраженный рельеф местности. Целью работ являлось выявление участков лесного фонда, на которых углы наклона рельефа местности имели критические значения, ограничивающие использование лесозаготовительной техники. Программа опытных работ предусматривала следующие этапы: формирование полетного задания и определение оптимальных параметров лидарной съемки участков лесного фонда; выполнение лидарной съемки (с использованием БЛА) участков лесного фонда с выраженным рельефом; предварительную фильтрацию полученных сырых данных и формирование облака точек в общедоступном формате; программную обработку сформированного облака точек и формирование цифровой модели рельефа на исследуемый участок; определение углов наклона местности по цифровой модели рельефа; выявление участков местности с критическими значениями углов наклона, где использование лесозаготовительной техники запрещено. Лидарная съемка участков лесного фонда проводилась на территории Горецкого лесхоза Мстиславского и Пervомайского лесничеств. В работе рассмотрена методика обработки сырых лидарных данных покрытых лесом участков местности с целью формирования цифровой модели рельефа и выявления углов наклона этих участков. С ее помощью можно определять участки лесного фонда с критическими значениями углов наклона местности, на которых использование лесозаготовительных машин запрещено в связи с требованиями по эксплуатации.

**Ключевые слова:** лидарная съемка, цифровая модель рельефа, беспилотный летательный аппарат, БЛА, определение углов наклона рельефа местности.

**Для цитирования:** 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. 30–37.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4.

**S. S. Tsai**

Belarusian State Technological University

**USING LIDAR DATA OF FOREST AREAS RECEIVED FROM DRONE FOR DETERMINATION OF TERRAIN ANGLES**

As part of the pilot work on the use of drones for forestry and forest management purposes, lidar surveys of forest areas with pronounced terrain were carried out in 2022. The purpose of the work was to identify areas of the forest where the angles of inclination of the terrain had critical values limiting the use of logging equipment. The experimental work program included the following stages: the formation of the flight task and the determination of the optimal parameters of lidar survey of forest areas; performing lidar surveys (using UAVs) of forest areas with pronounced relief; preliminary filtering of the raw data obtained and the formation of a point cloud in a common format; software processing of the formed point cloud and the formation of a digital terrain model for the studied area; determining terrain angles using a digital terrain model; identifying terrain areas with critical tilt angles. Lidar survey of forest areas was carried out on the territory of the Goretzky forestry of the Mstislavsky and Pervomaisky forestry districts. The paper considers a technique for processing raw lidar data of forest areas in order to form a digital relief model and identify the angles of inclination of these areas. With its help, it is possible to identify forest areas with critical values of terrain inclination angles that limit the use of logging machines.

**Keywords:** lidar survey, digital terrain model, drone, UAV, determination of terrain angles.

**For citation:** Tsai S. S. Using lidar data of forest areas received from drone for determination of terrain angles. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 30–37 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-4.

**Введение.** Использование беспилотных летательных аппаратов (БЛА) в различных отраслях экономики непрерывно увеличивается, находя новые сферы применения [1]. Это связано с улучшением технических характеристик самих БЛА, внедрением автоматизированных алгоритмов пилотирования, расширением видов навесного оборудования, а также совершенствованием возможностей этого оборудования вследствие уменьшения веса и линейных размеров, увеличения функциональности.

Несомненно, использование беспилотных комплексов в интересах лесной отрасли также перспективно и находит широкое применение для решения ряда практических задач лесного хозяйства и лесоустройства [2–5].

Рассматриваемая работа посвящена вопросам использования материалов лидарной съемки с беспилотных летательных аппаратов для целей определения на участках лесосечного фонда углов наклона местности, ограничивающих использование комплекса лесных машин по заготовке и трелевке древесины на рубках леса. Использование лидарной съемки для целей изучения рельефа местности, гидрологии, строения структуры древостоев [6–8] в последнее время получило широкое распространение и является перспективным направлением в геодезии, земельном кадастре [9, 10], лесном хозяйстве [11] и земледелии [12, 13].

Рельеф местности на большей части Республики Беларусь характеризуется преобладанием

плоских и полого-волнистых равнин и низменностей, речных долин [14]. Тем не менее встречаются также и грядово-бугристые комплексы различного размера и конфигурации. В ряде случаев имеют место участки рельефа с углами наклона более  $15^\circ$ , что уже ограничивает использование ряда лесозаготовительных машин. Использование в процессе лесозаготовок различного по своим характеристикам лесозаготовительного оборудования делает актуальным проблему определения углов наклона местности на различных участках лесосечного фонда. Это необходимо для оптимального распределения лесозаготовительной техники по объектам лесозаготовок, а также для ее безопасного использования.

**Объекты исследования.** В качестве объектов, на которых проводились работы по выполнению лидарной съемки, выступали участки лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Горецкого лесхоза: Мстиславского лесничества (кв. 40, выделы 1, 4, 13, 14; кв. 146, выделы 6–11, 31–33, 35) (рис. 1) и Первомайского лесничества (кв. 90, выделы 1–10, 12, 44–46, 61–63) (рис. 2). В большинстве случаев указанные участки лесосечного фонда представлены одноярусными спелыми древостоями с преобладанием хвойных древесных видов (сосна, ель); характеризуются достаточно богатыми условиями местопроизрастания (кисличные, орляковые, мшистые типы леса) и относительными полнотами 0,7–0,8.

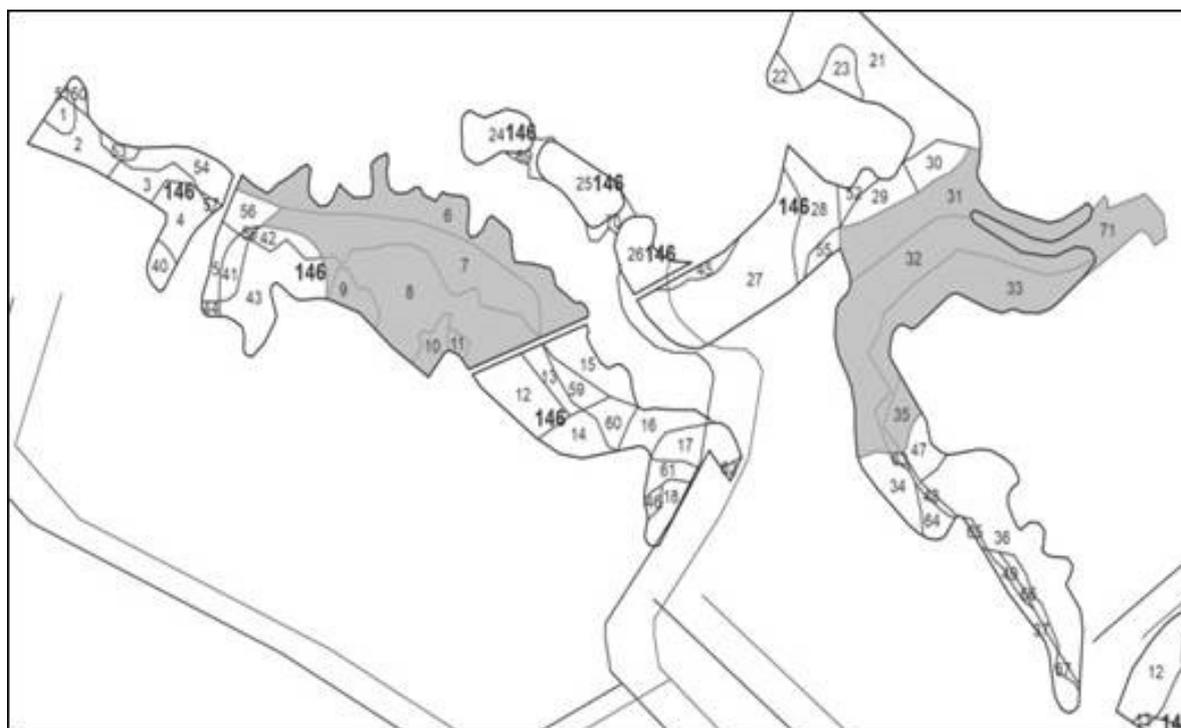


Рис. 1. Расположение участков лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Мстиславского лесничества Горецкого лесхоза

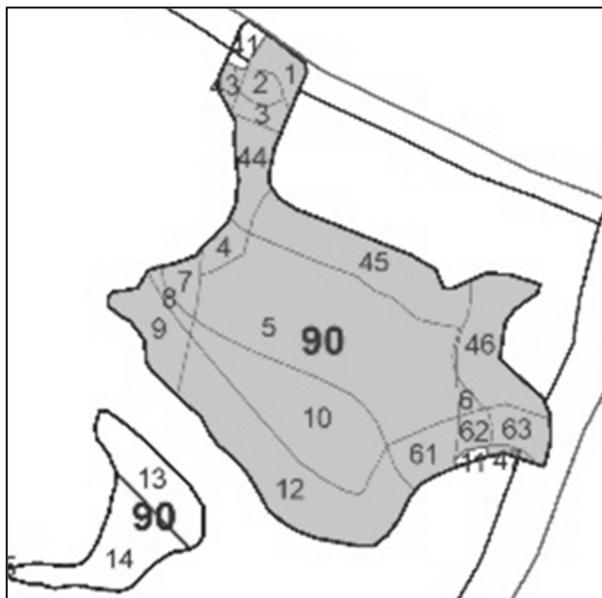


Рис. 2. Расположение участков лесосечного фонда с выраженным рельефом на территории Первомайского лесничества Горецкого лесхоза

У специалистов Горецкого лесхоза возникли обоснованные подозрения о невозможности использования лесозаготовительной техники на вышеприведенных участках. С целью уточнения крутизны склонов этих участков было решено провести лидарную съемку силами специалистов отдела дистанционного зондирования и мониторинга лесов РУП «Белгослес».

**Используемое оборудование.** В качестве летательного аппарата использовался беспилотник DJI Matrice 300RTK, на котором посредством 3-осевого стабилизированного подвеса закреплялось навесное оборудование для выполнения лидарной съемки – лидар DJI Zenmuse L1 (рис. 3). Данное устройство обладает уникальными характеристиками [15], поскольку является одним из первых в истории лидарных датчиков, устанавливаемых на беспилотные летательные аппараты.



Рис. 3. Лидар для БЛА DJI Zenmuse L1

При весе около 0,9 кг прибор обладает техническими характеристиками, позволяющими в

процессе съемки получать данные геодезической точности. Это оборудование (лидар DJI Zenmuse L1) было любезно предоставлено компанией «Хобби-парк».

Для выполнения высокоточной привязки материалов съемки БЛА DJI Matrice 300RTK оснащен GNSS-оборудованием, позволяющим в режиме реального времени получать корректирующие поправки и определять координаты с сантиметровой точностью.

Для первичной обработки материалов лидарной съемки использовался программный комплекс DJI Terra, поставляемый в комплекте с беспилотным летательным аппаратом. Данный программный комплекс также предназначен для обработки цифровой оптико-электронной съемки.

**Основная часть.** Первым этапом проведения лидарной съемки являлись подготовительные работы, в ходе которых в камеральных условиях выполнялось уточнение границ участка съемочных работ по предварительным данным, которые были переданы работниками Горецкого лесхоза.

Для этого в геоинформационной системе (ГИС) ArcMap был подготовлен проект Горецкого лесхоза, содержащий цифровые лесоустроительные картографические материалы по указанному лесхозу (слои кварталов и выделов). На основании сформированного проекта в ГИС ArcMap были определены границы участков для съемки и сформированы векторные полигональные слои полетных заданий, которые в дальнейшем были загружены в контроллер беспилотного летательного аппарата.

В соответствии с полетным заданием лидарная съемка участков выполнялась на высотах 80–100 м.

Параметры для проведения лидарной съемки устанавливались из соображения необходимости получения цифровой модели земной поверхности под пологом леса, поэтому настройка плотности точек на 1 м<sup>2</sup> была установлена достаточно большая – порядка 100 точек/м<sup>2</sup>.

Съемка проводилась методом линейного сканирования в режиме Repetitive с использованием только одиночного отклика. Величина перекрытия соседних полос составила 50%.

Обработка материалов лидарной съемки выполнялась с использованием вышеупомянутого программного комплекса DJI Terra и геоинформационной системы Global Mapper.

Первоначальные данные лидарной съемки обрабатывались в программном приложении DJI Terra, с помощью которого была проведена фильтрация данных и сформирован файл облака точек с расширением Las.

Дальнейшая обработка данных проводилась в геоинформационной системе Global Mapper, обладающей обширным набором функций для

работы с лидарными данными. С помощью этой ГИС была произведена классификация облака точек и выделены только точки, отраженные от земной поверхности. На основе классифицированных точек в этой же ГИС была построена и визуализирована цифровая модель рельефа исследуемых участков (рис. 4).

В геоинформационной системе Global Mapper имеется возможность поверх визуализированной модели рельефа наложить векторные слои лесных кварталов и выделов, что и было сделано (рис. 4). Кроме того, на этом же рисунке линиями с буквенными обозначениями *A*, *B* и *C* указаны направления, вдоль которых планировалось построение продольных профилей земной поверхности.

Построение продольных профилей земной поверхности вдоль указанных направлений (*A*, *B*, *C*) также выполнялось с использованием инструментария геоинформационной системы Global Mapper. Для этого необходимо, выбрав соответствующий инструмент, указать требуемое направление на предварительно созданной 3-D модели. В результате программа сформирует продольный профиль земной поверхности по заданному направлению в отдельном окне (рис. 5).

Поскольку величина угла наклона вдоль ската земной поверхности может меняться в широком диапазоне, то для оптимизации работ по

построению продольных профилей предварительно выполнялась визуализация 3-D модели рельефа выбранного участка с целью определения наиболее крутых его склонов путем вращения этой модели вдоль основных осей и масштабирования ее отдельных фрагментов. В результате определялись наиболее крутые склоны, для которых и выполнялось построение продольных профилей земной поверхности.

Таким образом были сформированы продольные профили земной поверхности по каждому исследуемому участку. С целью лучшей визуализации угла наклона земной поверхности горизонтальный масштаб принимался в несколько раз мельче, чем вертикальный.

Следующим этапом работ было определение углов наклона для каждого участка, отраженного на продольном профиле. Для этого в окошке с продольным профилем при помощи специализированного инструмента строилась линия вдоль профиля земной поверхности, незначительно сглаживающая его неровности (рис. 5). После построения линии программа автоматически определяла угол наклона и ее длину.

Определив искомые значения углов наклона земной поверхности на исследуемых участках, несложно принять решение относительно возможности использования того или иного вида лесозаготовительной техники.

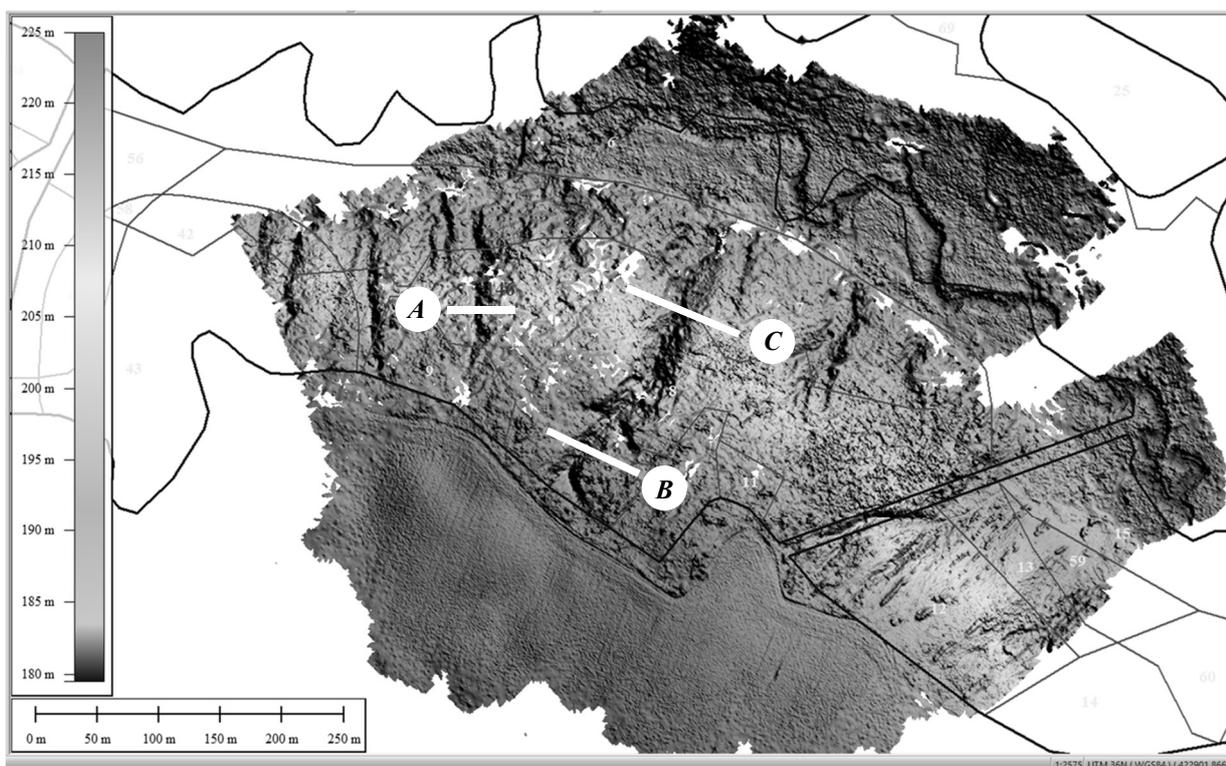


Рис. 4. Изображение 3-D модели рельефа земной поверхности для участка лесосечного фонда (кв. 146, выделы 31–35) Мстиславского лесничества Горецкого лесхоза

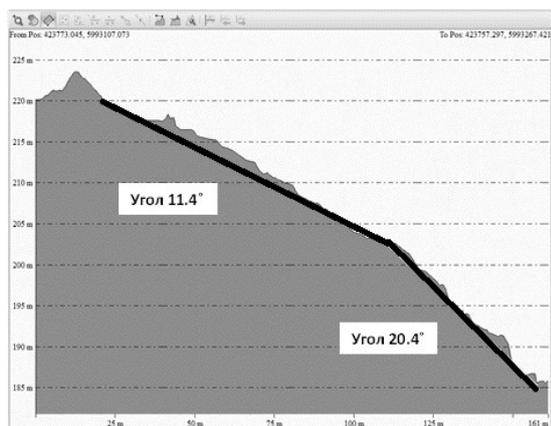


Рис. 5. Продольный профиль земной поверхности (Горецкий лесхоз, Мстиславское лесничество, кв. 146)

В случае если угол наклона местности на участке превышает максимально допустимое значение угла, которое указано в руководстве по эксплуатации и при котором обеспечивается поперечная устойчивость лесных машин, то их использование на данном участке запрещено.

Ниже в таблице представлены максимально допустимые значения угла наклона местности, при которых обеспечивается поперечная статическая устойчивость для комплекса лесозаготовительных машин производства ОАО «Амкодор – управляющая компания холдинга».

#### Максимально допустимые значения угла наклона местности

Наименование техники	Значение угла
Харвестер «Амкодор 2551»	20°
Форвардер «Амкодор 2661-01»	20°
Машина трелевочная «Амкодор 2242В»	20°

Как видно из таблицы, большая часть лесозаготовительной техники белорусского производства («Амкодор») имеет максимально допустимый угол, равный 20°, при котором еще обеспечивается статическая поперечная устойчивость [16].

Полученные значения углов наклона местности участков лесосечного фонда на территории Мстиславского и Первомайского лесничеств Горецкого лесхоза достаточно часто составляли 15° и более, что в ряде случаев ограничивало использование лесозаготовительной техники данного производителя.

**Результаты и обсуждение.** Анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что материалы лидарной съемки с беспилотных летательных аппаратов могут использоваться для определения углов наклона местности на участках лесосечного фонда.

Тем не менее возникает вопрос об экономической целесообразности применения лидарной съемки для указанных целей, поскольку используемое оборудование (лидар, БЛА) на сегодняшний день весьма недешево. Альтернативным вариантом может выступать использование переносных GNSS-приемников для проведения съемки рельефа местности.

В пользу альтернативной технологии определения углов наклона местности на участках лесного фонда можно привести следующие аргументы:

- относительно недорогое оборудование в сравнении со стоимостью лидара и БЛА;
- не требуется высокая квалификация специалистов для работы с GNSS-приемником;
- при выполнении работ на лесных участках с малой площадью (до 1,5–2 га), где количество проводимых измерений незначительно, проведение съемки с использованием GNSS-приемника экономически выгоднее в сравнении с использованием лидарной съемки с БЛА.

К недостаткам технологии, основанной на использовании переносных GNSS-приемников, можно отнести следующее:

- низкая производительность работ по съемке рельефа местности средних и больших по площади лесных участков;
- необходимость выполнять съемочные работы непосредственно в лесу (сложность перемещения при густом подросе и подлеске, а также вследствие заболоченной почвы и захламленности леса валежником);
- проблематичность определения направления максимального уклона рельефа местности (для проведения съемки в этом направлении) без проведения предварительной рекогносцировки;
- необходимость дополнительных съемочных работ в натуре для получения векторных границ лесных участков с выраженным рельефом;
- невозможность отображения рельефа участка в целом, так как наклон рельефа местности определяется только в тех местах, где проводилась съемка, т. е. по изначально выбранным направлениям.

К достоинствам технологии, использующей лидарную съемку, полученную с БЛА, можно отнести следующее:

- высокая производительность работ по съемке рельефа местности лесных участков;
- отсутствие работ непосредственно в лесу (исключение травматизма);
- возможность построения 3-D моделей рельефа и на их основе определения углов наклона рельефа местности в любом месте и направлении;
- легкость получения границ участков с выраженным рельефом (в векторном цифровом формате) с целью дальнейшего нанесения на цифровые лесные карты.

К недостаткам технологии, использующей лидарную съемку, полученную с БЛА, можно отнести следующее:

– необходимость приобретения дорогостоящего оборудования (лидар, специализированное программное обеспечение, БЛА);

– потребность в высококвалифицированных специалистах, способных выполнять съемочные работы с использованием БЛА, проводить обработку полученных данных.

Из вышесказанного очевидно, что при выполнении большого объема работ по определению углов наклона рельефа местности использование материалов лидарной съемки на базе БЛА является наиболее предпочтительным вариантом.

Еще одним альтернативным способом определения угла наклона местности является использование наземной лидарной съемки непосредственно исполнителем [6]. Но в этом случае значительно уменьшается производительность работ (будет приблизительно такая же, как и при использовании GNSS-приемников) при достаточно высокой стоимости оборудования.

**Заключение.** В целях оптимизации планирования рубок леса с применением комплекса лесных машин, а также предупреждения травма-

тизма и аварийных ситуаций при их проведении предлагаются следующие мероприятия:

– проводить лидарную съемку с беспилотных летательных аппаратов участков лесного фонда с выраженным рельефом с целью построения цифровых моделей рельефа этих участков;

– на основе сформированных цифровых моделей рельефа определять те участки или их части – зоны, где имеются превышения допустимых значений углов наклона рельефа местности, ограничивающих использование лесозаготовительной техники;

– определять векторные границы таких участков (зон) и наносить их на лесные цифровые картографические материалы;

– при проектировании рубок леса с использованием лесозаготовительной техники помечать такие участки (зоны) как невозможные для механизированной (машинной) заготовки леса;

– цифровые модели рельефа на участки с выраженным рельефом хранить в базе данных. При изменении технических характеристик лесных машин границы ограничительных зон могут быть легко пересчитаны на основе имеющихся в базах данных цифровых моделей рельефа.

### Список литературы

1. Лазарев А. С., Чуев А. А., Перьков Н. А. Виды и области применения малоразмерных беспилотных летательных аппаратов // Инфокоммуникации и космические технологии: состояние, проблемы и пути решения: материалы VII Всерос. науч.-практ. конф., Курск, 13–15 апр. 2023 г. Курск, 2023. С. 254–258.
2. Цай С. С., Гормаш М. С. Использование материалов лидарной съемки для целей определения высот насаждений // Лесное хоз-во: материалы 86-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 12 февр. 2022 г. Минск, 2022. С. 351–352.
3. Демидов В. Э. Применение воздушного лазерного сканирования для картирования рельефа, поиска следов антропогенного воздействия и изучения растительного покрова на территории Приокско-Террасного государственного природного биосферного заповедника // Труды Мордовского гос. природного заповедника им. П. Г. Смидовича. 2021. № 28. С. 74–82.
4. Шульга Е. А., Толкач И. В. Распределение облака точек лидарной съемки в пологе и под пологом древостоев // Лесное хоз-во: 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. 478–481.
5. 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.
6. Госьков Е. А., Воробьева Т. С., Воробьев И. Б. Лазерное сканирование в исследовании структуры древостоев верхней границы леса на Южном Урале // Леса России и хозяйство в них. 2022. № 2 (81). С. 4–10. DOI: 10.51318/FRET.2022.63.84.001.
7. Орлова Е. В., Кузнецов В. Н. Применение лидарной съемки в гидрологических исследованиях // Интерэкспо Гео-Сибирь. 2023. Т. 4, № 1. С. 185–191. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-1-185-191.
8. Лагута А. А., Погорелов А. В. Исследование динамики берегов Краснодарского водохранилища методом лидарной съемки // Современные проблемы геологии, геофизики и геоэкологии Северного Кавказа: материалы XIII Всерос. науч.-техн. конф. с междунар. участием, Владикавказ, 4–8 окт. 2023 г. М., 2023. С. 539–546. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.93.99.071.
9. Опыт применения комплекса «Геоскан 401 Лидар» в качестве беспилотной топографической системы воздушного лазерного сканирования и аэрофотосъемки / М. В. Курков [и др.] // Геопрофи. 2021. № 6. С. 17–23.

10. Анализ развития технологий беспилотных летательных аппаратов в области геодезии и кадастра / С. Б. Ожигина [и др.] // Вестн. Акад. граждан. авиации. 2021. № 4 (23). С. 8–14. DOI: 10.53364/24138614\_2021\_23\_4\_8.

11. Стариков А. В., Малышев В. В., Батурич К. В. Об использовании беспилотных летательных аппаратов в технологиях лесного хозяйства // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3, № 5-2 (16-2). С. 121–125. DOI: 10.12737/15986.

12. Алиева Н. В., Сердюченко А. С. Использование беспилотного летательного аппарата в точном земледелии // Мелиорация и водное хозяйство: материалы Всерос. науч.-практ. конф. «Шумаковские чтения» с междунар. участием, Новочеркасск, 6–23 нояб. 2018 г. Вып. 16. Ч. 2. Новочеркасск, 2018. С. 3–5.

13. Мещанинова Е. Г., Постоялко А. Г. Использование БПЛА для решения задач рационального использования земель // Теория и практика экономики и предпринимательства: материалы XVI Всерос. с междунар. участием науч.-практ. конф., Симферополь – Гурзуф, 18–20 апр. 2019 г. Симферополь; Гурзуф, 2019. С. 148–150.

14. Брилевский М. Н. Физическая география Беларуси. Минск: БГУ, 2022. 119 с.

15. Многофункциональная камера Zenmuse L1 с модулем лидара LiVOX // Авторизованный магазин DJI. URL: [https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves\\_s\\_kameroyu\\_dji\\_zenmuse\\_l1](https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroyu_dji_zenmuse_l1) (дата обращения: 12.03.2024).

16. Эксплуатационная документация АМКОДОР // ОАО «АМКОДОР» – управляющая компания холдинга. URL: <https://amkodor.by/services/ekspluatatsionnaya-dokumentatsiya> (дата обращения: 13.03.2024).

## References

1. Lazarev A. S., Chuev A. A., Per'kov N. A. Types and areas of application of small-sized unmanned aerial vehicles. *Infokommunikatsii i kosmicheskiye tekhnologii: sostoyaniye, problemy i puti resheniya: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Information communications and space technologies: state, problems and solutions: materials of VII All-Russian scientific and practical conference]. Kursk, 2023, pp. 254–258 (In Russian).

2. Tsai S. S., Gormash M. S. Using lidar surveying materials to determine the heights of forest stands. *Lesnoye 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]. Minsk, 2022, pp. 351–352 (In Russian).

3. Demidov V. E. Lidar 3d laser scanning of the prioksko-terrasny nature reserve territory for the purpose of terrain mapping, searching for areas of anthropogenic impact, vegetation structure studies. *Trudy Mordovskogo gosudarstvennogo prirodnogo zapovednika imeni P.G. Smidovicha* [Proceedings of Mordovian State Nature Reserve named after P. G. Smidovicha], 2021, no. 28, pp. 74–82 (In Russian).

4. Shul'ga E. A., Tolkach I. V. Distribution of the lidar sensor point cloud in the position and under the canopy of tree stands. *Lesnoye khozyaystvo: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: materials of 87th scientific and technical conference]. Minsk, 2023, pp. 478–481 (In Russian).

5. Zvyaginets 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 V, Economics and Management, 2023, no. 2 (274), pp. 43–49. DOI: 10.52065/2520-6877-2023-274-2-6 (In Russian).

6. Gos'kov E. A., Vorob'eva T. S., Vorob'ev I. B. Laser scanning in the study of the structure of forest stands of the upper forest boundary in the Southern Urals. *Lesnaya Rossiya i khozyaystvo v nikh* [Forests of Russia and economy in them], 2022, no. 2 (81), pp. 4–10. DOI: 10.51318/FRET.2022.63.84.001 (In Russian).

7. Orlova E. V., Kuznecov V. N. Application of lidar survey in hydrological studies. *Interexpo Geo-Sibir'* [Interexpo GEO-Siberia], 2023, vol. 4, no. 1, pp. 185–191. DOI: 10.33764/2618-981X-2023-4-1-185-191 (In Russian).

8. Laguta A. A., Pogorelov A. V. Study of the dynamics of the shores of the Krasnodar reservoir using the lidar survey method. *Sovremennyye problemy geologii, geofiziki i geoekologii Severnogo Kavkaza: materialy XIII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Modern problems of geology, geophysics and geoecology of the North Caucasus: materials of VIII All-Russian scientific and technical conference]. Moscow, 2023, pp. 539–546. DOI: 10.26200/GSTOU.2023.93.99.071 (In Russian).

9. Kurkov M. V., Klestov D. A., Brusilo V. A., Kurkov V. M., Kiseleva A. S. Experience in using the Geoscan 401 Lidar complex as an unmanned topographic system for airborne laser scanning and aerial photography. *Geoprofi* [Geoprofi], 2021, no. 6, pp. 17–23 (In Russian).

10. Ozhigina S. B., Shpakov P. S., Dolgonosov V. N., Zhamantai A. B., Abulkalikova M. E. Technology development analysis unmanned aircraft in the field of geodesy and inventory. *Vestnik Akademii grazhdanskoy aviatsii* [Bulletin of Civil Aviation Academy], 2021, no. 4 (23), pp. 8–14. DOI: 10.53364/24138614\_2021\_23\_4\_8 (In Russian).
11. Starikov A. V., Malyshev V. V., Baturin K. V. On the use of unmanned aerial vehicles in technologies of forestry. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2015, vol. 3, no. 5-2 (16-2), pp. 121–125. DOI: 10.12737/15986 (In Russian).
12. Alieva N. V., Serdyuchenko A. S. Use of an unmanned aerial vehicle in precision farming. *Melioratsiya i vodnoye khozyaystvo: materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii "Shumakovskiyechteniya"* [Reclamation and water management: materials of All-Russian scientific and practical conference "Shumakov readings"]. Novocherkassk, 2018, vol. 16, no. 2, pp. 3–5 (In Russian).
13. Meshchaninova E. G., Postoyalko A. G. Using UAVs to solve problems of rational land use. *Teoriya i praktika ekonomiki i predprinimatel'stva: XVI Vserossiyskaya s mezhdunarodnym uchastiyem nauchno-prakticheskaya konferentsiya* [Theory and practice of economics and entrepreneurship: materials of XVI All-Russian scientific and practical conference]. Simferopol, Gurzuf, 2019, pp. 148–150 (In Russian).
14. Brilevskij M. N. *Fizicheskaya geografiya Belarusi* [Physical geography of Belarus]. Minsk, BSU Publ., 2022. 119 p. (In Russian).
15. Zenmuse L1 multifunctional camera with LiVOX lidar module. Available at: [https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves\\_s\\_kameroy\\_dji\\_zenmuse\\_l1](https://dji-minsk.by/catalog/ronin-series/podves_s_kameroy_dji_zenmuse_l1) (accessed 13.03.2024) (In Russian).
16. Operational documentation of AMKODOR. Available at: <https://amkodor.by/services/ekspluatatsionnaya-dokumentatsiya> (accessed 13.03.2024) (In Russian).

#### **Информация об авторе**

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

#### **Information about the author**

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

*Поступила 13.03.2024*

# ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО

## FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE

---

УДК 630\*221.02

**А. А. Прищепов, Л. Н. Рожков**

Белорусский государственный технологический университет

### **ЛЕСНЫЕ НАСАЖДЕНИЯ БЕЛАРУСИ С УСТАНОВЛЕННЫМ РЕЖИМОМ ЛЕСОПОЛЬЗОВАНИЯ В ФОРМЕ РУБОК ОБНОВЛЕНИЯ**

Леса Республики Беларусь, в которых запрещены рубки главного пользования и допускаются рубки обновления в порядке промежуточного пользования лесом, располагаются в двух (иногда трех) категориях. Это обстоятельство затрудняет установление единого режима хозяйства и лесопользования в них.

В данных исследованиях впервые предложено объединить леса с рубками обновления различных категорий в отдельную организационно-хозяйственную единицу, по примеру хозяйств, или подкатегорию с названием «леса особого природоохранного кластера» и аббревиатурой ЛОПОК.

В процессе исследований была проанализирована динамика общей площади лесного фонда, площади покрытых лесом земель и площади сосновой формации лесов особого природоохранного кластера Беларуси за 1961–2023 гг., а также получено распределение сосняков, подлежащих рубкам обновления, в пределах лесорастительного районирования.

В результате исследований установлено, что общая площадь лесного фонда ЛОПОК в текущем тысячелетии стабилизировалась на уровне 4,4–5,0% от площади лесного фонда республики, что в 2,8 раза выше, чем в 70–90-х гг. XX столетия. Наблюдается изменчивая динамика доли покрытых лесом земель (от 64,8 до 93,1%) и сосновой формации (от 55,5 до 73,5%) в лесах с рубками обновления, что значительно отличается от аналогичных показателей лесного фонда республики. Основная доля сосновых лесов, подлежащих рубкам обновления, размещена в подзоне дубово-темнохвойных лесов (63,3%), среди геоботанических округов – в Западно-Двинском (24,1%).

**Ключевые слова:** рубка обновления, категория леса, леса особого природоохранного кластера.

**Для цитирования:** Прищепов А. А., Рожков Л. Н. Лесные насаждения Беларуси с установленным режимом лесопользования в форме рубок обновления // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хозяйство, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 38–45.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-5.

**A. A. Prishchepov, L. N. Rozhkov**

Belarusian State Technological University

### **FORESTS OF BELARUS WITH AN ESTABLISHED FOREST USE REGIME IN THE FORM OF RENOVATION FELLING**

The forests of the Republic of Belarus, in which main felling is prohibited and renovation felling is allowed in the order of intermediate use of the forest, are located in two (sometimes three) categories. This circumstance makes it difficult to establish a unified forest management regime in them.

In these research, it was proposed for the first time to combine forests with renovation felling of various categories into a separate organizational and economic unit with the name “forests of a special environmental cluster” and the abbreviation FOSEC.

In the process of research, the dynamics of the total area of the forest fund, the area of forested land and the area of pine formation of forests of the special environmental protection cluster of Belarus for the period 1961–2023 were analyzed. The distribution of pine forests subject to renovation felling within forest zoning of Belarus has been established.

As a result of the research, it was established that the total area of the FOSEC forest fund in the current millennium has stabilized at the level of 4.4–5.0% of the forest fund area of the republic, which is 2.8 times higher, than in the 70–90s of the XX century. There is an unstable dynamic in the share of

forested lands (from 64.8 to 93.1%) and pine formation (from 55.5 to 73.5%) in forests with renovation felling, which is significantly lower than similar indicators of the forest fund of the republic. The main share of pine forests subject to renovation felling is located in the subzone of oak-dark coniferous forests (63.3%), among the geobotanical districts – in the Western Dvina (24.1%).

**Keywords:** renovation felling, forest category, forests of a special environmental cluster.

**For citation:** Prishchepov A. A., Rozhkov L. N. Forests of Belarus with an established forest use regime in the form of renovation felling. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 38–45 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-5.

**Введение.** Рубки обновления – это рубки, направленные на омоложение древостоев путем изъятия из них спелых и перестойных деревьев на участках лесного фонда, на которых рубки главного пользования не допускаются [1].

В соответствии с Правилами рубок леса в Республике Беларусь [2], рубки обновления проводятся в приспевающих, спелых и перестойных насаждениях путем удаления отдельных спелых и перестойных деревьев с одновременным проведением ухода за оставшимся древостоем в целях создания условий для образования нового поколения леса.

В свое время А. М. Кожевников [3] отмечал, что рубки обновления являются важнейшим лесохозяйственным мероприятием, направленным на формирование и выращивание устойчивых, высокопродуктивных, хозяйственноценных насаждений, выполняющих разнообразные полезные целевые функции.

В наилучшей степени такие функции выполняются разновозрастными лесами. В них обеспечивается сохранение лесной среды, они более устойчивы к ветровалам, повреждениям, болезням и т. п. При проведении рубок обновления в разновозрастных, смешанных по составу и сложных по форме древостоях необходимо удалять спелые экземпляры деревьев, примесь нежелательных пород и вести комплексный уход за всеми поколениями деревьев, не дожидаясь пока насаждение начнет терять свои целевые функции. Если же древостой чистый по составу и с течением времени может потерять свои основные функции, его необходимо реформировать в разновозрастной, смешанный и сложный [3, 4].

**Основная часть.** В лесном фонде Республики Беларусь выделены категории лесов, требующие особого режима ведения хозяйства или режима лесопользования [1].

Режим лесопользования – это совокупность правил, мероприятий и норм пользования лесом, устанавливаемых исходя из целевого хозяйственного назначения.

Часто в одну и ту же категорию лесов включают леса с различным режимом лесопользования. Например, в защитных лесах, расположенных в границах водоохраных зон,

запрещается заготовка древесины в порядке проведения сплошных рубок главного пользования; в лесах, расположенных в границах первого и второго поясов зон санитарной охраны источников и систем питьевого водоснабжения, запрещается проведение рубок главного пользования, рубок обновления и т. п.; в лесах, расположенных в границах полос шириной 100 м в обе стороны от крайнего железнодорожного пути общего пользования и от оси республиканской автомобильной дороги, запрещаются рубки главного пользования [1].

Это обстоятельство затрудняет в нашем исследовании объединение в одну хозяйственную единицу различных категорий лесов, где допускаются рубки обновления. В этой связи было обращено внимание на недалекую в прошлом практику лесоустroительного проектирования с выделением хозяйственных частей при организации типов лесного хозяйства. Хозяйственная часть – это организационно-хозяйственная единица в составе лесхоза, представляющая совокупность насаждений и других видов земель лесного фонда, территориально обособленных, но объединенных общностью цели, направления и интенсивности лесного хозяйства и лесозащиты [5].

Начало производства рубок обновления в Беларуси относится к 2000 г. после введения в действие подготовленных А. М. Кожевниковым рекомендаций по проведению рубок обновления и реформирования насаждений различного целевого назначения Республики Беларусь [6]. Правовое сопровождение рубок обновления с 2000 по 2023 г. обеспечивалось Лесным кодексом РБ 2000 г. [7], Лесным кодексом РБ 2015 г. [1] и Правилами рубок леса в Республике Беларусь 2004 г. с переизданиями в 2008, 2011 и 2013 гг. [8].

Лесной кодекс РБ 2000 и 2015 гг. в определенной степени является ответом на новый взгляд мирового сообщества на роль лесов, наиболее четко сформулированный принятыми Конференцией ООН по окружающей среде и развитию в Рио-де-Жанейро 14 июня 1992 г. «Принципами лесоводства» [9, 10]. Конференция ООН 1992 г. обозначила окончательную смену старой парадигмы «устойчивого пользования

лесными ресурсами» новой – «устойчивого управления лесами в рамках лесных экосистем». Новые подходы к экологическому, экономическому и социальному аспектам их значения были заложены в новой классификации лесов, принятой Лесным кодексом Республики Беларусь 2015 г. [11].

С вступлением в силу Лесного кодекса 2015 г. рубки обновления допускаются в категории рекреационно-оздоровительных лесов и в части защитных лесов, расположенных в границах полос шириной 100 м в обе стороны от крайнего железнодорожного пути общего пользования и оси республиканской автомобильной дороги. До этого момента перечень лесов с рубками обновления включал согласно рекомендациям А. М. Кожевникова [6] шесть категорий защитности лесов: городские леса, леса лесопарковых частей зеленых зон, леса первого и второго поясов санитарной охраны источников водоснабжения, леса первого и второго округов санитарной охраны курортов, противоэрозионные леса.

В целях конкретизации режима лесопользования и объектов рубок часть лесного фонда Республики Беларусь за пределами природоохранных лесов, где запрещены рубки главного пользования лесом и допускаются рубки обновления в порядке промежуточного пользования лесом, предлагается отнести к «лесам особого природоохранного кластера» с аббревиатурой ЛОПОК.

Согласно Лесному кодексу Республики Беларусь [1], в лесах, расположенных в границах особо охраняемых природных территорий (ООПТ) (статья 19, п. 1), в границах мест обитания диких животных и (или) произрастания дикорастущих растений, относящихся к видам, включенным в Красную книгу Республики Беларусь (статья 19, п. 2), и в лесах, расположенных в границах типичных и редких природных ландшафтов и биотопов (статья 19, п. 3), могут быть разрешены рубки обновления, установленные в охранных обязательствах данных лесов.

Указанные леса относятся к категории природоохранных. Статус их выше, чем рекреационно-оздоровительных и защитных лесов. Режим лесопользования, включая рубки обновления, устанавливается охранными документами по каждому объекту индивидуально. В государственных лесных кадастрах представлена недостаточная информация об объектах природоохранных лесов, чтобы выделить в них лесной фонд с рубками обновления. В этой связи характеристика лесов с установленным режимом лесопользования в форме рубок обновления приведена на основе лесных насаждений рекреационно-оздоровительных и части (100-метровые полосы вдоль республиканских автомобильных и железных дорог) защитных лесов.

Краткая характеристика лесов особого природоохранного кластера (ЛОПОК) приведена на рис. 1 и в таблице.

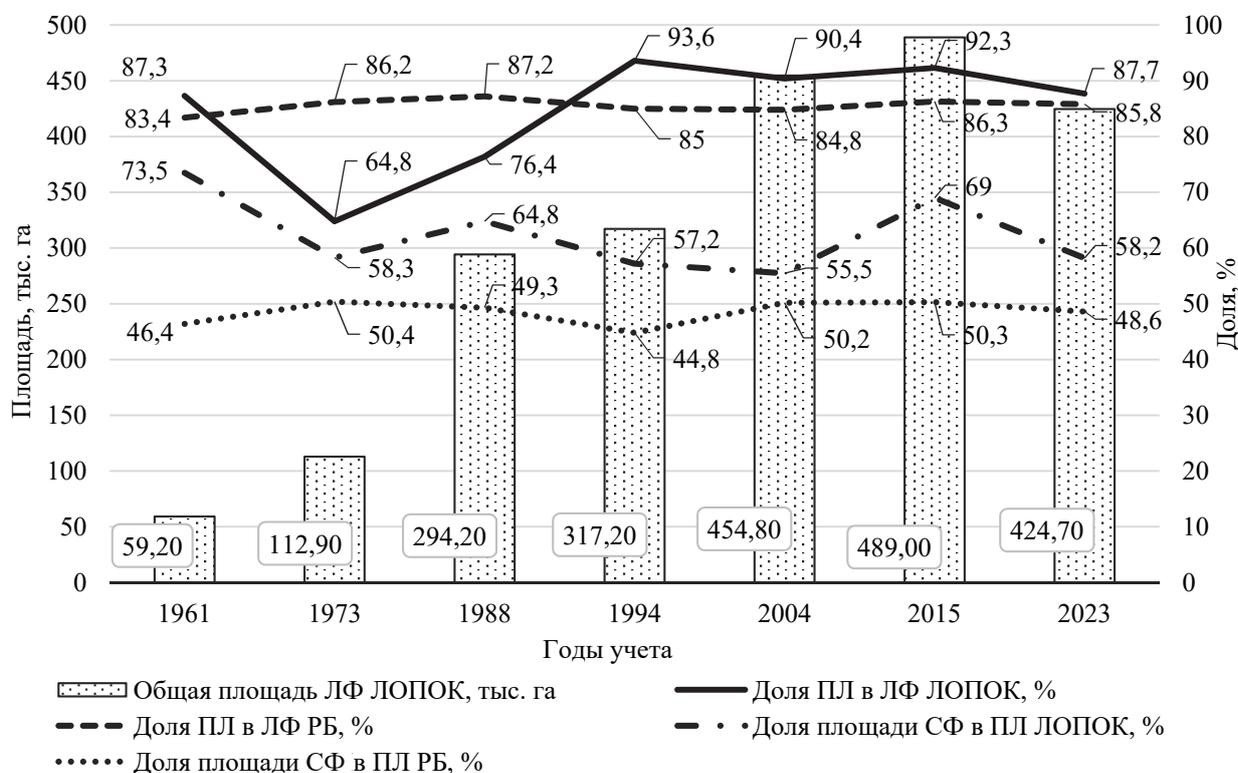


Рис. 1. Сравнительная динамика показателей лесов особого природоохранного кластера (ЛОПОК) Беларуси: ЛФ – лесной фонд; ПЛ – покрытые лесом земли; СФ – сосновая формация

## Характеристика лесов особого природоохранного кластера (ЛЮПОК) Беларуси

Категории/категории защитности лесов, возможные для проведения рубок обновления	Источник и год учета «лесов особого природоохранного кластера» (ЛЮПОК)																				
	ГУЛФ, 1961		ГУЛФ, 1973		ГУЛФ, 1988		ГУЛФ, 1994		ГУЛФ, 1994		ГЛК, 2004		ГЛК, 2015		ГЛК, 2023						
	ЛФ	ПЛ	СФ	ЛФ	ПЛ	СФ	ЛФ	ПЛ	СФ	ЛФ	ПЛ	СФ	ЛФ	ПЛ	СФ	ЛФ	ПЛ	СФ			
	Общая площадь лесного фонда (ЛФ), покрытых лесом земель (ПЛ), основной формации (СФ) ЛЮПОК, тыс. га																				
Городские леса	-	-	-	-	-	-	13,2	13,2	0,2	2,45	2,28	1,4	9,4	8,5	5,5	-	-	-			
Леса лесопарковых частей зеленых зон	51,2	44,6	25,9	76,0	39,8	23,2	188,3	173,6	111,4	227,9	207,4	129,1	257,3	234,2	138,1	-	-	-			
Леса первого и второго поясов зон санитарной охраны источников водоснабжения	-	-	-	-	-	-	3,6	3,3	1,4	12,1	10,9	7,3	-	-	-	-	-	-			
Леса первого и второго округов санитарной охраны курортов	0,4	0,4	0,2	36,9	33,4	19,5	52,3	48,0	33,0	64,0	59,5	33,2	-	-	-	-	-	-			
Противоэрозийные леса	7,6	6,7	3,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-			
Рекреационно-оздоровительные леса	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	332,8	288,6	147,7			
Леса, расположенные в границах полос шириной 100 м (до 31.12.2016 – 300 м) в обе стороны от крайнего железнодорожного пути общего пользования или от оси республиканской автомобильной дороги	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	195,0	181,9	92,2	222,0	208,6	167,9	91,9	83,8	68,9
<b>Итого</b>	<b>59,2</b>	<b>51,7</b>	<b>38,0</b>	<b>112,9</b>	<b>73,2</b>	<b>42,7</b>	<b>294,2</b>	<b>224,9</b>	<b>145,8</b>	<b>317,2</b>	<b>297,0</b>	<b>169,8</b>	<b>454,8</b>	<b>410,7</b>	<b>228,0</b>	<b>489,0</b>	<b>451,3</b>	<b>311,5</b>	<b>424,7</b>	<b>372,4</b>	<b>216,6</b>

Примечание. ГУЛФ – государственный учет лесного фонда; ГЛК – государственный лесной кадастр.

Общая площадь лесного фонда ЛОПОК в 60–80-х гг. XX столетия была незначительной (0,7–1,4%) в общей площади лесфонда республики. В последнем десятилетии II тысячелетия площадь ЛОПОК увеличилась примерно в 2,8 раза. В текущей четверти XXI столетия общая площадь лесного фонда ЛОПОК из числа рекреационно-оздоровительных и 100-метровых полос защитных лесов вдоль автодорог и железных дорог почти стабилизировалась на уровне 4,4–5,0% от общей площади лесного фонда республики.

Обращает внимание изменчивая динамика доли покрытых лесом земель (от 64,8 до 93,1%) и сосновой формации (от 55,5 до 73,5%) в лесах с рубками обновления ЛОПОК (рис. 1). Это значительно отличается от динамики аналогичных показателей лесного фонда республики, для которых характерна их относительная стабильность по учетным периодам. Так, разница доли покрытых лесом земель составляет от 1,9 до 21,4 процентных пункта (далее – п. п.) в пользу лесов республики, а доли сосновой формации – от 5,3 до 27,1 п. п. в пользу лесов с рубками обновления (рис. 1).

Частично это объясняется массовыми передачами земель сельскохозяйственного и иного назначения для лесоразведения или насаждений малоценных пород (березы, ольхи серой) от других лесфондодержателей в государственный лесной фонд, что отмечено в публикациях [12–14].

Другая причина связана с неувязкой режимов лесопользования, например, защитных и рекреационно-оздоровительных лесов. В последнем случае проблема могла быть решена на путях выделения отдельной хозяйственной части или подкатегории в системе ООПТ на базе лесов особого природоохранного кластера ЛОПОК.

По учету ГЛК на 01.01.2023 леса особого природоохранного кластера (рекреационно-оздоровит-

ельные и 100-метровые полосы вдоль железных и автодорог) существенно различаются также по возрастной структуре с аналогичными показателями по республике (рис. 2).

Доля средневозрастных лесов ЛОПОК на 47,4 п. п. больше, чем по республике. И наоборот, доля спелых и перестойных лесов ЛОПОК на 14,0 п. п. меньше, чем по республике. Индекс возрастной структуры лесов ( $L_{bc}$ ) различается на 0,58 единицы: по республике  $L_{bc} = 0,64$ , для лесов ЛОПОК  $L_{bc} = 0,06$ . При итоговой оценке возрастной структуры «удовлетворительно» для лесов республики в целом возрастная структура лесов с рубками обновления оценивается как «крайне неудовлетворительно».

Доля лесных культур среди лесов республики составляет 23,2% от площади покрытых лесом земель. Лесные культуры среди лесов с рубками обновления (ЛОПОК) занимают практически такую же долю – 23,9%. При равенстве этих показателей обращает на себя внимание неоднозначность этого равенства. Дело в том, что при рубках обновления преобладающим способом воспроизводства лесов является естественное возобновление. Соответственно, доля лесов искусственного происхождения (лесные культуры) в лесах с рубками обновления (ЛОПОК) должна быть весьма незначительной. Приведенные сравнительные оценки выделяемых лесов с рубками обновления с лесами по республике в целом указывают на желательную целесообразность организации отдельной структурной части лесного фонда – лесов особого природоохранного кластера (ЛОПОК).

Представляет интерес распределение сосновых насаждений с рубками обновления в пределах лесорастительного районирования Республики Беларусь (рис. 3).

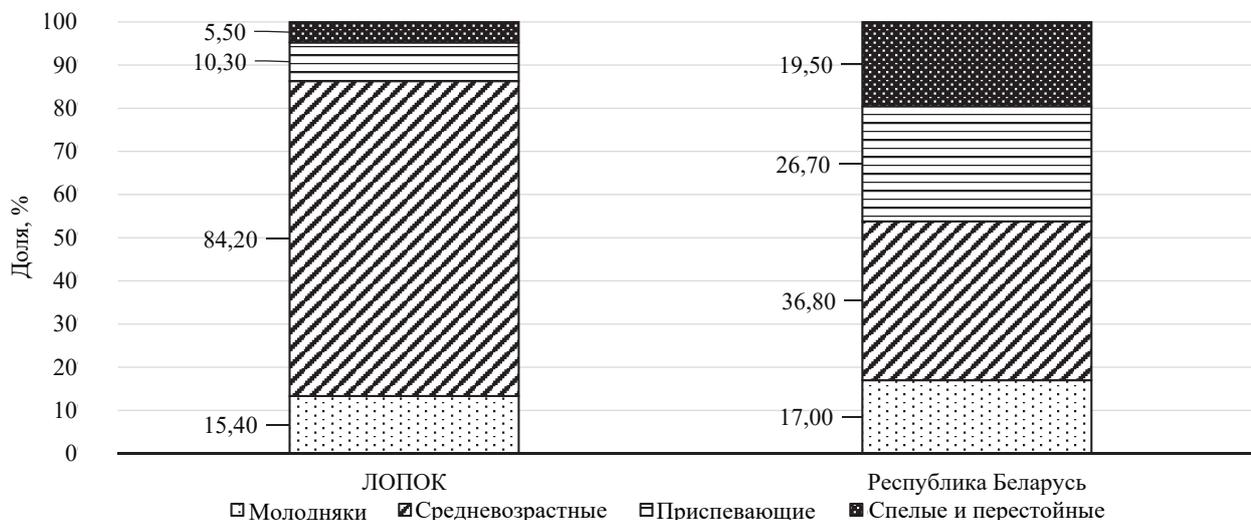


Рис. 2. Сравнительная оценка возрастной структуры лесов особого природоохранного кластера (ЛОПОК) и лесного фонда Республики Беларусь в целом (на 01.01.2023)

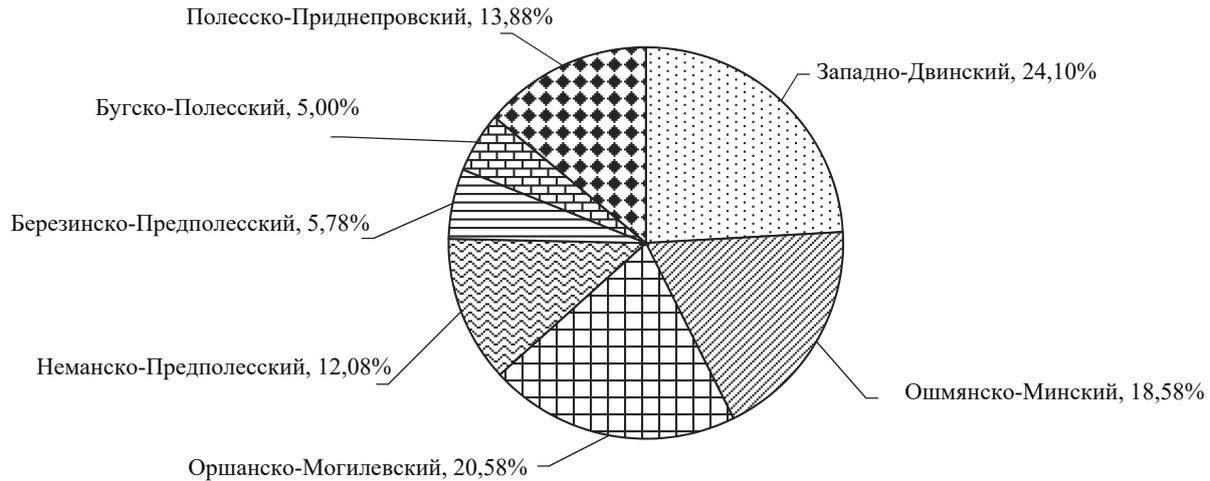


Рис. 3. Распределение сосняков, подлежащих рубке обновления, по геоботаническим округам

Основная доля сосновых лесов с рубками обновления ЛОПОК размещается в подзоне дубово-темнохвойных – 63,26%; грабово-дубово-темнохвойных – 17,86% и широколиственно-сосновых – 18,88% лесов. В части геоботанических округов доля сосновой формации СФ ЛОПОК наибольшая в Западно-Двинском (24,10%), наименьшая в Бугско-Полесском округе – 5,00% (рис. 3).

**Заключение.** Рубки обновления проводятся, как правило, в защитных лесах, расположенных в границах полос шириной 100 м вдоль железнодорожных путей и республиканских автомобильных дорог, а также в рекреационно-оздоровительных лесах. Будучи территориально и функционально разобцены среди разных категорий защитности, эти леса занимают значительную геоструктурную часть лесного фонда, совмещая выполнение нередко противоречащих целей устойчивого функционирования экосистемы в лесопокрытом состоянии и допустимого пользования древесиной на путях рубок леса, даже если это и не главные рубки. Данный факт затрудняет организацию и ведение хозяйства в этих лесах в едином режиме лесопользования и лесовосстановления.

Общая площадь лесов с рубками обновления в текущем тысячелетии стабилизировалась на уровне 4,4–5,0% от площади лесного фонда республики (424,7 тыс. га на 01.01.2023 [15]), что в 2,8 раза выше, чем в 70–90-х гг. XX столетия.

Основная доля сосновых лесов с рубками обновления размещена в подзоне дубово-темнохвойных лесов (63,26%), среди геоботанических округов – в Западно-Двинском (24,10%).

Леса с преобладанием рубок обновления существенно различаются по ключевым характеристикам от средних показателей лесов республики. В разные учетные периоды отмечена изменчивая динамика доли покрытых лесом земель (от 64,8 до 93,1%) и сосновой формации (от 55,5 до 73,5%). Леса с рубками обновления существенно различаются по возрастной структуре с лесами по республике в целом (средний возраст их 84,2 и 36,8% соответственно). Доля лесных культур одинаковая (23,9 и 23,2%). Преобладающим способом лесовосстановления в процессе рубок обновления является естественный, при котором доля лесов искусственного происхождения предполагается незначительной.

Приведенные и другие сравнительные оценки лесов с рубками обновления объективно свидетельствуют о целесообразности научного изучения вопроса выделения их в качестве самостоятельной организационно-хозяйственной единицы (хозяйственной части) или подкатегории лесов в системе ООПТ, в авторском предложении имеющие название «леса особого природоохранного кластера ЛОПОК», с разработкой соответствующего режима лесопользования и нормативных показателей целевой функции устойчивого развития.

### Список литературы

1. Лесной кодекс Республики Беларусь, 24 дек. 2015 г., № 332-З: принят Палатой представителей 9 дек. 2015 г. (в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.06.2023 г. № 293-З). Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2023. 80 с.
2. Правила рубок леса в Республике Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 68. // Нац. правовой интернет-портал. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441131> (дата обращения: 20.02.2024).

3. Кожевников А. М. Рубки ухода за лесом в Беларуси: вчера, сегодня, завтра // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2000. Вып. 60. С. 28–33.
4. Кожевников А. М., Колодий П. В. Проведение рубок обновления и реформирования в лесах Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I. Лесное хоз-во. 1996. Вып. III. С. 19–24.
5. Янушко А. Д. Экономика лесного хозяйства. Минск: ИВЦ Минфина, 2004. 368 с.
6. Рекомендации по проведению рубок обновления и реформирования насаждений различного целевого назначения Республики Беларусь. Минск: Минлесхоз, 1999. 22 с.
7. Лесной кодекс Республики Беларусь: принят Палатой представителей 8 июня 2000 г.: одобр. Советом Респ. 30 июня 2000 г.: текст Кодекса по состоянию на 22 декабря 2011 г. Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2011. 81 с.
8. Правила рубок леса в Республике Беларусь: ТКП 143-2008 (02080). Минск: Минлесхоз, 2013. 94 с.
9. Рожков Л. Н. Экологически ориентированное лесоводство. Минск: БГТУ, 2005. 182 с.
10. Несплошная рубка и возобновление леса – единый технологический процесс / Л. Н. Рожков [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 93–101.
11. Рожков Л. Н. Новый взгляд на деление лесов Беларуси // Устойчивое лесопользование. 2016. № 1. С. 16–22.
12. Рублевский С. А. Государственный лесной фонд Белорусской ССР и его использование. М.: ЦБНТИлесхоз СССР, 1976. 25 с.
13. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Отечественный и зарубежный опыт воспроизводства сосновой формации // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 1 (252). С. 43–52.
14. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Воспроизводство сосновой формации Беларуси в свете сохранения микропопуляционного разнообразия на уровне эдафоклиматипов // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2015. Вып. 75. С. 126–137.
15. Государственный лесной кадастр Республики Беларусь по состоянию на 01.01.2023. Минск: Белгослес, 2023. 87 с.

#### References

1. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'*, 24.12.2015, no. 332-Z [Forest Code of the Republic of Belarus, 24.12.2015, no. 332-Z]. Minsk, Natsional'nyy tsentr pravovoy informatsii Respubliki Belarus' Publ., 2023. 80 p. (In Russian).
2. Forest felling rules in the Republic of Belarus: the Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 19.12.2016. Available at: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584\\_1483131600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584_1483131600.pdf). (accessed 20.02.2024) (In Russian).
3. Kozhevnikov A. M. Forest thinnings in Belarus: yesterday, today, tomorrow. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest management and silviculture: collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2000, issue 60, pp. 28–33 (In Russian).
4. Kozhevnikov A. M., Kolodiy P. V. Carrying out renovation and reorganization felling in the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 1996, issue III, pp. 19–24 (In Russian).
5. Yanushko A. D. *Ekonomika lesnogo khozyaystva* [Economics of forestry]. Minsk, IVTs Minfina Publ., 2004. 368 p. (In Russian).
6. *Rekomendatsii po provedeniyu rubok obnovleniya i pereformirovaniya nasazhdeniy razlichnogo tselovogo naznacheniya Respubliki Belarus'* [Recommendations for renovation and reorganization fellings of plantings for various purposes of the Republic of Belarus]. Minsk, Minleskhoz Publ., 1999. 22 p. (In Russian).
7. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus'* [Forest Code of the Republic of Belarus]. Minsk, Natsional'nyy tsentr pravovoy informatsii Respubliki Belarus' Publ., 2011. 81 p. (In Russian).
8. ТКП 143-2008 (02080). Forest felling rules in the Republic of Belarus. Minsk, Minleskhoz Publ., 2013. 94 p. (In Russian).
9. Rozhkov L. N. *Ekologicheskii orientirovannoye lesovodstvo* [Environmentally oriented forestry]. Minsk, BGTU Publ., 2005. 182 p. (In Russian).
10. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F., Klysh A. S., Malashevich D. G., Mukhurov L. I. Clear cutting and reforestation – a single technological process. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2 (198), pp. 93–101 (In Russian).
11. Rozhkov L. N. A new look at the division of forests in Belarus. *Ustoychivoye lesopol'zovaniye* [Sustainable forest management], 2016, no. 1, pp. 16–22 (In Russian).

12. Rublevskiy S. A. *Gosudarstvennyy lesnoy fond Belorusskoy SSR i ego ispol'zovaniye* [State forest fund of the Belarusian SSR and its use]. Moscow, TsBNTIleskhoz Publ., 1976. 25 p. (In Russian).

13. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. Domestic and foreign experience in the reproduction of pine formations. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 1 (252), pp. 43–52 (In Russian).

14. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. Reproduction of the pine formation of Belarus in the light of the preservation of micropopulation diversity at the level of edaphoclimatypes. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest management and silviculture: collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2015, issue 75, pp. 126–137 (In Russian).

15. State Forest Cadastre of the Republic of Belarus of 01.01.2023. Minsk, Belgosles Publ., 2023. 87 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Прищепов Алексей Александрович** – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

**Рожков Леонид Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rozhkov@belstu.by

### Information about the authors

**Prishchepov Aleksey Aleksandrovich** – Master of Agriculture, assistant lecturer, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

**Rozhkov Leonid Nikolaevich** – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rozhkov@belstu.by

Поступила 04.03.2024

УДК 630\*221.02

**А. А. Прищепов, Л. Н. Рожков**

Белорусский государственный технологический университет

**ОЦЕНКА РЕЗУЛЬТАТОВ ПРАКТИЧЕСКОГО И НАУЧНОГО ОПЫТА РУБОК  
ОБНОВЛЕНИЯ В СОСНОВЫХ НАСАЖДЕНИЯХ РЕСПУБЛИКИ БЕЛАРУСЬ**

Лесхозами Республики Беларусь накоплен значительный опыт проведения рубок обновления. В статье анализируются 54 участка рубок обновления, находящихся на разных этапах их выполнения и проведенных различными вариантами (с мерами содействия/без мер содействия естественному возобновлению) и методами (равномерного/неравномерного изъятия деревьев).

В ходе исследований впервые апробирована ранее разработанная методика рейтинговой оценки компонентной структуры насаждений для контроля установленных функций на этапах выполнения приемов и завершения рубки обновления. Также предложены критерии для оценки степени уровня целевой функции устойчивого развития/функционирования сосновых насаждений при проведении рубки обновления.

Исследовано изменение рейтинга и степени уровня выполнения целевой функции сосновых насаждений на этапах проведения/завершения рубок обновления различными методами и вариантами. Приведены отдельные обследованные участки рубок обновления с высокой эффективностью сохранения и достижения целевой функции устойчивого развития/функционирования лесов на этапах приемов и завершения рубки, а также участки рубок с сохранением целевой функции на гранично низком уровне ее проявления.

В итоге исследований дана оценка результатам проведения рубок обновления в сосновых насаждениях Беларуси и определены факторы, влияющие на успешность их проведения.

**Ключевые слова:** рубка обновления, устойчивое функционирование, рейтинговая оценка.

**Для цитирования:** Прищепов А. А., Рожков Л. Н. Оценка результатов практического и научного опыта рубок обновления в сосновых насаждениях Республики Беларусь // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 46–55. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-6.

**A. A. Prishchepov, L. N. Rozhkov**

Belarusian State Technological University

**ASSESSMENT OF THE RESULTS OF PRACTICAL AND SCIENTIFIC  
EXPERIENCE OF RENOVATION FELLING IN PINE FORESTS  
OF THE REPUBLIC OF BELARUS**

Forestry enterprises of the Republic of Belarus have accumulated significant experience in conducting renovation felling. The article analyzes 54 areas of renovation felling that are at different stages of carrying out/completion of felling, carried out using different options (with/without measures to promote natural regeneration of forest) and methods (uniform/uneven removal of trees).

During the research, a previously developed methodology for rating the component structure of plantings was tested for the first time to control established functions at the stages of performing techniques and completing renovation felling. Criteria are also proposed for assessing the degree of the level of the target function of sustainable development/functioning of pine plantations during renovation felling.

The change in the rating and degree of the level of fulfillment of the target function of pine forests at the stages of carrying out/completion of renovation felling using various methods and options was studied. Individual surveyed areas of renovation felling with high efficiency of preserving and achieving the target function of sustainable development/functioning of forests at the stages of reception and completion of felling, as well as felling areas with preservation of the target function at a low level, are presented.

As a result of the research, the results of renovation felling in pine forests of Belarus were assessed and the factors influencing the success of their implementation were identified.

**Keywords:** renovation felling, sustainable functioning, rating assessment.

**For citation:** Prishchepov A. A., Rozhkov L. N. Assessment of the results of practical and scientific experience of renovation felling in pine forests of the Republic of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 46–55 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-6.

**Введение.** На значительной площади лесного фонда Республики Беларусь, а именно категорий лесов рекреационно-оздоровительных и защитных в части 100-метровых полос в обе стороны от железнодорожного пути и республиканских автомобильных дорог, запрещено лесопользование в порядке рубок главного пользования [1, статьи 19.4.1 и 19.8.1]. В таких лесах при необходимости омоложения древостоев путем изъятия из них спелых и перестойных деревьев допускаются рубки промежуточного пользования в виде рубок обновления.

В большинстве зарубежных стран рубки обновления не являются типичным и распространенным видом рубок. Практически рубки обновления в определении Лесного кодекса Республики Беларусь [1, с. 12] применяются в основном в Российской Федерации и Беларуси. Отдельные результаты промежуточных этапов рубок обновления нашли отражение в работах А. М. Кожевникова и П. В. Колодий [2–4], Л. Н. Рожкова [5], К. В. Лабохи [6], Д. В. Шимана [7], С. В. Залесова [8], А. Г. Магасумовой [9], В. А. Александрова [10] и др.

Рубки обновления относятся к категории рубок промежуточного пользования (по признаку порядка заготовки древесины), системе рубок обновления, формирования и переформирования. Варианты (разновидности) рубок обновления – с мерами содействия естественному возобновлению и без мер содействия, могут проводиться методами равномерного, группово-выборочного или узкополосного изъятия деревьев при рубке [11].

Согласно Лесному кодексу [1, с. 12], рубки обновления определены как «рубки, направленные на омоложение древостоев путем изъятия из них спелых и перестойных деревьев на участках лесного фонда, на которых рубки главного пользования не допускаются». Согласно статье 19 «Режим лесопользования в зависимости от категорий лесов», запрещается заготовка древесины в порядке проведения рубок главного пользования в рекреационно-оздоровительных лесах (пункт 4.1) и лесах, расположенных в границах полос шириной 100 м в обе стороны от крайнего железнодорожного пути общего пользования, от оси республиканской автомобильной дороги (пункт 8.1).

Возможными объектами рубок обновления могут являться также установленные законодательством об особо охраняемых природных территориях природоохранные леса (пункт 1), также леса в границах мест обитания диких животных и (или) произрастания дикорастущих растений, включенных в Красную книгу (пункт 2), и в границах типичных и редких биотопов (пункт 3) с учетом ограничений и запретов на осуществление лесопользования, установленных в их охраняемых документах.

Согласно Правилам рубок леса [12], «основной задачей проведения рубок обновления и формирования (переформирования) является формирование разновозрастных, смешанных по составу и сложных по форме лесных насаждений, выполняющих на постоянной основе средообразующие, водоохраные, защитные, санитарно-гигиенические, оздоровительные, рекреационные и иные функции леса». По нашему мнению, выполнение этой задачи решается только при соблюдении ключевого показателя устойчивого функционирования этих лесов – постоянного поддержания лесных земель в покрытом лесом состоянии или при определенной степени сомкнутости лесного полога (минимальной средозащитной полноте).

По исследованиям ученых [13, с. 333, 352], средозащитная функция сохраняется достаточной при полноте древостоя не менее 0,6. В этой связи для высокополнотных древостоев, поступивших в рубку обновления, на первых приемах рубки допускается наличие подроста в минимальном количестве, поскольку средозащитная функция леса выполняется древесным пологом. При последующих приемах рубки со снижением полноты древостоя до 0,5 и ниже выполнение средозащитной функции должен воспринять на себя частично или полностью подрост, или молодое поколение леса. В этом плане Л. Н. Рожков [14] предлагает руководствоваться показателем «средозащитной полноты» как суммой показателей относительной полноты древостоя и сомкнутости подроста или молодого поколения леса. Сомкнутость условно крупного подроста густотой 1000 шт./га приравнивается к полноте 0,1 древостоя.

Важным также является вопрос формирования целевых составов подроста и молодого поколения леса при омоложении древостоя в порядке рубок обновления. В условиях замены коренного соснового древостоя предлагаем руководствоваться следующими рекомендациями [15].

Монодоминантную сосновую формацию (боры) с единственным (до 3 единиц состава) участием березы повислой, осины и ели целесообразно формировать в эдатопах А<sub>1</sub>, А<sub>2</sub>, А<sub>3</sub>, А<sub>4</sub> и А<sub>5</sub>.

Елово-сосновую субформацию (субори) при участии в составе до 3 единиц ели, березы повислой, дуба, клена и осины целесообразно формировать в эдатопах В<sub>2</sub>, В<sub>3</sub>, В<sub>4</sub> и В<sub>5</sub>.

Широколиственно-сосновую (дубово-сосновую) субформацию (судубравы) целесообразно формировать в эдатопах С<sub>2</sub> и С<sub>3</sub> с участием до 3 единиц в составе дуба, клена, ели, березы.

Как известно, в сентябре 2015 г. государства – члены ООН приняли Повестку дня устойчивого развития на период до 2030 г.

(Повестка дня – 2030) [16]. Составной частью Повестки дня являются 17 целей устойчивого развития (ЦУР) и 169 подчиненных им задач, которые необходимо достичь к 2030 г. Для организации работы по достижению Целей устойчивого развития в Беларуси принят Указ Президента Республики Беларусь № 181 от 25 мая 2017 г. [17].

Применительно к указанным целям и задачам ЦУР настоящее исследование более связано с Целью 15 «Сохранение экосистем суши» задачей 15.2 «К 2020 году содействовать внедрению методов рационального использования всех типов лесов, остановить обезлесение, восстановить деградировавшие леса и значительно расширить масштабы лесонасаждения и лесовосстановления во всем мире». Национальным показателем к задаче 15.2 установлен индикатор 15.2.1 «Прогресс в переходе на неистощительное ведение лесного хозяйства».

С учетом вышеизложенного рекомендуем сформулировать требования к формированию лесов с режимом лесопользования на основе рубок обновления в следующей редакции.

Целевой функцией устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления (лесов особого природоохранного кластера ЛОПОК) является постоянное поддержание социально-экологических функций, не исключая возможности промежуточного пользования древесиной и другими ресурсами леса путем формирования преимущественно естественного происхождения, высокополнотных, сложных с чередованием участков хвойных и лиственных пород, чистых и смешанных, разных возрастных групп, с наличием подроста и подлеска насаждений.

В данной статье не ставилась задача определения путей формирования лесов с режимом лесопользования в форме рубок обновления (ЛОПОК) в виде самостоятельной организационно-хозяйственной единицы лесного фонда. Это предмет отдельного исследования при наличии интереса республиканского органа государственного управления по лесному хозяйству к этому вопросу.

Лесхозами Республики Беларусь накоплен значительный опыт проведения рубок обновления. Нами выборочно обследованы рубки обновления в 32 лесхозах республики. Исследование результатов рубок обновления в таком количестве объектов является первым в Беларуси и заслуживает публичного освещения.

**Основная часть.** Планирование и проведение рубок обновления как лесохозяйственного мероприятия в Беларуси началось с середины 90-х гг. истекшего XX столетия. Стратегическим планом развития лесного хозяйства Бела-

руси до 2015 г. [18, с. 160] объем рубок обновления по хвойному хозяйству планировался в 1996 г. 136 га/11,2 тыс. м<sup>3</sup> с перспективой на 2015 г. 671 га/56,5 тыс. м<sup>3</sup>. Стратегическим планом до 2030 г. [19, с. 214] объем рубок обновления планируется на 2025 г. в объеме 2019 га/167,1 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по хвойному хозяйству 873 га/80,9 тыс. м<sup>3</sup>, и на 2030 г. – 2027 га/169,9 тыс. м<sup>3</sup>, в том числе по хвойному хозяйству 912 га/85,2 тыс. м<sup>3</sup>. Как видим, за истекшие примерно три десятилетия объем рубок обновления оставался относительно стабильным при небольшой динамике роста.

Из 32 лесоустроительных проектов текущих и предыдущих ревизионных периодов были выбраны сосновые насаждения, запроектированные в рубки обновления. После полевых обследований были определены 54 участка рубок и в них заложены пробные площади. На 33 участках проводились рубки обновления в варианте сохранения подроста без мер содействия естественному возобновлению, на остальном 21 участке – в варианте с мерами содействия. В первом варианте 30 участков находятся на разных этапах приемов рубки и 3 участка после завершения рубки. Во втором варианте рубка завершена на 8 участках, остальные – на этапах приемов рубки.

На всех пробных площадях установлены исходные и на этапах приемов/завершения рубки лесоводственно-таксационные показатели древостоя, проведено описание подроста, подлеска, травяно-кустарничкового яруса и мохово-лишайникового покрова.

Впервые апробирована ранее разработанная методика рейтинговой оценки компонентной структуры насаждений [20–22] для контроля за достижением установленных функций рубок обновления на этапах ее проведения и после завершения, а также для обоснования целесообразности назначения рубки обновления и ее вариантов/разновидностей (табл. 1). Кроме того, предложены критерии для оценки уровня выполнения лесами целевой функции устойчивого развития/функционирования сосновых насаждений при проведении рубки обновления на этапах приемов и заключительном.

В лесном хозяйстве Беларуси за последние два десятилетия пройдены рубками обновления значительные площади сосновых насаждений. О результатах рубок лесная статистика не сообщает, в научных трудах или других средствах массовой информации публикации немногочисленные. Задачи настоящего исследования включают анализ опыта проводимых в лесном фонде республики рубок обновления с их оценкой на предмет соответствия целям устойчивого развития/функционирования насаждений.

Таблица 1

## Методика оценки выполнения функций рубки обновления в сосновых насаждениях

Компонентная структурная группа насаждений	Рейтинг
Древостой низкополнотный (0,3–0,5), чистый по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	1
Древостой низкополнотный (0,3–0,5), смешанный по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	2
Древостой низкополнотный (0,3–0,5), чистый или смешанный по составу, подрост целевых пород полнотой $\leq 0,10$	3
Древостой низкополнотный (0,3–0,5), чистый или смешанный по составу, подрост целевых пород полнотой $\geq 0,20$	4
Древостой среднеполнотный (0,6–0,7), чистый по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	5
Древостой среднеполнотный (0,6–0,7), смешанный по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	6
Древостой среднеполнотный (0,6–0,7), чистый по составу, подрост из целевых пород	7
Древостой среднеполнотный (0,6–0,7), смешанный по составу, подрост из целевых пород	8
Древостой высокополнотный (0,8–1,0), чистый по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	9
Древостой высокополнотный (0,8–1,0), смешанный по составу, подрост из нецелевых пород или отсутствует	10
Древостой высокополнотный (0,8–1,0), чистый по составу, подрост из целевых пород	11
Древостой высокополнотный (0,8–1,0), смешанный по составу, подрост из целевых пород	12

В этой связи по материалам лесоустроительных проектов были установлены и обследованы 54 участка или пробные площади в 10 лесхозах (13 лесничествах) республики, находящиеся на разных этапах проведения/завершения рубок обновления в сосновых насаждениях (табл. 2).

Из табл. 2 видно, что на 33 участках (61%) проведены первые приемы рубки обновления без мер содействия естественному возобновлению, в том числе на 3 участках рубка завершена. На 21 участке (39%) проводятся рубки обновления с мерами содействия естественному возобновлению, в том числе на 8 участках рубка обновления завершена.

Среди исследованных участков на начало рубки преобладали насаждения с исходным рейтингом «7» (среднеполнотные древостои, чистые по составу, с подростом из целевых пород). Значительная часть древостоев была представлена структурными группами с рейтингами «5» (20%), «3» (14%) и «9» (13%).

Проведение рубки вызывает трансформацию компонентной структуры насаждения. В нашем понимании, компонентная структура насаждения – это совокупность составных частей лесного фитоценоза, таких как древостой с его ярусами, подрост, подлесок, травяно-кустарничковый ярус, мохово-лишайниковый покров, корневые системы растений, лесная подстилка, не исключаются также почва, животные и микроорганизмы, образующие во взаимосвязи синергетическую среду произрастания и обитания лесной экосистемы.

Первопричиной трансформации является изменение средозащитной полноты вырубаемого насаждения из-за изъятия части древесного запаса на приемах рубки и формирования подроста (сохранение предшествующего плюс появление сопутствующего рубке). Также возможно изменение состава древостоя, подроста и молодого поколения леса. Это в конечном итоге изменяет компонентную структуру и степень/уровень соответствия формируемого нового древостоя целевой функции лесов с проведением рубок обновления.

Таблица 2

## Количество обследованных участков/пробных площадей сосновых насаждений с рубками обновления

Исходная компонентная структурная группа насаждений с рейтингом согласно табл. 1	Всего, шт.	В том числе	
		без мер содействия естественному возобновлению	с мерами содействия естественному возобновлению
3	8	4	4
4	4	2	–
5	11	5	6
6	3	1	2
7	15	11	4
8	2	1	1
9	7	5	2
10	2	1	1
11	1	1	–
12	3	2	1
Итого	54	33	21

Построение таблицы изменений компонентной структуры насаждений позволило выявить трансформацию насаждений на этапах выполнения приемов и завершения рубки (табл. 3).

Как видим из табл. 3, доля участков рубок с сохранением или повышением рейтинга при рубке с мерами содействия естественному возобновлению составила 42,9%, понизивших исходный рейтинг – 57,1%; при рубках без содействия соответственно 30,3 и 69,7%, что в 1,22 раза хуже. Это естественно, поскольку воздействию на структуру подвергается древостой – ключевой элемент насаждения. Важно, что при рубке сохраняется целевая функция всех насаждений, о чем будет комментарий при анализе табл. 4.

Представляет интерес сравнение трансформаций структуры насаждений, подвергаемых варианту рубки с мерами содействия естественному возобновлению (табл. 3), и рубке без ме-

роприятий содействия естественному возобновлению.

Анализ табл. 3 свидетельствует об одинаковой направленности трансформации насаждений при рубке обновления – существенному снижению доли участка рубок с сохранением или повышением рейтинга при рубке без мер содействия – 69,7%, что в 1,62 раза больше, чем при рубке с мерами содействия. В случае рубки без мер содействия так же, как и при рубке с мерами содействия, на всех этапах исследованных рубок сохранялась целевая функция лесов с рубками обновления.

Наибольшей трансформации подвергнуты группы насаждений: с вариантом рубки «без мер содействия естественному возобновлению» – с рейтингами «7», «9» и «12» (снижение в 1,45–1,72 раза); с вариантом «с мерами содействия естественному возобновлению» – с рейтингами «7» (снижение в 2 раза) и «9» (снижение в 1,29 раза).

Таблица 3

**Изменение рейтинга обследованных сосновых насаждений при рубке обновления**

Количество насаждений при вариантах рубки с мерами содействия/без мер содействия	Рейтинг насаждений до рубки	Количество насаждений с рейтингом на рубках с мерами содействия/без мер содействия естественному возобновлению на этапах или при завершении рубок обновления, шт.										Динамика рейтинга насаждений на этапах рубки, шт.		Средний рейтинг насаждений на этапах рубки	
		5/16	6/4	1/1	0/3	3/6	5/3	0/0	0/0	0/0	1/0	сохранивших или повысивших рейтинг	понизивших исходный рейтинг		
		3	4	5	6	7	8	9	10	11	12				
4/4	3	1/4	1/0				2/0						4/4	0/0	5,7/4,0
0/2	4	0/2											0/0	0/2	0,0/3,0
6/5	5	2/1	2/2	1/1		1/1							2/2	4/3	4,3/4,6
2/1	6		1/1				1/0						1/0	1/1	6,0/4,0
4/11	7	2/8	2/1		0/1		0/1						0/3	4/8	3,5/3,8
1/1	8						1/1						1/1	0/0	8,0/8,0
2/5	9	0/1				2/4							0/0	2/5	7,0/6,2
1/1	10				0/1		1/0						0/0	1/1	8,0/6,0
0/1	11					0/1							0/0	0/1	0,0/7,0
1/2	12				0/1		0/1				1/0		1/0	0/2	12,0/7,0
21/33	Итого	+1/+1	+6/+6	+1/-5	0/-2	+3/-1	+5/+4	0/-2	0/-1	0/0	0/-2		9/10	12/23	5,57/4,52

Таблица 4

**Распределение обследованных участков по степени выполнения целевой функции лесов с рубками обновления**

Вариант рубок обновления	Количество обследованных участков, шт.	Распределение обследованных насаждений по уровням выполнения целевой функции лесов с рубками обновления, шт.					
		до приемов рубки			на этапах приемов и завершения рубки		
		минимально-удовлетворительный	удовлетворительный	хороший	минимально-удовлетворительный	удовлетворительный	хороший
Без мер содействия естественному возобновлению	33	6	18	9	20	13	0
С мерами содействия естественному возобновлению	21	4	13	4	11	9	1

В последующем была исследована динамика степени/уровня выполнения целевой функции лесов с рубками обновления: при исходном состоянии (до приемов рубки), на этапе приемов рубки и после завершения рубки обновления в насаждении.

По степени/уровню совершенства и соответствия целевой функции устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления, допустимости проведения рубок обновления сосновые насаждения оценивались следующим образом:

– насаждения с рейтингом 1–2 единицы и средозащитной полнотой  $\leq 0,5$  единицы не соответствуют целевой функции устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления, требуют рубок реформирования;

– насаждения с рейтингом 3–4 единицы и средозащитной полнотой  $\geq 0,6$  единицы на минимально удовлетворительном уровне выполняют целевую функцию устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления, в спелом возрасте допустимы для рубок обновления с мерами содействия естественному возобновлению;

– насаждения с рейтингом 5–8 единиц и средозащитной полнотой  $\geq 0,6$  единицы на удовлетворительном уровне выполняют целевую функцию устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления, в спелом возрасте допустимы для рубок обновления;

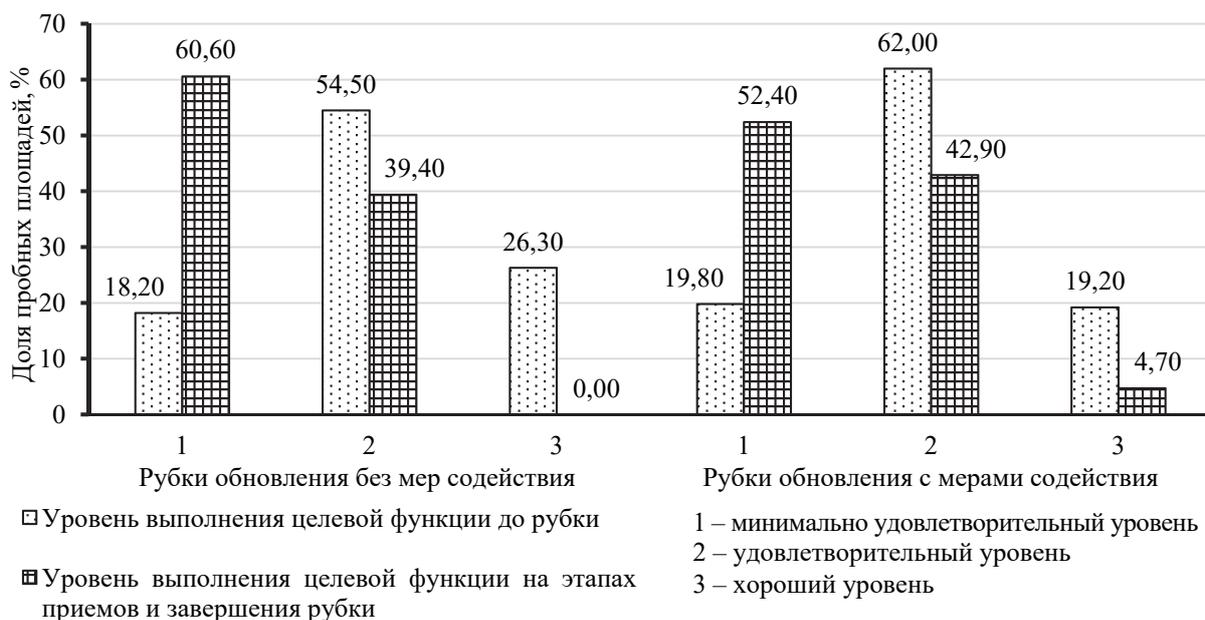
– насаждения с рейтингом 9–12 единиц и средозащитной полнотой  $\geq 0,6$  единицы достаточно совершенны, на хорошем уровне выполняют целевую функцию устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления, в спелом возрасте допустимы для рубок обновления.

Основной вывод из анализа табл. 4 и рисунка состоит в том, что изъятие спелого древостоя из лесной экосистемы при рубке значительно снижает уровень выполнения целевой функции лесов особого природоохранного кластера ЛОПОК. При этом в первую очередь снижается важнейшая составляющая целевой функции – средозащитная полнота, изменяются другие компоненты фитоценоза – подрост, подлесок, живой напочвенный покров. Вектор изменений функции односторонний – от хорошего уровня до удовлетворительного и минимально удовлетворительного, не исключая неудовлетворительного с полной потерей состояния устойчивого функционирования целевой функции.

На обследованных участках с вариантом рубок без мер содействия естественному возобновлению на этапах ее проведения и заключительном не оказалось насаждений с хорошим уровнем выполнения целевой функции (до рубки было 26,3%), сократились в 2,05 раза насаждения с исходными суммарно хорошим и удовлетворительными уровнями (с 80,8 до 39,4%).

На участке рубок с мерами содействия естественному возобновлению вектор изменений аналогичен, но количественно более мягкий – насаждения с хорошим уровнем сохранились при уменьшении в 4,09 раза (с 19,2 до 4,7%), насаждения с хорошим и удовлетворительным уровнями суммарно уменьшились в 1,71 раза (с 81,2 до 47,6%).

В обоих вариантах рубок на этапах ее проведения и заключительном резко возрастает доля насаждений с минимально удовлетворительным уровнем выполнения целевой функции – с 18,2–19,2 до 52,4–60,6%, почти в 3 раза.



Динамика уровня выполнения целевой функции на этапах приемов и завершения рубки обновления

Среди всей выборки на 54 обследованных участках рубок мы не смогли с абсолютной вероятностью утверждать о наличии участков рубок с потерей цели устойчивого функционирования, т. е. с неудовлетворительным уровнем выполнения целевой функции лесов особого природоохранного кластера ЛОПОК.

Приведем отдельные обследованные участки рубок обновления с высокой эффективностью сохранения и достижения целевой функции устойчивого развития/функционирования лесов на этапах приемов и завершения рубки. Также отметим участки рубок с сохранением целевой функции на гранично низком уровне ее проявления.

Трехприемная рубка обновления продолжительностью 8 лет в квартале 25 Негорельского лесничества Негорельского учебно-опытного лесхоза (НУОЛХ) проведена в смешанном сосняке мшистом – насаждении с составом  $5C2E_{(112)}3E_{(71)}+Д, Б, Ос_{(60)}$ , полнотой 0,83, с предварительным целевым подростом 1,5 тыс. шт./га и рейтингом «12». Интенсивность первого приема – 38%, по его окончании проведена минерализация почвы полосами. Рейтинг насаждения после первого приема – «6». Спустя 4 года выполнен второй прием рубки, после которого полнота насаждения – 0,34, условно-крупного подроста – 7,7 тыс. шт./га, рейтинг насаждения – «4». После заключительного приема сформировалось молодое поколение – 11,6 тыс. шт./га, со средней высотой 1,5 м, составом  $4C6E+Д_{(10)}$  и рейтингом насаждения «12», которое на хорошем уровне выполняет целевую функцию [5, с. 25].

Четырехприемная равномерно-постепенная рубка продолжительностью 17 лет в квартале 157 Негорельского лесничества проведена в чистом сосняке вересковом  $10C+B_{(85)}$  с исходными полнотой – 0,63, рейтингом – «7» и оценкой удовлетворительного уровня выполнения целевой функции. Предполагалась рубка с сохранением подроста без мер содействия естественному возобновлению. После первого приема рубки рейтинг насаждения оценивался до «4» при минимально удовлетворительном уровне выполнения целевой функции. После первого приема рубки на 1/3 площади лесосеки произошел пожар. Вследствие этого участок был разделен на три секции: не подвергнутую пожару, с минерализацией почвы на подвергнутую пожару и оставленную под естественное возобновление после пирогенного воздействия. После второго приема рубки (повторяемость 8 лет) насаждение сохраняло рейтинг «4». Третий прием (повторяемость 4 года) отмечен хорошим естественным возобновлением на секции с пирогенным воздействием и хорошим ростом сохранившегося подроста на третьей секции. После заключительного приема на всех секциях формируется условно разновозрастное сосновое насаждение с

рейтингом «8» и вполне удовлетворительным уровнем выполнения целевой функции [5, с. 5].

Четырехприемная группово-постепенная рубка продолжительностью 20–25 лет, проводимая в квартале 130 Негорельского лесничества, характеризуется наличием исходного целевого подроста группового размещения, формированием и при последующих приемах расширением «лесо-возобновительных гнезд» в количестве 4–5 шт./га. Также отличительной особенностью является технология с заготовкой сортиментов и щепы из порубочных остатков. Система машин традиционна для НУОЛХ: бензопила на валке, обрубке сучьев и раскряжке; форвардер для трелевки сортиментов, сбора порубочных остатков с трелевкой; рубка щепы проводится на погрузочном пункте. Исходная характеристика сосняка мшистого:  $10C+E_{(105)}$ , полнота 0,78, подрост в условно-крупном виде до 3 тыс. шт./га, рейтинг насаждения – «7», удовлетворительный уровень выполнения целевой функции. Повторяемость приемов рубки – 8 лет, заключительный прием предполагается в 2024–2026 гг. После первого и второго приемов рубки рейтинг насаждения снизился до «4–5» при минимально удовлетворительном уровне выполнения целевой функции. Перед заключительным приемом рейтинг насаждения заслуживает «7» единиц при достаточно удовлетворительном уровне выполнения целевой функции [5, с. 13].

Трехприемная с мерами содействия и методом узкополосного изъятия деревьев рубка продолжительностью 20 лет проведена в квартале 105 Тумиловичского лесничества Глубокского опытного лесхоза. Исходная характеристика насаждения:  $10C_{(90)}$ , сосняк мшистый, полнота – 0,6, условно-крупный целевой подрост 1,5 тыс. шт./га, рейтинг насаждения – «7», вполне удовлетворительный уровень выполнения целевой функции. Повторяемость приемов – 10 лет. Изъятие деревьев при рубке – узкая вырубленная полоса 10 м, оставляемая полоса – 20 м шириной. Содействие естественному возобновлению – минерализация почвы бороздами. После первого и второго приемов рейтинг насаждения – «7», удовлетворительный уровень выполнения целевой функции. После заключительного приема рубки сформировано чистое сосновое молодое поколение, возраст – 15–21 где, полнота – 0,84, рейтинг – «11», хороший уровень выполнения целевой функции.

Трехприемная рубка обновления без мер содействия проводится в квартале 132 Ивьевского лесничества Ивьевского лесхоза. Характеристика насаждения до рубки: состав  $9C1E$ , тип леса – сосняк орляковый, полнота – 0,70. Под пологом имелся крупный еловый подрост в количестве 2,0 тыс. шт./га. Рейтинг насаждения до рубки – «7–8» при удовлетворительном уровне выполнения целевой функции. Интенсивность первого приема рубки (2015 г.) – 20%,

при этом уничтожена значительная часть елового подроста предварительной генерации, состав после первого приема – 10С, полнота снизилась до 0,55. Особенностью участка является обильное разрастание подлесочного яруса (лещина) по всей территории участка, имеется редкий подрост целевых пород (С, Е) сомкнутостью до 0,2 единицы. Рейтинг насаждения после первого приема – «3», выполнение целевой функции на минимально удовлетворительном уровне.

Трехприемная рубка обновления без мер содействия проводится в квартале 19 Шацкого лесничества Пуховичского лесхоза. Исходная характеристика насаждения: состав 9С1Е, сосняк мшистый, полнота 0,70, под пологом подрост из нецелевых пород (8Е2Б) в количестве 2,0 тыс. шт./га, рейтинг насаждения – «5», удовлетворительный уровень выполнения целевой функции. Интенсивность первого приема рубки – 20%. Полнота насаждения снизилась до 0,54, условно-крупного подрост сосны 0,4 тыс. шт./га. Рейтинг после первого приема – «3», минимально удовлетворительный уровень выполнения целевой функции.

**Заключение.** Рубки обновления проводятся в Беларуси с середины 90-х гг. XX столетия. Предмет их научного исследования относительно незначительный. В то же время объемы их производства и планирования имеют тенденцию увеличения.

В статье анализируются 54 участка рубок обновления, проведенные в 13 лесничествах, находящиеся на разных этапах проведения/завершения рубок. Анализируются результаты рубок обновления в сосновых насаждениях и степень/уровень их соответствия установленной целевой функции устойчивого развития/функционирования лесов с проведением рубок обновления.

Проведение рубки вызывает изменение рейтинга и степени/уровня выполнения насаждением целевой функции: при рубке без мер содействия естественному возобновлению снижают рейтинг 69,7% участков рубок, что в 1,62 раза больше, чем при рубках с мерами содействия; в обоих вариантах при рубке почти в 3 раза возрастает доля насаждений с минимально удовлетворительным уровнем выполнения целевой функции (с 18,2–19,2 до 52,4–60,6%); не выявлено на этапах рубки насаждений с неудовлетворительным уровнем выполнения целевой функции устойчивого развития.

Достаточно удовлетворительные, нередко хорошие результаты рубок обновления отмечены в Негорельском учебно-опытном и Глубокском опытном лесхозах. Факторами успешности рубок обновления являются: правильный выбор количества и повторяемости приемов рубки; проведение мер предварительного, сопутствующего содействия естественному возобновлению, метод изъятия деревьев (группово-выборочный, узкополосный, равномерный), изъятие порубочных остатков. Менее эффективные технологии рубок без проведения мер по сохранению подроста предварительной генерации и без ухода за подлеском при его разрастании (Ивьевское лесничество), а также без удаления при первом приеме рубки подрост нецелевых пород при этом без минерализации почвы (Шацкое лесничество).

Очевидна необходимость расширения научных исследований и разработки экологически более совершенных технологий производства лесосечных операций и проведения мероприятий по содействию/стимулированию естественного возобновления на рубках обновления.

### Список литературы

1. Лесной кодекс Республики Беларусь, 24 дек. 2015 г., № 332-З: принят Палатой представителей 9 дек. 2015 г. (в ред. Закона Респ. Беларусь от 17.06.2023 г. № 293-З). Минск: Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь, 2023. 80 с.
2. Кожевников А. М. Рекомендации по проведению рубок обновления и реформирования насаждений различного целевого назначения Республики Беларусь. Минск: Минлесхоз, 1999. 22 с.
3. Кожевников А. М., Колодий П. В. Проведение рубок обновления и реформирования в лесах Беларуси // Труды БГТУ. Сер. I, Лесное хоз-во. 1996. Вып. III. С. 19–24.
4. Кожевников А. М. Рубки ухода за лесом в Беларуси: вчера, сегодня, завтра // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2000. Вып. 60. С. 28–33.
5. Рожков Л. Н. Опытные стационары кафедры лесоводства БГТУ. Минск: Юстмаж, 2019. 51 с.
6. Лабоха К. В., Грунда В. А. Опыт проведения рубок обновления в сосновых насаждениях Бегомльского лесничества // Лесное хоз-во: тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–12 фев. 2017 г. Минск, 2017. С. 27.
7. Шиман Д. В. Опыт рубок обновления в сосновых насаждениях ЭЛОХ «Браслав» ГПУ НП «Браславские озера» // Лесное хоз-во: тез. докл. 81-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов (с междунар. участием), Минск, 1–12 фев. 2017 г. Минск, 2017. С. 40.
8. Залесов С. В., Бачурина А. В., Бачурина С. В. Состояние лесных насаждений, подверженных влиянию промышленных поллютантов ЗАО «Карабашмедь», и реакция их компонентов на проведение рубок обновления. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2017. 278 с.

9. Магасумова А. Г. Лесоводственно-экономическая эффективность рубки обновления в сосняках Среднего Урала: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2004. 24 с.
10. Александров В. В. Лесоводственная эффективность рубок обновления и применения минеральных удобрений в рекреационных сосняках Среднего Урала в целях повышения их устойчивости: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03. Екатеринбург, 2002. 22 с.
11. Ражкоў Л. М., Лабоха К. В. Лесазнаўства і лесаводства. Практыкум. Мінск: БДТУ, 2009. 248 с.
12. Правила рубок леса в Республике Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 68. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=W22441131> (дата обращения: 06.03.2024).
13. Тихонов А. С. Лесоводство. Калуга: Гриф, 2005. 400 с.
14. Инструкция по организации проведения несплошных рубок главного пользования в лесах Республики Беларусь: утв. М-вом лесного хоз-ва Респ. Беларусь 10.04.1998. Минск, 1997. 72 с.
15. Рекомендации по совершенствованию воспроизводства и выращивания сосновой формации Беларуси: утв. приказом М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь 03.04.2023 г., № 69. Минск: БГТУ, 2023. 22 с.
16. Резолюция, принятая Генеральной Ассамблеей ООН, 25.09.2015, № 70/1 // Цели устойчивого развития в Беларуси. URL: <https://sdgs.by/wp-content/uploads/2023/11/n1529192.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).
17. О Национальном координаторе по достижению Целей устойчивого развития: Указ Президента Респ. Беларусь, 25.05.2017, № 181 // Нац. правовой Интернет-портал Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700181> (дата обращения: 04.03.2024).
18. Стратегический план развития лесного хозяйства Беларуси на период с 1997 по 2015 год. Минск: Минлесхоз, 1997. 178 с.
19. Стратегический план развития лесохозяйственной отрасли на период с 2015 по 2030 год. Минск: Минлесхоз, 2015. 219 с.
20. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Влияние длительного хозяйственного воздействия на изменение лесного фонда // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2011. Вып. 71. С. 132–145.
21. Рожков Л. Н., Ерошкина И. Ф. Рейтинговая оценка эколого-экономической компоненты лесного насаждения на этапе «рубка – возобновление леса» // Труды БГТУ. 2015. № 1: Лесное хоз-во. С. 95–98.
22. Ерошкина И. Ф. Динамика компонентной структуры лесных насаждений в условиях современной лесохозяйственной деятельности // Труды БГТУ. 2013. № 1: Лесное хоз-во. С. 67–69.

### References

1. *Lesnoy kodeks Respubliki Belarus*, 24.12.2015, no. 332-Z [Forest Code of the Republic of Belarus, 24.12.2015, no. 332-Z]. Minsk, Natsional'nyy tsentr pravovoy informatsii Respubliki Belarus' Publ., 2023. 80 p. (In Russian).
2. Kozhevnikov A. M. *Rekomendatsii po provedeniyu rubok obnovleniya i pereformirovaniya nasazhdeniy razlichnogo tselevogo naznacheniya Respubliki Belarus* [Recommendations for renovation and reorganization fellings of plantings for various purposes of the Republic of Belarus]. Minsk, Minleskhoz Publ., 1999. 22 p. (In Russian).
3. Kozhevnikov A. M., Kolodiy P. V. Carrying out renovation and reorganization felling in the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series I, Forestry, 1996, issue III, pp. 19–24 (In Russian).
4. Kozhevnikov A. M. Forest thinnings in Belarus: yesterday, today, tomorrow. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest management and silviculture: collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2000, issue 60, pp. 28–33 (In Russian).
5. Rozhkov L. N. *Opytnyye statsionary kafedry lesovodstva BGTU* [Experimental objects of the Department of Silviculture of BSTU]. Minsk, Yustmazh Publ., 2019. 51 p. (In Russian).
6. Labokha K. V., Grunda V. A. Experience in carrying out renovation felling in pine plantations of the Begomlsky forestry. *Lesnoye khozyaystvo: tezisy dokladov 81-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: abstracts of reports of the 81st scientific and technical conference of teaching staff, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2017, p. 27 (In Russian).
7. Shiman D. V. Experience of renovation felling in pine plantations EFHF “Braslav” State Public Enterprise NP “Braslav Lakes”. *Lesnoye khozyaystvo: tezisy dokladov 81-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry: abstracts of reports of the 81st scientific and technical conference of teaching staff, researchers and graduate students (with international participation)]. Minsk, 2017, p. 27 (In Russian).
8. Zalesov S. V., Bachurina A. V., Bachurina S. V. *Sostoyaniye lesnykh nasazhdeniy, podverzhennykh vliyaniyu promyshlennykh pollyutantov ZAO “Karabashmed”, i reaktsiya ikh komponentov na provedeniye rubok obnovleniya* [The state of forest stands subject to the influence of industrial pollutants of Karabashmed

CJSC, and the reaction of their components to renovation felling]. Ekaterinburg, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiiy universitet Publ., 2017. 278 p. (In Russian).

9. Magasumova A. G. *Lesovodstvenno-ekonomicheskaya effektivnost' rubki obnovleniya v sosnyakakh Srednego Urala. Avtoreferat dissertatsii kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Forestry and economic efficiency of renovation felling in pine forests of the Middle Urals. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Ekaterinburg, 2004. 24 p. (In Russian).

10. Aleksandrov V. V. *Lesovodstvennaya effektivnost' rubok obnovleniya i primeneniya mineral'nykh udobreniy v rekreatsionnykh sosnyakakh Srednego Urala v tselyakh povysheniya ikh ustoychivosti. Avtoreferat dissertatsii kandidata sel'skokhozyaystvennykh nauk* [Silvicultural efficiency of renovation felling and the use of mineral fertilizers in recreational pine forests of the Middle Urals in order to increase their sustainability. Abstract of thesis PhD (Agriculture)]. Ekaterinburg, 2002. 22 p. (In Russian).

11. Razhkov L. M., Laboha K. V. *Lesaznaustva i lesavodstva. Praktykum* [Forestry and silviculture. Workshop]. Minsk, BDTU Publ., 2009. 248 p. (In Belarusian).

12. Forest felling rules in the Republic of Belarus: the Resolution of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, 19.12.2016. Available at: [https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584\\_1483131600.pdf](https://pravo.by/upload/docs/op/W21631584_1483131600.pdf). (accessed 06.03.2024) (In Russian).

13. Tikhonov A. S. *Lesovodstvo* [Silviculture]. Kaluga, Grif Publ., 2005. 400 p. (In Russian).

14. *Instruktsiya po organizatsii provedeniya nesploshnykh rubok glavnogo pol'zovaniya v lesakh Respubliki Belarus'* [Instructions for organizing discontinuous felling of the main use in the forests of the Republic of Belarus]. Minsk, 1997. 72 p. (In Russian).

15. *Rekomendatsii po sovershenstvovaniyu vosproizvodstva i vyrashchivaniya osnovoy formatsii Belarusi* [Recommendations for improving the reproduction and cultivation of the pine forest of Belarus]. Minsk, BGTU Publ., 2023. 22 p. (In Russian).

16. Resolution adopted by the UN General Assembly, 25.09.2015, no. 70/1. Available at: <https://sdgs.by/wp-content/uploads/2023/11/n1529192.pdf> (accessed 04.03.2024) (In Russian).

17. About the National Coordinator for Achieving the Sustainable Development Goals: the Decree of the President of the Republic of Belarus, 25.05.2017, no. 181. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=P31700181> (accessed 04.03.2024) (In Russian).

18. *Strategicheskiiy plan razvitiya lesnogo khozyaystva Belarusi na period s 1997 po 2015 god* [Strategic plan for the development of forestry in Belarus for the period from 1997 to 2015]. Minsk, Minleskhoz Publ., 1997. 178 p. (In Russian).

19. *Strategicheskiiy plan razvitiya lesokhozyaystvennoy otrasli na period s 2015 po 2030 god* [Strategic plan for the development of the forestry industry for the period from 2015 to 2030]. Minsk, Minleskhoz Publ., 2015. 219 p. (In Russian).

20. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. The influence of long-term economic impact on changes in the forest fund. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forest management and silviculture: collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2011, issue 71, pp. 132–145 (In Russian).

21. Rozhkov L. N., Eroshkina I. F. Rating assessment of the ecological and economic component of forest plantation at the stage of “felling – reforestation”. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 1: Forestry, pp. 95–98 (In Russian).

22. Eroshkina I. F. Dynamics of the component structure of forest plantations in the conditions of modern forestry activities. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2013, no. 1: Forestry, pp. 67–69 (In Russian).

### Информация об авторах

**Прищепов Алексей Александрович** – магистр сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

**Рожков Леонид Николаевич** – доктор сельскохозяйственных наук, профессор, профессор кафедры лесоводства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: rozhkov@belstu.by

### Information about the authors

**Prishchepov Aleksey Aleksandrovich** – Master of Agriculture, assistant lecturer, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: alexey-fox94@mail.ru

**Rozhkov Leonid Nikolaevich** – DSc (Agriculture), Professor, Professor, the Department of Silviculture. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rozhkov@belstu.by

Поступила 11.03.2024

УДК 630\*182.47:630\*228.8(630\*176.321.5)

**А. В. Углынец, С. В. Шумак, Д. К. Гарбарук**

Полесский государственный радиационно-экологический заповедник

**ЗАПАС НАДЗЕМНОЙ ФИТОМАССЫ И ЦЕНОТИЧЕСКАЯ  
ХАРАКТЕРИСТИКА ЖИВОГО НАПОЧВЕННОГО ПОКРОВА  
ЧЕРНООЛЬШАНИКА СНЫТЕВОГО В ЗОНЕ ОТЧУЖДЕНИЯ  
ЧЕРНОБЫЛЬСКОЙ АТОМНОЙ ЭЛЕКТРОСТАНЦИИ**

Длительное отсутствие лесохозяйственной деятельности в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции обеспечило естественное развитие лесных фитоценозов и привело к повышению возраста древостоев. В производных от дубрав высоковозрастных насаждениях черноольшаника снытевого (*Gluninosa-Alnetum aegopodiosum*) установлена относительная бедность современного видового состава живого напочвенного покрова, его пространственная неоднородность и непостоянство во времени. Выявлены изменения встречаемости и обилия ряда видов, снижение индикаторной роли сныти обыкновенной и рост обилия нитрофильных видов. В экологической структуре живого напочвенного покрова постепенно повышается удельный вес мезофитных растений за счет снижения доли гигрофитов и мезогигрофитов, прослеживается тенденция смены требовательных к богатству почвы видов менее требовательными. Но экологический статус его остается неизменным.

Запас надземной фитомассы живого напочвенного покрова в черноольшанике снытевом составляет 607 кг/га. Большую его часть (60,3%) накапливают несколько высокорослых видов. Запас находится в тесной статистической связи с общим проективным покрытием почвы травянистыми растениями, составляющим 65%. Величины этих показателей зависят от освещенности травяного яруса, межвидовых конкурентных взаимоотношений, влияния диких копытных животных.

Изменения живого напочвенного покрова обусловлены глобальным потеплением климата, ростом засушливых явлений и последствиями широкомасштабного осушения болот в регионе в 1960–1980 гг., которые привели к устойчивому снижению влагообеспеченности почв.

**Ключевые слова:** зона отчуждения Чернобыльской АЭС, черноольшаник снытевый, живой напочвенный покров, ценотическая характеристика, надземная фитомасса.

**Для цитирования:** Углынец А. В., Шумак С. В., Гарбарук Д. К. Запас надземной фитомассы и ценотическая характеристика живого напочвенного покрова черноольшаника снытевого в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 56–66.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-7.

**A. V. Uglyanets, S. V. Shumak, D. K. Garbaruk**

Polesye State Radiation-Ecological Reserve

**THE STOCK OF ABOVEGROUND PHYTOMASS AND CENOTIC  
CHARACTERISTICS THE LIVING GROUND COVER OF THE GOUTWEED  
BLACK ALDER FOREST TYPE IN THE CHERNOBYL NUCLEAR POWER  
PLANT EXCLUSION ZONE**

The prolonged absence of forestry activities in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone ensured the natural development of forest phytocenoses and led to an increase in the age of stands. The relative poverty of the modern species composition of the living ground cover, its spatial heterogeneity and time variability have been established in the high-age stands of goutweed black alder (*Gluninosa-Alnetum aegopodiosum*) forest type derived from oak forests. Changes in the occurrence and abundance of a number of species, a decrease in the indicator role of the *Aegopodium podagraria* L. and an increase in the abundance of nitrophilic species were revealed. In the ecological structure of living ground cover, there is a gradual increase in the specific gravity of mesophytic plants due to a decrease in the proportion of hygrophytes and mesohygrophytes, there is a tendency to change species demanding soil richness to less demanding ones. But its ecological status remains unchanged.

The stock of aboveground phytomass of living ground cover in *Gluninosa-Alnetum aegopodiosum* forest type is 607 kg/ha. Most of it (60.3%) is accumulated by several tall species. The stock is in close statistical connection with the total projective soil coverage of herbaceous plants, which is 65%. The values of these indicators determine the illumination of the grass layer, interspecific competitive relationships, and the influence of wild ungulates.

Changes in the living ground cover are caused by global warming, the growth of drought events and the consequences of large-scale drainage of swamps in the region in the 1960–1980s, which led to a steady decrease in soil moisture supply.

**Keywords:** Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone, goutweed black alder forest type, living ground cover, cenotic characteristics, aboveground phytomass.

**For citation:** Uglyanets A. V., Shumak S. V., Garbaruk D. K. The stock of aboveground phytomass and cenotic characteristics the living ground cover of the goutweed Black alder forest type in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 56–66 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-7.

**Введение.** Важнейшей характеристикой растительной составляющей лесных биогеоценозов является запас фитомассы. Этот показатель лесных сообществ определяет ход обменных процессов и используется при оценках депонирующей емкости лесов, осуществлении их экологического мониторинга, разработке моделей устойчивого ведения лесного хозяйства [1].

При исследованиях фитомассы лесных насаждений обычно наибольшее внимание уделялось древесным ярусам. При этом одними из наименее изученных оказались черноольшаники (ольсы). Исследования продуктивности живого напочвенного покрова (далее – ЖНП) лесов также немногочисленны [2]. Некоторые данные по фитомассе ЖНП для отдельных типов леса черноольшаников Белорусского Полесья (далее – Полесье) приводятся в единичных работах [3, 4].

Сведения о биологических запасах ЖНП в черноольшаниках снытевых (*Gluniosa-Alnetum aegopodiosum*) Полесья отсутствуют. Следовательно, их изучение является актуальным вопросом. В связи с более высокими уровнями концентрации радионуклидов в травяно-кустарничковом покрове лесов в сравнении с древостоем и подростово-подлесочным ярусом [5] значимость такого исследования в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции (далее – ЗО ЧАЭС), совпадающей с границами Полесского государственного радиационно-экологического заповедника, возрастает. В то же время запас надземной фитомассы ЖНП сопряжен с рядом других ценоотических характеристик травяных сообществ.

Цель работы – установить основные ценоотические характеристики и запас надземной фитомассы ЖНП в черноольшанике снытевом ЗО ЧАЭС, выявить существующие между ними связи и влияющие факторы.

**Основная часть.** Изучение структуры и запаса фитомассы ЖНП в черноольшанике снытевом выполняли на 5 временных пробных площадях (далее – ВПП) размером 50×50 м, локализованных в пределах надпойменных террас долины реки Припять в ЗО ЧАЭС. Закладку их осуществляли в соответствии с методами, описанными в источниках [6, 7], расчет таксационных показателей – с использованием справочника [8].

Исследованные древостои ольхи черной высоковозрастные, высокополнотные, высокопродуктивные, преимущественно I класса бонитета с примесью березы, граба, клена, режы дуба, осины, вяза шершавого, ясеня, груши обыкновенной, суммарно не превышающей 20% состава (табл. 1), произрастающие в типе лесорастительных условий (далее – ТЛУ) Дз. Для установления ценоотических характеристик ЖНП на каждой ВПП заложили по 20 учетных площадок (далее – УП), или раункиеров, размером 1×1 м по общепринятой методике [9]. На УП выявляли видовой состав травянистых растений с использованием определителя [10], оценивали обилие каждого вида в баллах по шкале Браун-Бланке [11], измеряли высоты присутствующих растений. Для установления общего проективного покрытия (далее – ОПП) фотографировали ЖНП внутри шаблона в соответствии с методикой, изложенной в источнике [12].

Таблица 1

**Лесоводственно-таксационная характеристика древостоев**

Шифр ВПП	Состав древостоя	Возраст, лет	Средние		Класс бонитета	Количество деревьев, шт./га	Сумма площадей сечений, м <sup>2</sup> /га	Полнота	Запас, м <sup>3</sup> /га	Среднее изменение запаса, м <sup>3</sup> /га
			высота, м	диаметр, см						
Вс54-4	10Олч+Д,Гш	51	21,7	21,6	I	1016	37,0	1,05	375	7,4
Нп76-79	9Олч1Б+Д	55	21,1	22,9	II	776	31,0	0,91	314	5,7
Нп17-35	8Олч1Г1Б+Д	70	24,9	28,1	I	688	33,9	0,89	372	5,3
Бб1-20	9Олч1Кл+Д,Г,Ос,Б	73	26,6	31,2	I	604	40,4	1,04	485	6,6
Нп38-9	9Олч1Д+Б,Я,В	75	27,6	35,3	I	384	30,8	0,78	412	5,5

Отбор надземной фитомассы ЖНП производили в период максимального ее развития (в конце июля – первой декаде августа 2022 г.) на 10 УП (каждой четной) в пределах ВПП методом укосов [13]. Внутри шаблона вровень с поверхностью почвы срезали все травянистые растения и полукустарник ежевику сизую. Ежевика, не входящая в подлесочные индикаторы типа леса [14], включена в состав ЖНП в связи с ее расположением в высотном диапазоне травянистых растений.

Срезанную фитомассу разбирали по видам растений и взвешивали в свежем состоянии на электронных весах МЛ 6-II В1ЖА (Россия). Виды, на которые приходится менее 10% веса фитомассы, рекомендуется объединять в общий образец «разнотравье» [15]. Экспериментально установили, что у видов с обилием менее 2 баллов запасы фитомассы на УП не превышали указанного значения, поэтому их включали в группу «разнотравье».

В лаборатории образцы высушивали до абсолютного сухого состояния, взвешивали, рассчитывали их влажность в соответствии с источником [16] и определяли вес.

В камеральных условиях рассчитывали среднюю арифметическую высоту видов растений ЖНП ( $H_{cp}$ , см), встречаемость, как отношение числа УП с наличием видов к их количеству на ВПП и в типе леса ( $V$ , %), запас надземной фитомассы видов и разнотравья в абсолютно сухом состоянии для каждой УП, ВПП и типа леса ( $M_g$ , г/м<sup>2</sup>). По показателю обилия выделяли доминантные (3 балла) и субдоминантные (2 балла) виды растений.

Обработку снимков и определение проективного покрытия почвы ЖНП на раункиерах выполняли с использованием компьютерных программ ACDSee Photo Manager 12, Corel Draw X3 и ImageJ. Статистический анализ полученных данных производили с использованием стандартных пакетов прикладных программ Microsoft Excel 2007 и Statistica 6.0.

Из-за недостаточности признаков по причине отсутствия цветков на момент исследования два чрезвычайно редких по шкале Браун-Бланке растения (горец и фиалка) не были определены до вида, что, однако, не повлияло на выполнение анализа ценотической структуры травяного покрова.

Черноольшаники снытевые в Полесье являются производными от дубрав. В середине 1970-х гг. в составе их ЖНП произрастали 73 вида растений [17]. В 30 ЧАЭС на 5 ВПП этого типа леса выявлено 48 видов травянистых растений (табл. 2), относящихся к 41 роду, 27 семействам. Из них 47 видов принадлежит к отделу покрытосеменных и 1 вид – к папоротникообразным. Наиболее представленными оказались семейства ро-

зовые (6 видов) и ландышевые (4 вида). В каждом из остальных 25 семейств насчитывалось по 1–3 вида растений. Непосредственно на ВПП встречалось от 10 до 27 (в среднем 22) видов.

В типе леса среди них нет четко выраженных преобладающих видов ЖНП. На отдельных ВПП доминируют крапива двудомная, звездчатка ланцетолистная, зеленчук желтый, марьянник польский, ежевика сизая, щитовник шартский, копытень европейский, субдоминантами являются те же крапива двудомная, звездчатка ланцетолистная, зеленчук желтый, ежевика сизая, щитовник шартский, а также гравилат речной, герань Роберта, мятлик обыкновенный, крестовидка весенняя, осока ложносытевая, сныть обыкновенная.

За последнее время в черноольшанике снытевом произошли существенные изменения видового состава и ценотических характеристик ЖНП. Снизилось обилие и встречаемость главного индикатора типа леса – сныти обыкновенной, не встречаются кислица обыкновенная, лютик ползучий, селезеночник очереднолистный, мятлик болотный и другие, менее обильные, характерные для ольсы снытевого в Полесье виды [17]. Наблюдается постоянное, местами обильное, присутствие нитрофилов – крапивы двудомной и чистотела большого (табл. 2) [18].

В 2022 г. в составе ЖНП черноольшаника снытевого было учтено 8 из 12 общих для страны индикаторных видов [14], в числе которых только 3 современных доминанта и 2 субдоминанта. Степень включения его флоры в список видов типа леса страны [19] (индекс Симпсона) составлял 23,0%, в список видов типа леса Полесья [17] – 25,0%. Между флорами ЖНП 2020 и 2022 гг. на тех же объектах наблюдается малое сходство (коэффициент Жаккара равен 0,44), но по индексу Чекановского – Сьеренсена (0,62) оно приближается к высокому. Степень взаимного включения списков видов этих годов составляет 31%. Столь большая разница видового состава ЖНП обусловлена многолетней его флуктуацией и сезонными изменениями. Так как последние связаны с феноритмотипическим составом сообществ [20], то в нашем случае различия в видовом составе сообществ разных лет отчасти объясняются разными сроками проведения исследований: 13.05–9.06 в 2020 г. и 27.07–11.08 в 2022 г.

В 2022 г. наибольшей частотой встреч в типе леса выделялись крапива двудомная (на 62% УП), герань Роберта и ежевика сизая (по 45%). У 8 видов данный ценотический показатель располагался в пределах 25–39%, еще у 8 видов – 12–19% (в том числе у сныти 12%), у остальных 29 видов – менее 10% (табл. 2).

Таблица 2

**Ценотическая характеристика живого напочвенного покрова  
по пробным площадям и в целом для типа леса**

Наименование вида	Временная пробная площадь															Тип леса	
	Вс54-4			Нп76-79			Нп17-35			Бб1-20			Нп38-9			H <sub>ср</sub>	V
	H <sub>ср</sub>	O	V	H <sub>ср</sub>	O	V	H <sub>ср</sub>	O	V	H <sub>ср</sub>	O	V	H <sub>ср</sub>	O	V		
Крапива двудомная	81,4	1	25	78,7	1	85	37,0	1	35	56,5	2	65	102,8	3	100	71,3	62
Герань Роберта	10,0	r	5	8,7	r	75	8,8	+	45	8,6	+	60	11,0	+	40	9,4	45
Ежевика сизая	62,8	4	100	60,4	3	90	40,9	2	35	–	–	–	–	–	–	54,7	45
Зеленчук желтый	–	–	–	–	–	–	12,7	3	100	14,1	2	95	–	–	–	13,4	39
Чистотел большой	19,9	1	95	15,5	+	75	6,0	r	5	18,0	r	5	56,0	r	5	23,1	37
Майник двулистный	–	–	–	–	–	–	7,9	+	90	8,4	+	85	–	–	–	8,2	35
Гравилат речной	–	–	–	19,3	1	45	19,6	+	35	24,0	1	35	32,6	2	50	23,9	33
Звездчатка ланцетолистная	–	–	–	–	–	–	16,2	3	65	18,3	2	85	–	–	–	17,3	30
Ежевика скальная, костяника	–	–	–	–	–	–	18,8	1	60	30,7	1	75	–	–	–	24,8	27
Вербейник обыкновенный	38,2	r	25	30,8	r	20	35,0	r	10	50,3	r	15	40,7	r	65	39,0	27
Мерингия трехжилковая	5,5	r	10	10,0	r	30	5,0	r	5	5,5	r	20	7,5	+	60	6,7	25
Овсяничник гигантский	–	–	–	57,1	+	35	27,0	1	15	42,3	r	30	60,0	r	15	46,6	19
Копытень европейский	–	–	–	–	–	–	8,9	1	80	–	–	–	12,0	3	5	10,5	17
Хмель обыкновенный	–	+	75	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15
Живучка ползучая	–	–	–	–	–	–	13,1	+	40	10,3	+	30	–	–	–	11,7	14
Щитовник шартский	–	–	–	58,8	3	20	34,0	2	15	50,0	1	5	52,2	1	25	48,7	13
Ландыш майский	–	–	–	17,0	1	10	–	–	–	14,6	1	45	27,0	r	5	19,5	12
Пикульник ладанниковый	53,0	+	5	59,6	1	40	–	–	–	30,0	r	5	26,5	r	10	42,2	12
Сныть обыкновенная	–	–	–	–	–	–	22,3	2	20	14,3	r	40	–	–	–	18,3	12
Мятлик обыкновенный	15,0	r	5	30,0	2	10	17,0	1	15	79,7	+	15	98,0	2	5	47,9	10
Крестовидка весенняя	–	–	–	18	r	5	14,3	2	15	17,0	r	25	–	–	–	16,4	9
Бор развесистый	–	–	–	32,4	+	35	–	–	–	–	–	–	27,5	r	10	30,0	9
Ситник развесистый	–	–	–	53,0	+	30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	53,0	6
Вороний глаз четырехлистный	–	–	–	30,0	r	5	18,5	+	10	8,0	r	5	16,5	r	10	18,2	6
Чина весенняя	–	–	–	–	–	–	23,0	1	5	24,8	r	20	27,0	+	5	27,9	6
Осока пепельно-серая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	41,7	+	30	41,7	6
Гречишка вьюнковая	–	+	55	–	r	20	–	r	5	–	–	–	–	–	–	–	5
Марьянник польский	–	–	–	48,5	4	20	–	–	–	30,5	r	5	–	–	–	39,5	4
Чесночница черешковая	–	–	–	–	–	–	5,0	r	5	4,0	r	5	16,5	r	10	8,5	4
Касатик ложноаировый	–	–	–	82,3	+	15	–	–	–	–	–	–	–	–	–	82,3	3
Седмичник европейский	–	–	–	–	–	–	–	–	–	6,7	r	15	–	–	–	6,7	3
Осока ложносытевая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	48,5	2	10	–	–	–	48,5	2
Земляника лесная	–	–	–	6,0	+	5	12,0	1	5	–	–	–	–	–	–	9,0	2
Фиалка ср.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,0	r	10	–	–	–	15,0	2
Вероника дубравная	–	–	–	14,0	+	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14,0	2
Черда олиственная	–	–	–	14,0	+	10	–	–	–	–	–	–	–	–	–	14,0	2
Лабазник вязолистный	–	–	–	–	–	–	–	–	–	37,0	r	5	–	–	–	37,0	1
Лапчатка прямостоячая	–	–	–	16,0	+	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16,0	1
Купена многоцветковая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	18,5	r	5	–	–	–	18,5	1
Осока пузырчатая	–	–	–	35,0	+	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	35,0	1
Горец ср.	–	–	–	38,0	r	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	38,0	1
Вероника лекарственная	–	–	–	15,0	r	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	15,0	1
Вербейник монетчатый	–	–	–	3,0	r	5	–	–	–	–	–	–	–	–	–	3,0	1
Недотрога обыкновенная	–	–	–	–	–	–	10,0	r	5	–	–	–	–	–	–	10,0	1
Дремлик чемерицевидный	–	–	–	–	–	–	11,0	r	5	–	–	–	–	–	–	11,0	1
Купена душистая	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	25,0	1	5	25,0	1
Лютик ползучий	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	30,0	1	5	30,0	1
Подмаренник душистый	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	16,0	r	5	16,0	1

*Примечание.* H<sub>ср</sub> – средняя высота растения, см; O – обилие вида по шкале Браун-Бланке (r – вид чрезвычайно редок с незначительным покрытием; + – вид встречается редко, степень покрытия мала; 1 – количество особей велико, степень покрытия мала или особей мало, но покрытие большое; 2 – количество особей велико, проективное покрытие 5–25%; 3 – число особей любое, проективное покрытие 25–50%; 4 – число особей любое, проективное покрытие 50–75%); V – встречаемость растения, %.

Двумя годами ранее щитовник шартский встречался на 7 (100%) ВПП, крапива двудомная, герань Роберта, майник двулистный – на 85,7%, осока пепельно-серая – на 71,4%, мятлик обыкновенный, касатик ложноаировый, копытень европейский, купена многоцветковая, ландыш майский, мерингия трехжилковая, ситник развесистый, чистотел большой – на 57,1% [18]. Несмотря на разные методы определения встречаемости, у ряда видов ЖНП очевидны изменения ее величин.

Четкого разделения ЖНП на подъярусы в ольсе снытевом не просматривается ввиду пространственной неоднородности травяных сообществ. Отметим наличие высокорослых (средняя высота более 40 см) видов (касатик ложноаировый, крапива двудомная, ежевика сизая, ситник развесистый, щитовник шартский, мятлик обыкновенный, овсянник гигантский, осоки пепельно-серая и ложносытевая, пикульник ладанниковый), формирующих в ряде парцелл верхний подъярус.

Важнейшей характеристикой ЖНП является ОПП им почвы, которое в исследуемом типе леса весьма неоднородно. Средние его значения на ВПП (доверительные интервалы находятся в пределах выборок) колеблются в диапазоне 55–76%, характеризуются крайне малыми стандартными ошибками и достаточно высокой для подобного рода исследований точностью (3,9–7,3%).

На широкие пространственные колебания средних величин ОПП ЖНП указывают высокие коэффициенты их вариации и отношения макси-

мальных величин к минимальным (табл. 3). Тем не менее, для типа леса в целом его можно считать достаточно однородным, так как достоверные различия средних значений при уровне значимости  $p < 0,05$  установлены только между двумя ВПП, т. е. в одном случае из 10.

Среднее для типа леса ОПП ЖНП составляет 65% при низкой стандартной ошибке (2,3%) и высокой точности (3,1%). Эта величина, полученная инструментальным путем, возможно, оказалась несколько заниженной по причине некоторого нарушения естественной проекции травянистых растений на почву при удалении с УП растений подроста и подлеска.

Характеристики ЖНП под пологом леса зависят от комплекса экологических факторов, главным образом, от почвенно-грунтовых условий, влияния древесного и подростово-подлесочного ярусов через изменение освещенности и конкуренцию за экологические ресурсы [21, 22]. Низкое значение ОПП ЖНП в ольсе снытевом ЗО ЧАЭС при константных для типа леса трофности и влажности почв было обусловлено высокой плотностью и полнотой древостоев, присутствием в их составе пород с плотными кронами, прежде всего граба, клена, дуба, вяза шершавого (табл. 1), а также большой плотностью подроста (4,2–20,2 тыс. шт./га) и подлеска (2,1–22,1 тыс. шт./га) в высоковозрастных древостоях [23]. Эти ярусы значительно ухудшают световое довольствие травяного покрова, что в совокупности с межвидовыми конкурентными взаимоотношениями существенно сдерживает его развитие.

Таблица 3

**Статистические показатели общего проективного покрытия и надземной фитомассы живого напочвенного покрова по пробным площадям и в целом для типа леса**

Статистический показатель	Временная пробная площадь					Тип леса
	Вс54-4	Нп76-79	Нп17-35	Бб1-20	Нп38-9	
Общее проективное покрытие, %						
<i>n</i>	20	20	20	20	20	100
min–max	42–90	37–88	19–85	11–90	44–87	11–90
<i>Ci</i>	70–82	69–81	48–64	45–64	59–73	62–69
$M \pm m$	76 ± 2,8	75 ± 2,8	56 ± 3,9	55 ± 4,5	66 ± 3,4	65 ± 2,3
$\sigma$	12,7	12,4	17,3	19,9	15,1	17,8
<i>Cv / p</i>	16,7 / 3,9	16,5 / 4,0	30,9 / 7,1	36,2 / 7,3	22,9 / 4,5	27,4 / 3,1
Запас фитомассы, кг/га						
<i>n</i>	10	10	10	10	10	50
min–max	195–1418	420–1295	70–430	113–977	259–1808	70–1808
<i>Ci</i>	511–1087	648–1033	200–373	190–529	455–1043	499–714
$M \pm m$	799 ± 127,3	841 ± 85,1	288 ± 38,2	359 ± 75,0	749 ± 130,1	607 ± 53,6
$\sigma$	403	269	121	237	412	379
<i>Cv / p</i>	50,4 / 15,9	31,9 / 10,1	41,9 / 13,3	66,0 / 20,9	54,9 / 17,4	62,4 / 8,8

*Примечание.* *n* – количество наблюдений (УП); min и max – минимальное и максимальное значения; *Ci* – доверительный интервал на 95%-ном уровне значимости; *M* – среднееарифметическое значение;  $\pm m$  – стандартная ошибка среднего значения;  $\sigma$  – среднеквадратическое отклонение; *Cv* – коэффициент вариации, %; *p* – точность исследования.

Существенный вклад в снижение ОПП ЖНП в данном типе леса вносят дикие копытные животные. Средняя плотность населения лося в лесных угодьях Полесского заповедника составляет 8,8, косули – 12,0, дикого кабана – 4,5 особей/га [24]. К тому же все ВПП, кроме одной, расположены в районе обитания местной микропопуляции европейского зубра численностью около 200 особей. О совокупном влиянии этих животных на ЖНП свидетельствуют тропы, лежки, «купалки», в которых УП не закладывались, а также частично поеденные и механически поврежденные (вытопанные копытами) травянистые растения.

Надземная фитомасса ЖНП в ольсе снытевом определена для 17 видов сосудистых растений и разнотравья (табл. 4). Более половины ее приходится на два высокорослых растения – ежевику сизую (34,1%) и крапиву двудомную (26,2%). Из прочих видов наиболее заметный вклад в общий запас надземной фитомассы вносят щитовник шартский (6,8%), зеленчук желтый (6,4%), звездчатка ланцетолистная (4,0%), осока пепельно-серая (3,0%), мятлик обыкновенный (2,8%), гравилат речной (1,5%), чистотел большой и марьянник польский (по 1,1%). Фитомасса каждого из 8 остальных видов ЖНП не превышает 1% от общей. На группу видов «разнотравье» приходится 9,5% от суммарного ее запаса. Выше говорилось, что при определении фитомассы некоторые виды ЖНП с низким обилием на отдельных УП включали в образец «разнотравье». По этой причине величины запасов их фитомассы на ВПП и в типе леса, возможно, оказались несколько заниженными. Это, однако, не повлияло на общее ее количество.

Надземная масса ЖНП вследствие пространственной неоднородности травяного покрова в насаждениях характеризуется высокой изменчивостью частных значений на УП (70–1808 кг/га). Нижние пределы колебания ее величин являются результатом воздействия на травяной покров приведенных выше экологических факторов. Максимальная разница между средними количествами надземной фитомассы ЖНП на ВПП (доверительные интервалы в пределах выборок) достигает 2,9 раза. На высокий уровень ее изменчивости указывают и другие статистические показатели (см. табл. 3). Но недостоверность различий средних значений надземной фитомассы между всеми ВПП на 95%-ном уровне значимости говорит об ее пространственной однородности.

Средний вес абсолютно сухой надземной фитомассы ЖНП в черноольшанике снытевом ЗО ЧАЭС оценивается в  $607 \pm 54$  кг/га при вполне приемлемой точности (8,8%) проведенного исследования (см. табл. 3).

Для сравнения отметим, что ее запас в березняках чернично-орляковом и осоковом заказника «Стрельский», расположенном в 15 км северо-западнее заповедника, составляет 95 и 288 кг/га, в черноольшаниках кисличном и черничном – 664 и 275 кг/га [4]; в черноольшаниках крапивном и осоковом НП «Припятский», расположенном в 130 км северо-западнее, – 730 и 1110 кг/га [3] соответственно. Очевидно, что биологический запас надземной части ЖНП в исследуемом типе леса в некоторой мере согласуется с данными его запасов на сопредельных территориях в различных типах лиственных лесов, включая черноольховые.

Таблица 4

**Запас надземной фитомассы живого напочвенного покрова по пробным площадям и в целом для типа леса, кг/га**

Вид растения	Временная пробная площадь					Тип леса	
	Вс54-4	Нп76-79	Нп17-35	Бб1-20	Нп38-9	кг/га	%
Ежевика сизая	627,6	401,3	5,4	–	–	206,9	34,1
Крапива двудомная	50,0	146,0	10,6	102,9	484,9	158,9	26,2
Щитовник шартский	–	130,4	1,1	7,6	66,8	41,2	6,8
Зеленчук желтый	–	–	110,2	83,9	–	38,8	6,4
Звездчатка ланцетолистная	–	–	80,6	39,8	–	24,1	4,0
Осока пепельно-серая	–	–	–	–	92,6	18,5	3,0
Мятлик обыкновенный	–	42,1	–	–	43,5	17,1	2,8
Гравилат речной	–	–	–	15,6	31,8	9,5	1,5
Чистотел большой	32,9	–	–	–	–	6,6	1,1
Марьянник польский	–	32,4	–	–	–	6,5	1,1
Копытень европейский	–	–	23,3	–	7,3	6,1	1,0
Ландыш майский	–	15,0	–	8,7	–	4,7	0,8
Ежевика скальная	–	–	3,0	18,6	–	4,3	0,7
Сныть обыкновенная	–	–	12,4	–	–	2,5	0,4
Осока ложносытевая	–	–	–	11,1	–	2,2	0,4
Живучка ползучая	–	–	–	4,2	–	0,8	0,1
Герань Роберта	–	–	–	2,4	–	0,5	0,1
Разнотравье	88,4	73,4	40,2	64,4	21,5	57,6	9,5
Итого	798,9	840,5	286,8	359,2	748,4	606,8	100

В лесных насаждениях надземная фитомасса функционально связана с ОПП ЖНП. Зависимости между ними установлены для сосняков Среднего Урала [12] и широколиственного леса в Белгородской области России [25], березняков и черноольшаников заказника «Стрельский» Беларуси [4].

Связь между этими показателями для черноольшаника снытевого ЗО ЧАЭС определяли через непараметрический коэффициент ранговой корреляции Спирмена, так как обеим выборкам свойственны ненормальные распределения (табл. 5), а также с помощью регрессионного анализа.

Таблица 5

**Проверка переменных на нормальность распределения ( $n = 50$ )**

Параметр	Общее проективное покрытие	Запас
Критерий Шапиро – Уилка $W$	0,93	0,94
Уровень значимости $p$ , %	0,008	0,022

Установлена сильная высоко значимая (по Чеддоку) корреляционная зависимость ( $r = 0,770$ ;  $p < 0,001$ ) фитомассы ЖНП в абсолютно сухом состоянии от ОПП. Функциональную связь между ними на 64%-ном уровне значимости аппроксимирует уравнение экспоненциальной кривой:

$$M_g = 7,26 \times \exp^{(0,03 \times \text{ОПП})},$$

где  $M_g$  – запас надземной фитомассы, г/м<sup>2</sup>; ОПП – общее проективное покрытие почвы, %.

Адекватность данной функции подтверждается статистически значимыми отличиями от 0 ( $p < 0,05$ ) обоих коэффициентов регрессии.

Статистические показатели биологической продуктивности надземной части ЖНП (табл. 3) свидетельствуют о высоком ее потенциале в данном типе леса. Величина запаса фитомассы травяного покрова, как и ОПП, в лесных экосистемах явление непостоянное. Эти показатели флуктуируют по годам и в значительной степени зависят от погодных условий (температуры и осадков) предыдущего года и текущего вегетационного периода [20, 26]. Так как климат определяет распространение видов и рост организмов [27], то показатели тепло- и особенно влагообеспеченности территории влияют на преимущественное развитие тех или иных видов растений ЖНП и интенсивность накопления ими органического вещества.

На фоне глобального потепления климата, роста частоты и глубины засух на юго-востоке Полесья [28] и с учетом современной тенденции повышения температуры воздуха при неустойчивом количестве осадков в ЗО ЧАЭС [29] предшествующий год и текущий вегетационный сезон характеризовались более низким увлажнением территории в сравнении с предыдущими

периодами (табл. 6). Этот фактор определенно сдерживал развитие ЖНП в ольсе снытевом в 2022 г., что, вероятно, выразилось в снижении величины запаса его надземной фитомассы.

Таблица 6

**Показатели тепло- и влагообеспеченности территории ЗО АЭС**

Год, период	Средняя температура воздуха, °С	Количество осадков, мм	Коэффициент увлажнения по Иванову
1997–2012*	7,8	609,0	0,8–1,3
2016–2020*	9,0	586,1	0,86
2020*	10,0	622,0	0,91
2021*	8,2	519,1	0,75
VII 2021–VII 2022**	8,2	569,6	0,70
IV–VII 2022**	15,0	275,8	0,58

*Примечание.* По данным метеостанций Масаны\* и Брагин\*\*.

Каждый вид растения обладает специфической требовательностью по отношению к экологическим факторам среды. В насаждениях конкретного типа леса с индивидуальными таксационными показателями древостоев, подлеска и подростов видовой состав ЖНП определяют, прежде всего, условия трофности и влажности почв, в значительной мере – уровни освещенности, зависящие от характеристик расположенных выше него ярусов растительности.

В насаждениях черноольшаника снытевого, приуроченных к перегнойно-глеевым сырым и мокрым почвам [17, 19], наибольшее распространение получили мезотрофные виды растений (64,5%) при значительной доле эвтрофов (29,2%) и незначительной доле олиго- (4,2%) и мезоэвтрофов (2,1%). Среди гигроморф преобладают мезофиты (62,5%), 12,5% видов представлены гигрофитами, четверть – переходными экоморфами. Близкое распределение видов по экологическим группам наблюдалось и в 2020 г. Сравнение современной экологической структуры флоры ЖНП этого типа леса со структурой полувековой давности указывает на тенденцию роста удельного веса олиго- и мезотрофных видов и сокращения эвтрофных, а также на значительное увеличение доли мезофитов на фоне снижения гигро- и мезогигрофитов (табл. 7). При этом экологический статус ЖНП (эвтрофно-мезотрофный, мезофитный) за более чем 50 лет не изменился.

Изменения ценологических показателей ЖНП в черноольшанике снытевом ЗО ЧАЭС носят направленный характер и обусловлены влиянием комплекса экологических факторов. Важнейшими

из них являются глобальное потепление и рост засушливости климата региона. Следствием их воздействия в лесах Беларуси стало снижение уровня грунтовых вод, уменьшение влагообеспеченности первых весенних месяцев и недостаток влаги летом [30]. В насаждениях черноольшаника снытевого ЗО ЧАЭС эти изменения были усилены последствиями широкомасштабных гидротехнических мелиораций болот в 1960–1980 гг., обеспечивших устойчивое глубокое опускание грунтовых вод [31] и уменьшение влажности верхних слоев почв, что в итоге определило тенденцию ксерофилизации видового состава ЖНП, отражившуюся на его ценологических характеристиках.

Таблица 7

**Распределение видов по экологическим группам**

Экологические группы растений	Беларусь по [19]	Полесье по [17]	ЗО ЧАЭС	
			2020 [18]	2022
По трофности почв				
Олиготрофы	–	–	2,1	4,2
Мезотрофы	51,3	63,7	67,3	64,5
Мезоэвтрофы	10,3	–	–	2,1
Эвтрофы	38,4	36,3	30,6	29,2
По увлажнению				
Мезофиты	41,0	38,9	67,4	62,5
Мезогигрофиты	23,1	27,8	12,2	14,6
Гигромезофиты	10,3	11,1	10,2	10,4
Гигрофиты	25,6	22,2	10,2	12,5

**Заключение.** В высоковозрастных черноольшаниках снытевых в ЗО ЧАЭС современный видовой состав ЖНП относительно беден, пространственно неоднороден и непостоянен во времени. Вектор изменения его экологической структуры направлен в сторону повышения доли мезофитов за счет снижения гигро- и мезогигрофитов при тенденции замены требовательных к трофности почвы видов менее требовательными. Тем не менее эвтрофно-мезотрофный, мезофитный экологический статус ЖНП не меняется уже более чем полвека.

Запас надземной фитомассы ЖНП составляет 607 кг/га и находится в тесной статистической зависимости с ОПП. Большую его часть формируют несколько высокорослых, часто встречающихся, с высоким обилием видов.

Запас надземной фитомассы и ЖНП в типе леса зависит от уровня его освещенности, определяемого характеристиками вышерасположенных ярусов насаждений, межвидовых конкурентных взаимоотношений, степени влияния диких копытных животных, погоднo-климатических условий.

Многолетние изменения ценологических характеристик ЖНП определены глобальным потеплением, повышением региональной засушливости климата, последствиями широкомасштабного осушения болот в дочернобыльское время, вызванными устойчивое опускание уровней грунтовых вод и снижение влагообеспеченности почв.

**Список литературы**

1. Усольцев В. А. Биологическая продуктивность лесов Северной Евразии: методы, база данных и ее приложения. Екатеринбург: УрО РАН, 2007. 636 с.
2. Шумак С. В., Гарбарук Д. К. Краткий ретроспективный обзор исследований биологической продуктивности лесных биоценозов // Труды Березинского биосферного заповедника. 2022. Вып. 17: Особо охраняемые природные территории Беларуси. Исследования. С. 214–224.
3. Экспериментальные исследования ландшафтов Припятского заповедника / А. В. Бойко [и др.]. Минск: Наука и техника, 1976. 304 с.
4. Пехота А. П., Мижуя С. М., Бруй Д. В. Продуктивность живого напочвенного покрова лиственных лесов республиканского заказника «Стрельский» // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2021. Вып. 81. С. 274–281.
5. 30 лет чернобыльской аварии: итоги и перспективы преодоления ее последствий: Нац. докл. Респ. Беларусь. Минск: Ин-т радиологии, 2016. 116 с.
6. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесная пром-сть, 1982. 561 с.
7. Справочник таксатора / В. С. Мирошников [и др.]. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.
8. Таксационно-лесостроительный справочник / М. В. Кузьменков [и др.]. Минск: Лесное и охотничье хоз-во, 2019. 335 с.
9. Воронов А. Г. Геоботаника. М.: Высш. шк., 1973. 384 с.
10. Определитель высших растений Беларуси / Т. И. Сауткина [и др.]. Минск: Дизайн ПРО, 1999. 472 с.
11. Браун Д. Методы исследования и учета растительности. М.: Изд-во иностр. лит., 1957. 316 с.
12. Фитомасса живого напочвенного покрова в сосняках зеленой зоны г. Екатеринбурга / И. Л. Трофимова [и др.] // Современные проблемы науки и образования. 2014. № 1. С. 391. URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12075> (дата обращения: 21.11.2023).
13. Родин Л. Е., Ремезов Н. П., Базилевич Н. И. Методические указания к изучению динамики и биологического круговорота в фитоценозах. Ленинград: Наука, 1967. 145 с.
14. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесостроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 120 с.

15. Методы изучения биологического круговорота в различных природных зонах / Н. И. Базилевич [и др.]. М.: Мысль, 1978. 184 с.
16. Основы фитомониторинга / Н. П. Бунькова [и др.]. Екатеринбург: Урал. гос. лесотехн. ун-т, 2020. 90 с.
17. Юркевич И. Д., Ловчий Н. Ф., Гельтман В. С. Леса Белорусского Полесья (геоботанические исследования). Минск: Наука и техника, 1977. 288 с.
18. Шумак С. В., Углянец А. В. Современный живой напочвенный покров в черноольшаниках Полесского государственного радиационно-экологического заповедника // Изв. Гомел. гос. ун-та им. Ф. Скорины. Естественные науки. 2022. № 6 (135). С. 66–71.
19. Юркевич И. Д., Гельтман В. С., Ловчий Н. Ф. Типы и ассоциации черноольховых лесов (по исследованиям в БССР). Минск: Наука и техника, 1968. 376 с.
20. Николаева С. А., Климова Н. В. Сезонная динамика травяного яруса лиственно-сосновых травяных сообществ в пригородных лесах г. Томска // Вестн. Томского гос. ун-та. Биология. 2010. № 1 (9). С. 78–92.
21. Лебедева В. Х., Тиходеева М. Ю., Ипатов В. С. Влияние древесного полога на виды напочвенного покрова в ельнике чернично-зеленомошном // Ботанический журнал. 2005. Т. 90, № 3. С. 400–410.
22. Банникова И. А. Влияние древесной и кустарниковой растительности на развитие нижних ярусов лесных биогеоценозов. М.: Наука, 1967. 103 с.
23. Кудин М. В., Углянец А. В., Гарбарук Д. К. Предварительное естественное возобновление леса в высоковозрастных черноольшаниках зоны отчуждения Чернобыльской АЭС // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2 (198). С. 64–72.
24. Биологическое разнообразие животного мира Полесского государственного радиационно-экологического заповедника / М. Е. Никифоров [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2022. 407 с.
25. Ипатов В. С. О корреляции между проективным покрытием и весом травянистых растений // Ботанический журнал. 1962. Т. XLVII. С. 991–992.
26. Жуйкова В. А., Жуйкова Т. В., Мелинг Э. В. Изучение надземной фитомассы луговых сообществ при сочетанном действии химического загрязнения и погодно-климатических факторов // Антропогенная трансформация природной среды: материалы Междунар. конф., Пермь, 18–21 окт. 2010 г. Пермь, 2010. Т. 1. Ч. 1. С. 287–293.
27. Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems / F. I. Pugnaire [et al.] // Science Advances. 2019. No. 5. P. 1834. DOI: 10.1126/sciadv.aaz1834.
28. 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.
29. Марченко Ю. Д. Особенности изменения погодно-климатических условий в ближней зоне Чернобыльской АЭС // Проблемы и перспективы развития территорий, пострадавших в результате катастрофы на Чернобыльской АЭС, на современном этапе: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Хойники, 26–27 июл. 2018 г. Минск, 2018. С. 217–221.
30. Стратегия адаптации лесного хозяйства Республики Беларусь к изменению климата на период до 2050 года. Минск, 2011. 119 с.
31. Углянец А. В., Гарбарук Д. К., Шумак С. В. Продуктивность высоковозрастных древостоев ольхи черной в заповедной зоне Полесского заповедника // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2021. Вып. 81. С. 83–90.

### References

1. Usol'tsev V. A. *Biologicheskaya produktivnost' lesov Severnoy Evrazii: metody, baza dannykh i eye prilozheniya* [Biological productivity of Northern Eurasia's forests: methods, database, applications]. Yekaterinburg, UrO RAN Publ., 2007. 636 p. (In Russian).
2. Shumak S. V., Garbaruk D. K. A brief retrospective review of the research biological productivity of forest biocenoses. *Trudy Berezinskogo biosfernogo zapovednika* [Proceedings of the Berezinski Biosphere Reserve], 2022, issue 17: Specially Protected Natural Areas of Belarus. Studies, pp. 214–224 (In Russian).
3. Boiko A. V., Smol'skii N. V., Sidorovich E. A., Evsievich K. M., Loznukho I. V., Arabei N. M., Kirkovskii K. K., Surovaya T. P., Schastnyy A. K. *Ekspierimental'nyye issledovaniya landshaftov Pripyatskogo zapovednika* [Experimental studies of landscapes of the Pripyatsky Reserve]. Minsk, Nauka i Tekhnika Publ., 1976. 304 p. (In Russian).
4. Pekhota A. P., Mizhuy S. M., Bruy D. V. Biological productivity of deciduous forests of the Republican Reserve "Strel'sky". *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', 2021, issue 81, pp. 274–281 (In Russian).

5. *30 let chernobyl'skoy avarii: itogi i perspektivy preodoleniya eye posledstviy: Natsional'nyy doklad Respubliki Belarus'* [30 Years of the Chernobyl Accident: Results and Prospects for Overcoming its Consequences: National Report of the Republic of Belarus]. Minsk, Institut radiologii Publ., 2016. 116 p. (In Russian).

6. Anuchin N. P. *Lesnaya taksatsiya* [Forest Taxation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1982. 561 p. (In Russian).

7. Mirosnikov V. S., Trull' O. A., Ermakov V. E., Dol'skiy L. V., Kostenko A. G. *Spravochnik taksatora* [A guide for forest taxator]. Minsk, Uradzhay Publ., 1980. 360 p. (In Russian).

8. Kuz'menkov M. V., Kulagin A. P., Tarkan A. V., Buzunovskiy R. S. *Taksatsionno-lesoustroitel'nyy spravochnik* [Taxation and forest inventory guide]. Minsk, Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo Publ., 2019. 335 p. (In Russian).

9. Voronov A. G. *Geobotanika* [Geobotany]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1973. 384 p. (In Russian).

10. Sautkina T. I., Tret'yakov D. I., Zubrevich G. I., Kozlovskaya N. V., Parfenov V. I., Blazhevich R. Yu., Skuratovich A. N., Dmitrieva S. A., Semerenko L. V., Simonovich L. G., Shvets I. V., Mlynarchik M. P., Yakovleva I. M., Vynaev G. V., Dzhus M. A., Tikhomirov V. N., Dubovik D. V., Mazan I. F., Pobirushko V. F. *Opredelitel' vysshikh rasteniy Belarusi* [The definitive guide to the higher plants of Belarus]. Minsk, Dizayn PRO Publ., 1999. 472 p. (In Russian).

11. Braun D. *Metody issledovaniya i ucheta rastitel'nosti* [Methods of surveying and measuring vegetation]. Moscow, Izdatel'stvo inostrannoy literatury Publ., 1957. 316 p. (In Russian).

12. Trofimova I. L., Shevelina I. V., Nagimov Z. Ya., Alieva T. M. Phytomass of alive ground cover in pine forests of green space of Yekaterinburg. Available at: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=12075.html> (accessed 21.11.2023) (In Russian).

13. Rodin L. E., Remezov N. P., Bazilevich N. I. *Metodicheskiye ukazaniya k izucheniyu dinamiki i biologicheskogo krugovorota v fitotsenozakh* [Methodological guidelines for the study of the dynamics and biological cycle in phytocenoses]. Leningrad, Nauka Publ., 1967. 145 p. (In Russian).

14. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types in forest managements operations]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 120 p. (In Russian).

15. Bazilevich N. I., Titlyanova A. A., Smirnov V. V., Rodin L. E., Nechaeva N. T., Levin F. I. *Metody izucheniya biologicheskogo krugovorota v razlichnykh prirodnykh zonakh* [Methods of studying the biological cycle in various natural areas]. Moscow, Mysl' Publ., 1978. 184 p. (In Russian).

16. Bun'kova N. P., Zalesov S. V., Zalesova E. S., Magasumova A. G., Osipenko R. A. *Osnovy fitomonitoringa* [Fundamentals of phytomonitoring]. Yekaterinburg, Ural'skiy gosudarstvennyy lesotekhnicheskiy universitet Publ., 2020. 90 p. (In Russian).

17. Yurkevich I. D., Lovchiy N. F., Gel'tman V. S. *Lesy Belorusskogo Poles'ya (geobotanicheskiye issledovaniya)* [Forests of the Belarusian Polesye (Geobotanical research)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1977. 288 p. (In Russian).

18. Shumak S. V., Uglyanets A. V. Modern living ground cover in black alder forests of the Polesky State Radiation and Ecological Reserve. *Izvestiya Gomel'skogo gosudarstvennogo univesiteta imeni F. Skoriny. Yestestvennyye nauki* [Proceedings of Francisk Skorina Gomel State University. Natural sciences], 2022, no. 6 (135), pp. 66–71 (In Russian).

19. Yurkevich I. D., Gel'tman V. S., Lovchiy N. F. *Tipy i assotsiatsii chernool'khovykh lesov (po issledovaniyam v BSSR)* [Types and associations of black alder forests (Following the BSSR research)]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1968. 376 p. (In Russian).

20. Nikolaeva S. A., Klimova N. V. Seasonal dynamics of herbaceous storey in deciduous-pine communities of forests near Tomsk. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo universiteta. Biologiya* [Bulletin of the Tomsk State University. Biology], 2010, no. 1 (9), pp. 78–92 (In Russian).

21. Lebedeva V. Kh., Tikhodeeva M. Yu., Ipatov V. S. Influence of tree canopy on ground cover species in bilberrymoss spruce forests. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 2005, vol. 90, no. 3, pp. 400–410 (In Russian).

22. Bannikova I. A. *Vliyaniye drevesnoy i kustarnikovoy rastitel'nosti na razvitiye nizhnikh yarusov lesnykh biogeotsenozov* [Influence of tree and shrub vegetation on the development of lower tiers of forest biogeocenoses]. Moscow, Nauka Publ., 1967. 103 p. (In Russian).

23. Kudin M. V., Uglyanets A. V., Garbaruk D. K. Preliminary natural forest regeneration in overgrown black alder stands of the Chernobyl exclusion zone. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2 (198), pp. 64–72 (In Russian).

24. Nikiforov M. E., Anisimova E. I., Gomel' K. V., Dombrovskiy V. Ch., Zhuravlev D. V., Ivantsov D. N., Krishchuk I. A., Kulak A. V., Lukashevich V. N., Novitskiy R. V., Rizevskiy V. K., Samusenko I. E., Solovey I. A., Kheydorova E. E., Shakun V. V., Yurko V. V., Yurchenko I. S., Yatsukhno V. M. *Biologicheskoye raznoobraziye zhivotnogo mira Poleskogo gosudarstvennogo radiatsionno-ekologicheskogo zapovednika* [Biological diversity of fauna of Polesky State Radiation-Ecological Reserve]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2022. 407 p. (In Russian).

25. Ipatov V. S. On the correlation between projective cover and weight of herbaceous plants. *Botanicheskiy zhurnal* [Botanical journal], 1962, vol. XLVII, pp. 991–992 (In Russian).

26. Zhuykova V. A., Zhuykova T. V., Meling E. V. Study of aboveground phytomass of meadow communities under combined action of chemical pollution and weather-climatic factors. *Antropogennaya transformatsiya prirodnoy sredy: materialy mezhdunarodnoy konferentsii* [Anthropogenic transformation of the natural environment: proceedings of the international conference]. Perm, 2010, vol. 1, part 1, pp. 287–293 (In Russian).

27. Pugnaire F. I., Morillo J. A., Pecuelas J., Reich P. B., Bardgett R. D., Gaxiola A., Wardle D. A., Putten W. H. Climate change effects on plant-soil feedbacks and consequences for biodiversity and functioning of terrestrial ecosystems. *Science Advances*, 2019, no. 5, p. 1834. DOI: 10.1126/sciadv.aaz1834.

28. 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 (In Russian).

29. Marchenko Yu. D. Features of natural and climatic conditions change in the belarusian sector of Chernobyl NPP exclusion zone. *Problemy i perspektivy razvitiya territoriy, postradavshikh v rezul'tate katastrofy na Chernobyl'skoy AES, na sovremennom etape: materialy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Problems and prospects of development of the territories affected by the Chernobyl NPP catastrophe at the present stage: materials of the international scientific and practical conference]. Minsk, 2018, pp. 217–221 (In Russian).

30. *Strategiya adaptatsii lesnogo khozyaystva Respubliki Belarus' k izmeneniyu klimata na period do 2050 goda* [Strategy of adaptation of forestry of the Republic of Belarus to climate change for the period up to 2050]. Minsk, 2011. 119 p. (In Russian).

31. Uglyanets A. V., Garbaruk D. K., Shumak S. V. Productivity of old black alder plantations in the protected area of the Polesky State Radiation-Ecological Reserve. *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', 2021, issue 81, pp. 83–90 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Углынец Анатолий Владимирович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, ведущий научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: uhlianets@mail.ru

**Шумак Светлана Васильевна** – магистр сельскохозяйственных наук, младший научный сотрудник отдела экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: shumaksvetlana@mail.ru

**Гарбарук Дмитрий Константинович** – заведующий отделом экологии растительных комплексов. Полесский государственный радиационно-экологический заповедник (247618, г. Хойники, ул. Терешковой, 7, Республика Беларусь). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

#### Information about the authors

**Uglyanets Anatoliy Vladimirovich** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Leading Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoiniki, Republic of Belarus). E-mail: uhlianets@mail.ru

**Shumak Svetlana Vasilyevna** – Master of Agriculture Sciences, Junior Researcher, the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoiniki, Republic of Belarus). E-mail: shumaksvetlana@mail.ru

**Garbaruk Dmitriy Konstantinovich** – Head of the Department of Ecology of Vegetative Complexes. Polesye State Radiation-Ecological Reserve (7, Tereshkova str., 247618, Khoiniki, Republic of Belarus). E-mail: dima.garbaruk.77@mail.ru

Поступила 15.03.2024

# ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING

---

УДК 630\*232.216

**M. Alam, V. V. Nosnikov**  
Belarusian State Technological University

## FEATURES OF MOISTURE RETENTION IN SOIL USING A WETTING AGENT FOR FOREST RESTORATION PURPOSES IN LEBANON

This study delves into the pivotal role of wetting agents in bolstering soil moisture retention capabilities, a critical factor for enhancing reforestation efforts in Lebanon's arid and semi-arid regions. Amid escalating climate change impacts, characterized by rising temperatures and dwindling precipitation levels, Lebanon's reforestation initiatives face significant challenges. This research provides a comprehensive analysis of various wetting agents' effectiveness in improving soil water retention, aiming to mitigate drought stress on newly planted seedlings. Through rigorous laboratory experiments and field trials, we evaluated the impact of different concentrations of wetting agents on soil moisture dynamics under controlled and natural conditions. The findings reveal that specific wetting agent formulations significantly increase soil's moisture holding capacity, thereby reducing irrigation frequency and enhancing seedling survivability and growth. This study not only identifies the optimal wetting agent concentrations for maximum soil moisture enhancement but also offers practical recommendations for their application in reforestation projects. By integrating wetting agents into reforestation practices, this research contributes to the development of more resilient forest ecosystems in Lebanon, providing a scalable solution to combat the adverse effects of climate change on forest regeneration efforts.

**Keywords:** wetting agent, forest plantation, soil moisture, soil-water filtration.

**For citation:** Alam M., Nosnikov V. V. Features of moisture retention in soil using a wetting agent for forest restoration purposes in Lebanon. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 67–75.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-8.

**М. Алам, В. В. Носников**  
Белорусский государственный технологический университет

## ОСОБЕННОСТИ УДЕРЖАНИЯ ВЛАГИ В ПОЧВЕ С ПОМОЩЬЮ СМАЧИВАЮЩЕГО АГЕНТА ДЛЯ ЦЕЛЕЙ ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЯ В ЛИВАНЕ

В этом исследовании рассматривается ключевая роль смачивающих агентов в повышении способности почвы удерживать влагу, что является критическим фактором для активизации усилий по восстановлению лесов в засушливых и полузасушливых регионах Ливана. На фоне нарастающих последствий изменения климата, характеризующегося повышением температуры и уменьшением количества осадков, мероприятия Ливана по восстановлению лесов сталкиваются со значительными проблемами. Данное исследование представляет собой анализ эффективности различных смачивающих агентов с целью улучшения удержания влаги в почве для смягчения стресса от засухи у недавно высаженных сеянцев. С помощью лабораторных экспериментов и полевых испытаний мы оценили влияние различных концентраций смачивающих агентов на динамику влажности почвы в контролируемых и естественных условиях. Результаты показывают, что специальные составы смачивающих агентов значительно увеличивают влагоудерживающую способность почвы, тем самым снижая частоту поливов и повышая выживаемость и рост саженцев. Данное исследование не только определяет оптимальные концентрации смачивателей для максимального повышения влагоудерживающей способности почвы, но и предлагает практические рекомендации по их применению в проектах лесовосстановления. Внедрение смачивающих агентов в практику лесовосстановления способствует развитию более устойчивых лесных экосистем в Ливане, обеспечивая эффективное решение для борьбы с неблагоприятными последствиями изменения климата.

**Ключевые слова:** смачиватель, лесные насаждения, влажность почвы, фильтрация воды.

**Для цитирования:** Алам М., Носников В. В. Особенности удержания влаги в почве с помощью смачивающего агента для целей лесовосстановления в Ливане // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 67–75 (На англ.). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-8.

**Introduction.** Lebanon's forests are in a critical state, grappling with a myriad of environmental challenges that are intensified by climate change. These include severe droughts, rising temperatures, and substantial soil degradation, all of which significantly threaten the survival and growth of both native and reforested plant species. Such adverse conditions are particularly problematic for Lebanon's ambitious reforestation and afforestation initiatives, which aim to combat land degradation and restore forest cover [1]. The efficiency of traditional reforestation techniques is notably diminished in arid environments, prompting the need for innovative approaches to soil moisture management. These approaches are essential to improve seedling survivability and growth. This study seeks to address the research gap concerning the use of wetting agents – a type of substance aimed at enhancing water infiltration and retention in soils – as a viable method to improve soil moisture content in areas undergoing reforestation. Although wetting agents have proven beneficial in agricultural and horticultural applications for improving water use efficiency, their potential benefits for reforestation efforts in semi-arid environments like Lebanon have not been fully explored. Through evaluating the efficacy of various wetting agents in improving soil moisture retention, this research aims to provide valuable insights into sustainable reforestation practices that can better withstand the impacts of climate change. This work aspires to deliver practical guidelines for the optimal selection and application of wetting agents in reforestation projects, thereby significantly reducing water stress on young trees and enhancing the success rates of reforestation in Lebanon and other Mediterranean ecosystems [2, 3].

The forests of Lebanon, once a symbol of greenery and natural wealth, have been facing unprecedented challenges over the past decades. Climate change, characterized by rising temperatures and decreasing precipitation, has exacerbated the vulnerability of these ecosystems to drought, contributing to the degradation of soil quality and the decline in forest cover [1]. This environmental crisis poses a significant threat not only to the biodiversity of Lebanon but also to its socio-economic stability, as forests play a crucial role in water regulation, carbon sequestration, and the provision of livelihoods for local communities.

Historically, Lebanon was famed for its lush cedar forests, which have not only been a source of national pride but also of significant ecological

importance. However, relentless human activities, including deforestation for agriculture, urban expansion, and overgrazing, compounded by natural disasters such as wildfires, have led to a drastic reduction in forested areas. From the Phoenician era, where cedars were exported for shipbuilding, to the present day, Lebanon's forests have decreased to a fraction of their original extent [2–7]. It is estimated that the backwoods covers only around 13% of Lebanon's total surface [8].

Recent studies in the 21st century have highlighted the significant impact of climatic changes and habitat loss on biodiversity [9, 10]. These changes are increasingly affecting woodland and forest ecosystems [11–17]. Notably, there has been a significant decline in dieback numbers and growth rates, which have been associated with seasonal and extreme variations in climate, including reduced precipitation and increased temperatures over prolonged periods [13, 14, 17, 18]. This decline is evident across various studies [10–12, 16, 19–22].

In response to these challenges, Lebanon has launched several reforestation initiatives aimed at restoring its green cover. Despite these efforts, the success rates of these initiatives have been limited by the harsh climatic conditions, underscoring the need for innovative approaches to ensure the survival and growth of newly planted seedlings [3]. Among the strategies being explored is the use of wetting agents, substances known to improve water infiltration and retention in the soil. These agents offer a promising solution to enhance soil moisture content, potentially increasing the efficacy of reforestation efforts in arid and semi-arid environments like Lebanon's.

This study aims to investigate the potential of wetting agents in mitigating the effects of soil moisture deficiency on reforestation success. By improving our understanding of how these substances can be effectively applied in the context of Lebanon's reforestation projects, we hope to contribute valuable insights towards sustainable forest management and conservation practices. In doing so, we not only aim to restore Lebanon's forested landscapes but also to enhance their resilience against the ongoing challenges posed by climate change.

**Main part.** In this study, we delve into the investigation of the efficacy of wetting agents in enhancing water retention capacity across five distinct soil compositions, each representing a unique substrate type. Soil 1, characterized as heavy loam, typically exhibits high water retention due to its fine

texture and organic matter content. Through the application of wetting agents, we aim to assess whether this inherent water-holding capacity can be further optimized for improved seedling growth and survival. Soil 2, identified as light loam, and Soil 4, another variant of light loam, offer contrasting characteristics, with varying degrees of water retention potential. By incorporating wetting agents into these soil types, we seek to determine their effectiveness in mitigating potential water stress and promoting favorable conditions for seedling establishment. In contrast, Soil 3, composed of sand, presents inherent challenges in water retention due to its coarse texture and rapid drainage properties. Our investigation focuses on evaluating the capacity of wetting agents to enhance moisture retention in this substrate, potentially mitigating the adverse effects of water scarcity on seedling growth. Soil 5, categorized as medium loam, provides an intermediate substrate with moderate water retention capabilities. Through our experimentation with wetting agents in this soil type, we aim to elucidate whether additional amendments can further optimize moisture levels, thereby facilitating optimal conditions for seedling development. By systematically evaluating the impact of wetting agents across these diverse soil compositions, we aspire to uncover valuable insights into their role in enhancing water retention capacity and ultimately fostering resilient vegetation in various environmental contexts.

In conducting the experiment, we adopted a method where the soil samples were placed in tubes with volumes varying between 50 to 100 ml. Although a full range from 0 to 100 ml would ideally provide a more extensive data set, for efficiency, the range was limited to 50 to 100 ml. Upon initializing the experiment, water was evenly distributed atop the soil to maintain a constant height of 1 cm above the soil surface. This setup aimed to simulate a consistent rainfall event, allowing us to monitor the soil's absorption rate and water movement through the profile. Critical to our methodology was the recording of the time and volume of water required for the water level to reach the designated 100 ml mark in the tube, signifying the initiation of filtration through the soil. Subsequent to reaching this milestone, additional water was added as needed to sustain the 1 cm water level above the soil, continuing until the first droplet of water exited the tube, marking the commencement of drainage. This phase was monitored for an additional 10 minutes to measure the volume of water that effectively permeated the soil and was collected in the beaker below, alongside the total volume of water introduced into the system throughout the experiment.

The systematic approach to measuring both the time to reach the initial 100 ml filtration mark and the volume of water collected post-filtration

provides a robust framework for evaluating the soil's water handling characteristics. These measurements offer invaluable insights into the soil types most conducive to reforestation efforts, particularly in arid and semi-arid regions where water conservation and efficient use are paramount. Our findings are poised to inform targeted reforestation practices, ensuring that seedlings receive the moisture necessary for optimal growth while minimizing water waste, thus enhancing the sustainability and success of reforestation projects under varying climatic conditions.

The results depicted in Fig. 1 illuminate the distinct water retention characteristics of various soil samples, with a particular emphasis on Soil 5's performance in the absence of any wetting agent.

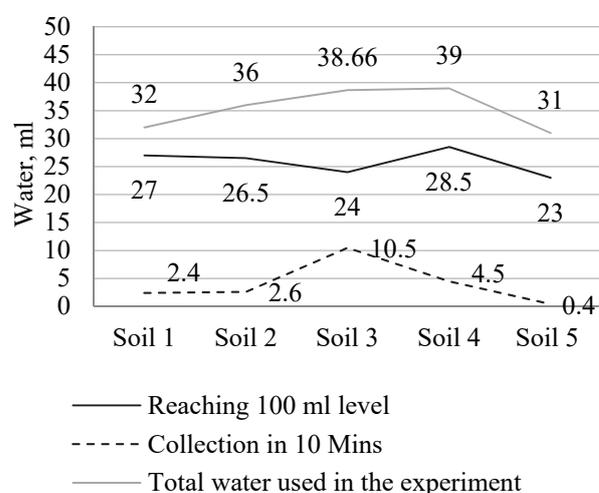


Fig. 1. Water retention and total water used with 0 g wetting agent across the 5 soils

This soil type demonstrated remarkable efficiency in water management: it necessitated only 23 ml of water to achieve a saturation level of 100 ml, underscoring its effective filtration and retention capacities. Furthermore, Soil 5 required a mere total of 31 ml of water throughout the duration of the experiment, marking it as the most water-efficient soil among those tested. This observation suggests that Soil 5 possesses an inherent capability to maintain moisture levels over extended periods, even without the assistance of wetting agents, thereby showcasing its potential suitability for reforestation projects in environments where water conservation is crucial.

Fig. 2 demonstrates that Soil 5 exhibited the lowest percentage of total water utilized during the testing phase.

Further examination, as illustrated in Fig. 3, confirms that Soil 5 also had the most minimal filtration rate among all tested soils. This evidence further solidifies the assertion that Soil 5 outperforms its counterparts in water retention and efficiency, especially in scenarios devoid of wetting agents.

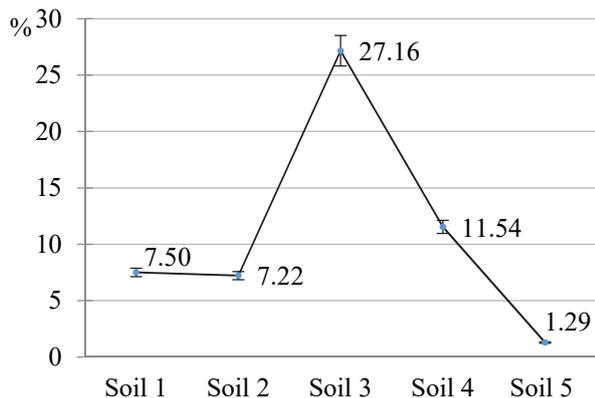


Fig. 2. Percentage of water collected during 10 min across the 5 soils with 0 g of wetting agent

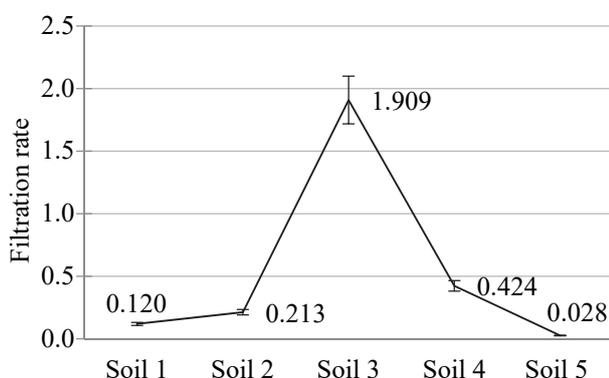


Fig. 3. Filtration rate across the 5 soils with 0 g of wetting agent

Such findings suggest Soil 5’s superior adaptability and sustainability for reforestation projects aiming for water conservation in the absence of soil moisture enhancers.

In the analysis presented in Fig. 4, Soil 2 demonstrated a remarkable ability to conserve moisture when treated with 0.1 g of a wetting agent, showcasing the least moisture release over a ten-minute observation period. Although Soil 2 required 25 ml to saturate up to the 100 ml level, it was not the most water-efficient soil.

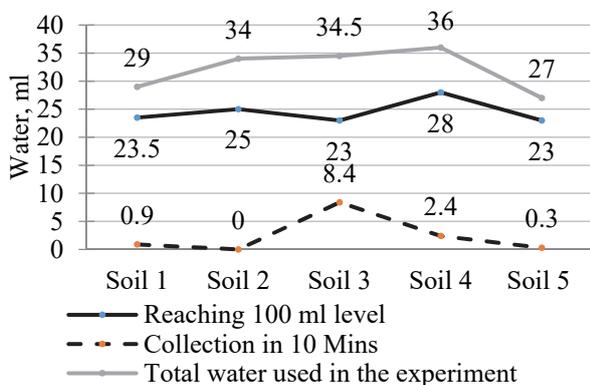


Fig. 4. Water retention and total water used with 0.1 g wetting agent across the 5 soils

This distinction went to Soil 3, which, despite using the least water to reach saturation, released the most moisture (8.4 ml) in the same duration, indicating poorer water retention capabilities.

Contrastingly, Soil 5’s performance, with a modest wetting agent application of 0.1 g, was noteworthy for its overall water economy. It consumed only 27 ml in total, surpassing the efficiency of other soils under similar conditions, as depicted in Fig. 4. However, Soil 2 stood out by not releasing any moisture during the ten-minute window, utilizing 25 ml to achieve full saturation, and totaling 34 ml of water usage throughout the experiment. This pattern was further validated by Fig. 5, which highlighted Soil 2’s 0% moisture yield rate.

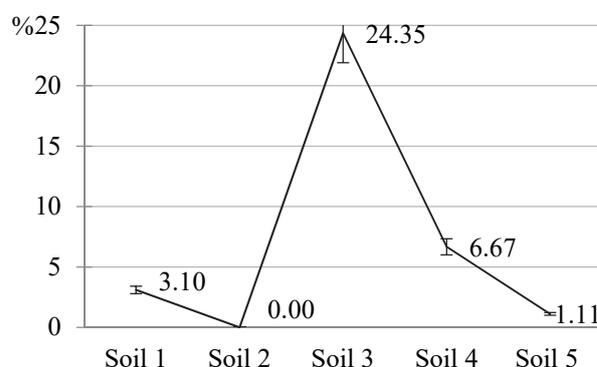


Fig. 5. Percentage of water collected during 10 min across the 5 soils with 0.1 g of wetting agent

However, Soil 2’s higher initial water requirement to achieve saturation points to its suitability in scenarios where water availability is less of a concern. Conversely, in water-scarce conditions, Soil 5 emerges as a viable candidate, offering commendable performance with just 0.1 g of the wetting agent, balancing moisture retention with lower water consumption.

Fig. 6 illustrates that Soil 2 had the lowest percentage of total water consumption during the experiment.

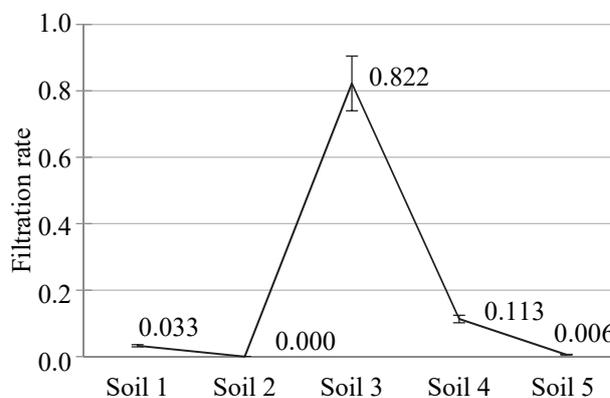


Fig. 6. Filtration rate across the 5 soils with 0.1 g of wetting agent

Fig. 7 reveals that Soil 2 also demonstrated the lowest rate of water filtration among the soils tested. This data underscores Soil 2's efficiency in water usage and its superior ability to minimize water loss, highlighting its potential as an effective medium for reforestation projects where optimal water retention is crucial. This observation further emphasizes that, when water is abundant, Soil 2 is expected to perform optimally with 0.1 g of wetting agent, surpassing the other soils tested in the experiment. Conversely, under conditions of limited water supply, Soil 5 is anticipated to exhibit commendable efficiency with the same concentration of the wetting agent. Fig. 7 provides a comparative snapshot of soil performance with a 0.2 g application of wetting agent.

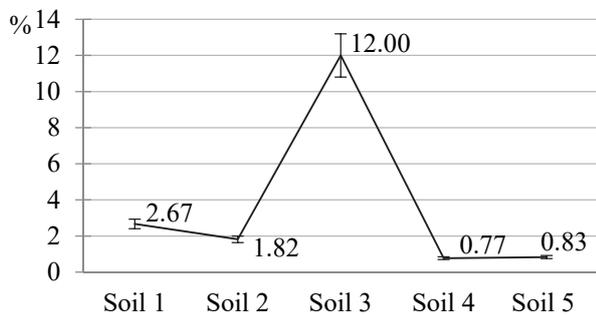


Fig. 7. Water retention and total water used with 0.2 g wetting agent across the 5 soils

Remarkably, Soil 5 released merely 0.2 ml of water over a 10-minute period, showcasing its minimal water usage throughout the experiment. However, it's notable that Soil 5 required a relatively high volume of water to achieve the 100 ml saturation point, ranking second among the soils tested in terms of water intake for saturation. Incorporating 0.2 g of wetting agent, Soil 5's efficacy surpasses that of its counterparts, as highlighted in Fig. 7. This superiority is further evidenced in Fig. 8, where Soil 5 demonstrates efficient water usage, only surpassed by Soil 4 in terms of the percentage of total water utilized throughout the experiment.

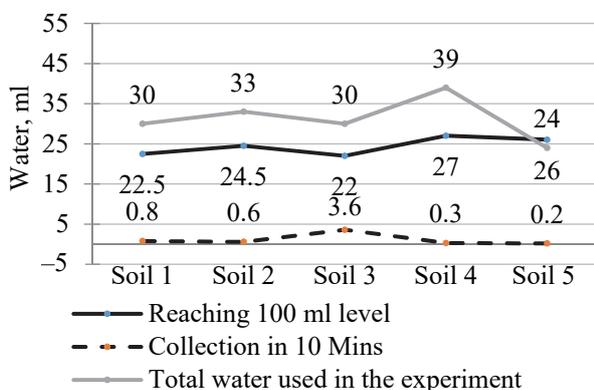


Fig. 8. Percentage of water collected during 10 min across the 5 soils with 0.2 g of wetting agent

Moreover, Fig. 8 illustrates Soil 5's optimal water consumption and its release of the second-lowest percentage of total water used, reinforcing its high performance with a 0.2 g wetting agent across all soils in the study. This consistent performance is supported by the filtration rate data in Fig. 9, where Soil 5 exhibits the second-lowest filtration rate, closely following Soil 4. These findings collectively underscore Soil 5's remarkable efficiency and potential as the most suitable soil for projects requiring a 0.2 g wetting agent, particularly in optimizing water retention and reducing wastage. The results suggest that Soil 5 demonstrates enhanced performance under conditions of water scarcity when treated with 0.2 g of wetting agent. In environments where water is more readily available, Soil 4, when similarly treated with 0.2g of the wetting agent, is expected to yield comparable outcomes.

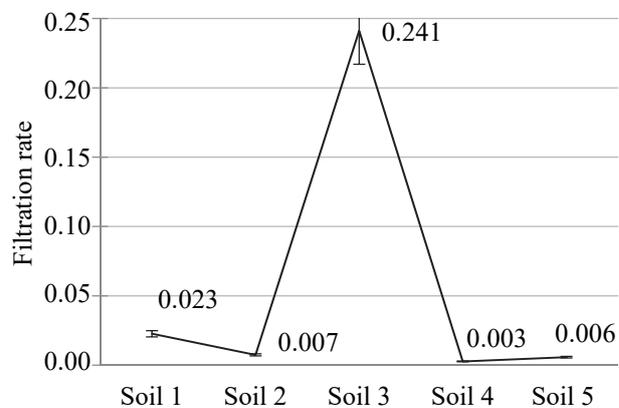


Fig. 9. Filtration rate across the 5 soils with 0.2 g of wetting agent

Fig. 10 reveals that with the application of 0.3 g wetting agent, Soil 1 is more efficient in terms of water usage, absorbing less water to become saturated and releasing only 0.1 g of water.

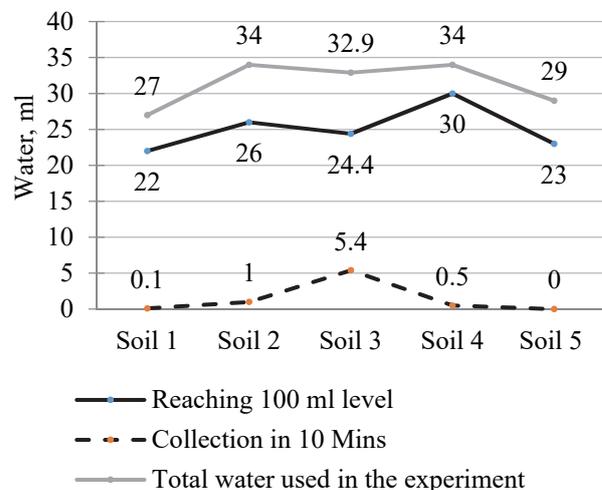


Fig. 10. Water retention and total water used with 0.3 g wetting agent across the 5 soils

Conversely, Soil 5 effectively retains moisture but demands a higher quantity of water for saturation and to reach the 100 ml threshold. Consequently, Soil 1 is more suitable in conditions of limited water supply when treated with 0.3 g of wetting agent, whereas Soil 5 is preferable in situations with ample water availability.

This distinction is further supported by the data shown in Fig. 11, which illustrates that Soil 5 used the least percentage of total water during the experiment, while Fig. 12 highlights that Soil 5 exhibits the lowest filtration rate among the soils tested.

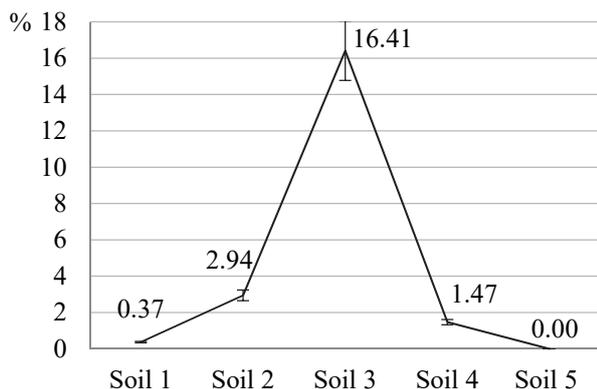


Fig. 11. Percentage of water collected during 10 min across the 5 soils with 0.3 g of wetting agent

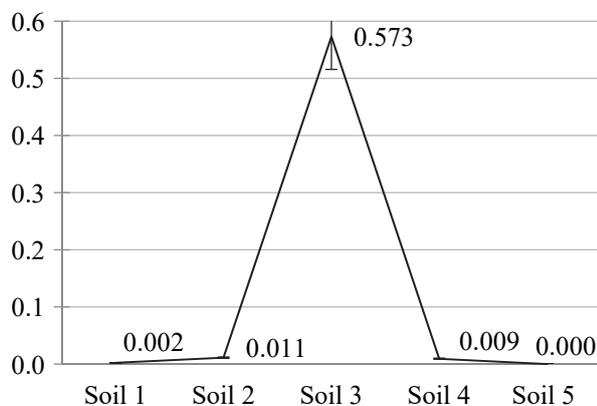


Fig. 12. Filtration rate across the 5 soils with 0.3 g of wetting agent

This evidence strengthens the argument that Soil 5, with a 0.3 g application of wetting agent, is positioned to outperform other soils in the experiment, showcasing superior water retention capabilities and efficiency.

**Conclusion.** In concluding the study, it is imperative to delve into a detailed analysis of the results obtained, particularly focusing on how the mechanical composition of soils impacts the water regime, the comparative efficacy of wetting agents across different soil types at the same concentration, and the effects of increasing concentration on the

water regime of each soil. Through this analysis, we aim to identify the optimal concentration of wetting agents for achieving the fastest absorption of water and maximum retention across various soil compositions, thereby informing reforestation practices effectively.

**Impact of Soil Mechanical Composition on Water Regime:** Our study encompassed five distinct soil compositions, each representing a unique substrate type. These soils varied in their mechanical composition, influencing their water retention capacities. Soil 1, characterized as heavy loam, exhibited high water retention due to its fine texture and organic matter content. Conversely, Soil 3, composed of sand, presented challenges in water retention due to its coarse texture and rapid drainage properties.

Through experimentation, we observed that the mechanical composition of soils significantly influenced their water regime. Soils with finer textures, such as Soil 1, demonstrated higher water retention capabilities compared to coarser soils like Soil 3. This variation underscores the importance of evaluating potential problems associated with different soil types and devising appropriate solutions to ensure successful reforestation efforts. **Comparative Efficacy of Wetting Agents at the Same Concentration:** Our study also assessed the efficacy of wetting agents across different soil types at the same concentration. By applying a consistent concentration of wetting agent to each soil type, we aimed to evaluate their effectiveness in enhancing water retention uniformly.

Results indicated that the performance of wetting agents varied across soil types. While certain soils exhibited remarkable efficiency in water retention even without the assistance of wetting agents, others benefited significantly from their application. Soil 5, for instance, demonstrated notable water retention capabilities without a wetting agent, showcasing its inherent suitability for reforestation projects in water-scarce environments. However, the application of wetting agents further enhanced moisture retention in soils with poorer water retention capacities, such as Soil 3.

**Effects of Increasing Concentration on Water Regime:** Furthermore, we investigated how increasing the concentration of wetting agents affected the water regime of each soil type. By incrementally increasing the concentration of wetting agents, we aimed to discern the optimal concentration at which water absorption is expedited, and maximum retention is achieved.

Results revealed that increasing the concentration of wetting agents led to improved water retention across all soil types. However, the rate of improvement varied depending on the soil's initial water retention capacity. Soils with lower inherent

water retention capabilities exhibited more significant improvements with increasing concentrations of wetting agents compared to those with higher natural retention capacities.

**Conclusion on the Optimal Concentration:** Based on our findings, we conclude that the optimal concentration of wetting agents for achieving the fastest absorption of water and maximum retention varies depending on the soil type. Soils with poorer water retention capacities, such as Soil 3, benefitted from higher concentrations of wetting agents, while soils with higher inherent retention capabilities, like

Soil 1, required lower concentrations for optimal performance.

In summary, our study underscores the importance of considering the mechanical composition of soils, the efficacy of wetting agents at uniform concentrations, and the effects of increasing concentration on water regime when determining the best concentration for reforestation efforts. By tailoring wetting agent concentrations to specific soil types, reforestation practitioners can optimize water retention and enhance the success of reforestation initiatives across diverse environmental contexts.

### References

1. Haroutunian G., Chojnacky D. C., El Riachy R., Chojnacky C. C. Reducing reforestation costs in Lebanon: Adaptive field trials. *Forests*, 2017, no. 8, pp. 169. DOI:10.3390/f8050169.
2. Mikesell M. W. The Deforestation of Mount Lebanon. *Geographical Review*, 1969, no. 59, pp. 1–28. DOI: 10.2307/213080.
3. El-Hajj R., Varese P., Nemer N., Tatoni T., Khater C. Mediterranean ecosystems challenged by global changes and anthropogenic pressures: Vulnerability and adaptive capacity of forests in North Lebanon. *Revue D Ecologie*, 2015, no. 70, pp. 3–15.
4. Yasuda Y., Kitagawa H., Nakagawa T. The earliest record of major anthropogenic deforestation in the Ghab Valley, Northwest Syria: A palynological study. *Quaternary International*, 2000, no. 73, pp. 127–136. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00069-0.
5. Sattout E., Talhouk S., Kabbani N. Lebanon. *Valuing Mediterranean forests: Towards total economic value*, 2005, pp. 161–175. DOI: 10.1079/9780851999975.0161.
6. Verner D. *Adaptation to a changing climate in the Arab countries*. Washington, World Bank Publ., 2012, 53 p.
7. Naameh S. Anthropogenic climate change in Qadisha Valley and Horsh Arz El Rab, Lebanon. Available at: [https://www.researchgate.net/publication/347489016\\_Anthropogenic\\_Climate\\_Change\\_in\\_Qadisha\\_Valley\\_and\\_Horsh\\_Arz\\_el\\_Rab\\_Lebanon](https://www.researchgate.net/publication/347489016_Anthropogenic_Climate_Change_in_Qadisha_Valley_and_Horsh_Arz_el_Rab_Lebanon) (accessed 18.02.2024).
8. National forest and tree assessment and inventory: Final report. Available at: <http://www.fao.org/forestry/15565-0f921641e230ef06f11d15b8856f2ff07.pdf> (accessed 14.02.2024).
9. Mantyka-Pringle C. S., Martin T. G., Rhodes J. R. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis. *Glob. Change Biol.*, 2012, no.18, pp. 1239–1252.
10. Brouwers N., Mercer J., Lyons T., Poot P., Veneklaas E., Hardy G. Climate and landscape drivers of tree decline in a mediterranean ecoregion. *Ecology and Evolution*, 2013, no. 3, pp. 67–79. DOI: 10.1002/ece3.437.
11. Van Mantgem P. J., Stephenson N. L. Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest. *Ecol. Lett.*, 2007, no. 10, pp. 909–916.
12. Van Mantgem P. J., Stephenson N. L., Byrne J. C., Daniels L. D., Franklin J. F., Fule P. Z., Harmon M. E., Larson A. J., Smith J. M., Taylor A. H., Veblen T. T. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States. *Science*, 2009, no. 323, pp. 521–524.
13. Phillips O. L., Aragao L. E. O. C., Lewis S. L., Fisher J. B., Lloyd J., Lopez-Gonzalez G., Malhi Y., Monteagudo A. Drought sensitivity of the Amazon rainforest. *Science*, 2009, no. 323, pp. 1344–1347.
14. Allen C. D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D. D., Hogg E. H., Gonzalez P., Fensham R., Zhang Z., Castro J., Demidova N., Lim J.-H., Allard G., Running S. W., Semerci A., Cobb N. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *For. Ecol. Manage*, 2010, no. 259, pp. 660–684.
15. Barbeta A., Penuelas J., Ogaya R., Jump A. S. Reduced tree health and seedling production in fragmented *Fagus sylvatica* forest patches in the Montseny Mountains (NE Spain). *For. Ecol. Manage*, 2011, no. 261, pp. 2029–2037.
16. Carnicer J., Coll M., Ninyerola M., Pons X., Sanchez G., Penuelas J. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought. *Proc. Nat. Acad. Sci.*, 2011, pp. 1–5 DOI: 10.1073/pnas.1010070108.
17. Huang C.-Y., Anderegg W. R. L. Large drought induced aboveground live biomass losses in southern Rocky Mountain aspen forests. *Glob. Change Biol.*, 2012, no. 18, pp. 1016–1027.

18. Matusick G., Ruthrof K. X., Brouwers N. C., Dell B., Hardy G. E., Hardy G. S. Sudden forest canopy collapse corresponding with extreme drought and heat in a mediterranean-type eucalypt forest in southwestern Australia. *European Journal of Forest Research*, 2012, no. 131 (5), pp. 1851–1860.
19. Jump A. S., Mátyás C., Peñuelas J. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species. *Trends in Ecology & Evolution*, 2009, no. 24, pp. 694–701. DOI: 10.1016/j.tree.2009.06.007.
20. Sarris D., Christodoulakis D., Korner C. Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees. *Climatic Change*, 2011, no. 106, pp. 203–223.
21. Peng C., Ma Z., Lei X., Zhu Q., Chen H., Wang W., Liu S., Li W., Fang X., Zhou X. A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada's boreal forests. *Nature Climate Change*, 2011, no. 1 (9), pp. 467–471.
22. Vila-Cabrera A., Martínez-Vilalta J., Vayreda J., Retana J. Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forests across the Iberian Peninsula. *Ecol. Appl.*, 2011, no. 21, pp. 1162–1172.

### Список литературы

1. Reducing reforestation costs in Lebanon: Adaptive field trials / G. Haroutunian [et al.] // *Forests*. 2017. №. 8 (5). P. 169. DOI: 10.3390/f8050169.
2. Mikesell M. W. The Deforestation of Mount Lebanon // *Geographical Review*. 1969. No. 59. P. 1–28. DOI: 10.2307/213080.
3. Mediterranean ecosystems challenged by global changes and anthropogenic pressures: Vulnerability and adaptive capacity of forests in North Lebanon / R. El-Hajj [et al.] // *Revue D Ecologie*. 2015. No. 70. P. 3–15.
4. Yasuda Y., Kitagawa H., Nakagawa T. The earliest record of major anthropogenic deforestation in the Ghab Valley, Northwest Syria: A palynological study // *Quaternary International*. 2000. No. 73. P. 127–136. DOI: 10.1016/S1040-6182(00)00069-0.
5. Sattout E., Talhouk S., Kabbani N. Lebanon // *Valuing Mediterranean forests: Towards total economic value*. 2005. P. 161–175. DOI: 10.1079/9780851999975.0161.
6. Verner D. *Adaptation to a changing climate in the Arab countries*. Washington: World Bank Publ., 2012. 53 p.
7. Naameh S. Anthropogenic climate change in Qadisha Valley and Horsh Arz El Rab, Lebanon. URL: [https://www.researchgate.net/publication/347489016\\_Anthropogenic\\_Climate\\_Change\\_in\\_Qadisha\\_Valley\\_and\\_Horsh\\_Arz\\_el\\_Rab\\_Lebanon](https://www.researchgate.net/publication/347489016_Anthropogenic_Climate_Change_in_Qadisha_Valley_and_Horsh_Arz_el_Rab_Lebanon) (date access: 18.02.2024).
8. National forest and tree assessment and inventory: Final report. URL: <http://www.fao.org/forestry/15565-0f921641e230ef06f11d15b8856f2ff07.pdf> (date access: 14.02.2024).
9. Mantyka-Pringle C. S., Martin T. G., Rhodes J. R. Interactions between climate and habitat loss effects on biodiversity: a systematic review and meta-analysis // *Glob. Change Biol*. 2012. No. 18. P. 1239–1252.
10. Climate and landscape drivers of tree decline in a mediterranean ecoregion / N. Brouwers [et al.] // *Ecology and Evolution*. 2013. No. 3. P. 67–79. DOI: 10.1002/ece3.437.
11. Van Mantgem P. J., Stephenson N. L. Apparent climatically induced increase of tree mortality rates in a temperate forest // *Ecol. Lett*. 2007. No. 10. P. 909–916.
12. Widespread increase of tree mortality rates in the western United States / P. J. Van Mantgem [et al.] // *Science*. 2009. No. 323. P. 521–524.
13. Drought sensitivity of the Amazon rainforest / O. L. Phillips [et al.] // *Science*. 2009. No. 323. P. 1344–1347.
14. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests / C. D. Allen [et al.] // *For. Ecol. Manage*. 2010. No. 259. P. 660–684.
15. Reduced tree health and seedling production in fragmented *Fagus sylvatica* forest patches in the Montseny Mountains (NE Spain) / A. Barbeta [et al.] // *For. Ecol. Manage*. 2011. No. 261. P. 2029–2037.
16. Widespread crown condition decline, food web disruption, and amplified tree mortality with increased climate change-type drought / J. Carnicer [et al.] // *Proc. Nat. Acad. Sci*. 2011. P. 1–5. DOI: 10.1073/pnas.1010070108.
17. Huang C.-Y., Anderegg W. R. L. Large drought induced aboveground live biomass losses in southern Rocky Mountain aspen forests // *Glob. Change Biol*. 2012. No. 18. P. 1016–1027.
18. Sudden forest canopy collapse corresponding with extreme drought and heat in a mediterranean-type eucalypt forest in southwestern Australia / G. Matusick [et al.] // *European Journal of Forest Research*. 2012. No. 131 (5). P. 1851–1860.
19. Jump A. S., Mátyás C., Peñuelas J. The altitude-for-latitude disparity in the range retractions of woody species // *Trends in Ecology & Evolution*. 2009. No. 24. P. 694–701. DOI: 10.1016/j.tree.2009.06.007.

20. Sarris D., Christodoulakis D., Korner C. Impact of recent climatic change on growth of low elevation eastern Mediterranean forest trees // *Climatic Change*. 2011. No. 106. P. 203–223.

21. A drought-induced pervasive increase in tree mortality across Canada's boreal forests / C. Peng [et al.] // *Nature Climate Change*. 2011. No. 1 (9). P. 467–471.

22. Structural and climatic determinants of demographic rates of Scots pine forests across the Iberian Peninsula / A. Vila-Cabrera [et al.] // *Ecol. Appl.* 2011. No. 21. P. 1162–1172.

#### **Information about the authors**

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

**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

#### **Информация об авторах**

**Алам Мишель** – аспирант кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: michelalam@gmail.com

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

*Received 15.03.2024*

УДК 630\*232.329.6

**Е. В. Татун, В. В. Носников**

Белорусский государственный технологический университет

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ БИОМЕТРИЧЕСКИХ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕЯНЦЕВ БЕРЕЗЫ ПОВИСЛОЙ, ВЫРАЩЕННЫХ В КАССЕТАХ С РАЗНЫМ ОБЪЕМОМ ЯЧЕЕК**

Широкий диапазон используемых объемов ячеек в разных странах и факт лимитирующего влияния объема ячейки на параметры сеянцев березы повислой актуализируют вопросы применимости кассет, наиболее часто используемых в нашей республике, для производства сеянцев этой породы. Цель нашего исследования – установить степень влияния на биометрические показатели однолетних сеянцев березы повислой с закрытой корневой системой объема ячеек кассет, используемых для выращивания.

По результатам проведенного исследования было установлено, что объемы ячеек кассет оказывают влияние на высоту надземной части, толщину стволика у корневой шейки, сухую массу сеянцев, выход стандартных сеянцев, сохранность сеянцев, темпы роста. Наибольшими биометрическими показателями обладали сеянцы, полученные в кассетах с объемом ячейки 275 см<sup>3</sup>. Средняя высота надземной части составила 441,5 мм, средняя толщина стволика у корневой шейки 5,3 мм, средняя сухая масса 4,25 г, что больше, чем у сеянцев, полученных в кассетах с объемом ячейки 128 и 115 см<sup>3</sup> по средней высоте надземной части сеянцев на 19 и 28%, по средней толщине стволика у корневой шейки на 19,6 и 23,5%, по средней сухой массе сеянцев на 47 и 55% соответственно. Соотношение сухой массы стволик : корень находилось в диапазоне 1,25–1,44, что считается оптимальным для всех вариантов опыта. Наибольший выход стандартных сеянцев был в кассетах с объемом ячейки 275 см<sup>3</sup> – 69%, самый низкий в варианте опыта с объемом ячейки 115 см<sup>3</sup> – 27%.

При измерении средней высоты сеянцев березы повислой на разных этапах роста была выявлена прямо пропорциональная зависимость темпов роста от объема ячеек, но прекращение ростовых процессов от объема ячеек не зависело.

**Ключевые слова:** береза повислая, сеянцы, кассеты, объем ячеек, биометрические показатели.

**Для цитирования:** Татун Е. В., Носников В. В. Изменчивость биометрических показателей сеянцев березы повислой, выращенных в кассетах с разным объемом ячеек // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 76–81. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-9.

**Ya. U. Tatun, V. V. Nosnikov**

Belarusian State Technological University

**VARIABILITY OF BIOMETRIC CHARACTERISTICS OF SILVER BIRCH SEEDLINGS GROWN IN CONTAINERS WITH DIFFERENT VOLUME**

The wide range of cell volumes used in different countries and the fact of the limiting influence of cell volume on the parameters of silver birch seedlings raise questions about the applicability of the containers most widely used in our republic for the production of seedlings of this species. The purpose of our study is to establish the degree of influence on the biometric parameters of silver birch seedlings grown in containers by the volume of containers cells used for cultivation.

Based on the results of the study, it was established that the cell volumes of the containers affect the height of seedlings, root-collar diameter, the dry weight of seedlings, the yield of standard seedlings, the safety of seedlings, the growth rate. The seedlings obtained in containers with a volume of 275 cm<sup>3</sup> had the greatest biometric characteristics, average height of seedlings was 441.5 mm, average root-collar diameter was 5.3 mm, average dry weight of seedlings was 4.25 g, which was higher than the seedlings obtained in containers with a volume of 128 and 115 cm<sup>3</sup> in average height of seedlings by 19 and 28%, in average root-collar diameter by 19.6 and 23.5%, in average dry weight of seedlings by 47 and 55%, respectively. The shoot : root dry mass ratio was in the range of 1.25–1.44, which is optimal for all experimental variants. The highest yield of standard seedlings was in containers with a volume of 275 cm<sup>3</sup> – 69%, while the lowest yield was in the experimental type of containers with a volume of 115 cm<sup>3</sup> – 27%.

When measuring the height of silver birch seedlings at different stages of growth, direct dependency of growth rates on the volume of containers was revealed, but the cessation of growth processes did not depend on the volume of containers.

**Keywords:** silver birch, seedlings, containers, cell volume, biometric characteristics.

**For citation:** Tatun Ya. U., Nosnikov V. V. Variability of biometric characteristics of silver birch seedlings grown in containers with different volume. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 76–81 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-9.

**Введение.** Постоянный поиск новых агротехнических и технологических решений позволяет повышать эффективность производства и улучшать качество посадочного материала с закрытой корневой системой (ЗКС). Это может включать в себя внедрение новых методов и технологий, исследование и адаптацию опыта других стран, а также научные исследования для определения факторов, влияющих на качество выращиваемых лесных растений.

Выбору критериев оценки качества посадочного материала посвящен ряд зарубежных исследований [1, 2]. Так, исследования, проведенные с однолетними сеянцами березы повислой с ЗКС, высаженными в условия естественного произрастания, показали, что на приживаемость и рост наибольшее влияние имеет изначальная сухая масса стволика. Из «неразрушающих» показателей толщина корневой шейки лучше всего прогнозирует выживаемость, тогда как рост побегов, как правило, больше зависит от начальной высоты сеянцев [1]. Отношение сухой массы побега к сухой массе корня менее 2,5 считается наиболее оптимальным [2, с. 24]. Соотношение более чем 2,5 говорит о недостаточности хорошо развитой корневой системы сеянцев, что может сказаться на приживаемости посадочного материала, особенно в условиях продолжительного засушливого периода [2, с. 25]. Применение данных критериев позволяет оценивать качество получаемого посадочного материала, а значит, и степень воздействия на него различных факторов.

Объем ячеек является одним из основных факторов, оказывающих влияние на качество и конечную стоимость производства сеянцев с ЗКС [1, 3–8].

Увеличение объема ячеек обеспечивает лучший рост сеянцев, развитие корневой системы, соотношение ее надземной и подземной частей, но приводит к уменьшению выхода посадочного материала с единицы площади, что в свою очередь увеличивает затраты на производство [2, 8, 9]. Рекомендованный объем ячеек в кассетах для выращивания березы повислой различается в странах, где сеянцы этого вида используются в лесовосстановлении и лесоразведении. Более половины питомников в Финляндии применяют кассеты Plantek с объемом ячейки 380 см<sup>3</sup> [5]. Для лесных питомников в Польше рекомендовано использовать кассеты с объемом ячейки 250–300 см<sup>3</sup> [4, с. 165]. Для Российской Федерации есть указание на рекомендо-

ванный объем 128–230 см<sup>3</sup> [10]. Исследования, проведенные в Беларуси, показывают, что объем субстрата является лимитирующим фактором для развития корневой системы однолетних сеянцев березы повислой, а использование кассет с объемом ячейки 115 см<sup>3</sup> значительно уменьшает высоту сеянцев [3]. Широкий диапазон используемых объемов ячеек в разных странах и факт лимитирующего влияния объема ячейки на биометрические параметры березы повислой актуализируют вопросы применимости кассет, наиболее часто используемых в нашей республике, для производства сеянцев этой породы.

Целью нашей опытной работы являлось установить степень влияния на биометрические показатели однолетних сеянцев березы повислой с ЗКС объема ячеек кассет, используемых для выращивания.

**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, подвергшиеся хранению в холодильнике (при  $t = 4^{\circ}\text{C}$ ). В каждую ячейку были помещены от 3 до 5 семян. Использовались кассеты Plantek 35F, Plantek 64FD, Plantek 64F с объемом ячейки 275, 128 и 115 см<sup>3</sup> соответственно. Кассеты были заполнены тщательно перемешанным субстратом на основе верхового торфа фракцией 0–15, кислотностью 2,5–3,5 рН, с добавлением доломитовой муки (в количестве 2 кг/м<sup>3</sup>) и комплексного минерального удобрения для приготовления субстрата Yara PGMix NPK + Mg + micro (в количестве 1 кг/м<sup>3</sup>).

Для создания оптимальных условий прорастания семян и произрастания сеянцев все кассеты были размещены в теплице. Уход за сеянцами включал в себя подкормки 0,5–1%-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), 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 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 толщины стволика у корневой шейки электронным штангенциркулем с точностью до 0,1 мм, измерения массы в абсолютно сухом состоянии сеянцев электронными весами с точностью до 0,02 г.

Обработка полученных данных проводилась в программе STATISTICA 10. Для каждого параметра вычислялись предельные значения  $\min$ ;  $\max$ , среднее арифметическое  $X$ , стандартное квадратическое отклонение  $\sigma$ , ошибка среднего  $\pm m$ , коэффициент вариации  $V$ . Варьирование признака считалось слабым при коэффициенте вариации 0–10%, средним – при 10–20%, высоким при – 20% и более [11, с. 41–42]. Варьирование признака на высоком уровне говорит о малой представительности, соответствующей средней арифметической [12, 13, с. 17]. Сохранность сеянцев определялась как соотношение количества выживших на конец вегетации сеянцев к количеству ячеек в кассете. Стандартные сеянцы определялись согласно параметрам, указанным в ТУ ВУ 60022689.001–2020 [14].

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что увеличение объема ячеек при одинаковых условиях произрастания приводит к увеличению биометрических показателей однолетних сеянцев березы повислой. Наибольшими биометрическими показателями обладали сеянцы, полученные в контрольном варианте опыта 1 (объем ячейки 275 см<sup>3</sup>), средняя высота надземной части сеянцев составила 441,5 мм, средняя толщина стволика у корневой шейки 5,3 мм, что больше, чем у сеянцев, полученных в варианте опыта 2 (объем ячейки 128 см<sup>3</sup>) и 3 (объем ячейки 115 см<sup>3</sup>), по средней высоте надземной части сеянцев на 19 и 28%, по толщине стволика у корневой шейки на 19,6 и 23,5%. Эти данные соответствуют ранее проведенным исследова-

ниям о лимитирующем влиянии объема ячеек на рост сеянцев березы повислой [1, 3].

Сохранность сеянцев в вариантах опыта 1 и 2 составляла 97 и 91% соответственно. Самую низкую заполненность кассет показал вариант опыта 3 – 73% (табл. 1). Низкий показатель, вероятно, связан с небольшим объемом субстрата в ячейках кассет Plantek 64F и склонности к более быстрому его высыханию. Уровень увлажнения является критически важным фактором для березы повислой на ранних этапах развития [15]. Наибольший выход стандартных сеянцев показал опыт 1 – 69%, самый низкий в варианте опыта 3 – 27%.

Изученные параметры во всех вариантах опыта изменялись на среднем и высоком уровне, что указывает на неоднородный рост сеянцев. Коэффициент вариации находился в диапазоне 12,5–19,3% для значений высоты надземной части, 15,3–19,9% для толщины стволика у корневой шейки, 19,4–20,0% для сухой массы сеянцев. Разница в значениях не более чем в 7,8%, показывают незначительное влияние объема кассет на уровень изменчивости сеянцев (табл. 1, 2).

Средняя сухая масса сеянцев в опыте 1 составила 4,25 г, что больше, чем у сеянцев, полученных в варианте опыта 2, на 47% и варианте опыта 3 на 55%. Соотношение сухой массы стволик : корень находилось в диапазоне 1,25–1,44 (табл. 2). Во всех вариантах этот показатель ниже 2,5, что является оптимальным. В варианте опыта 3 наблюдалось более значительное преобладание массы стволика над массой корневой системы, чем в других вариантах опыта (рис. 1).

При измерении надземной части сеянцев березы повислой на разных этапах роста была выявлена прямо пропорциональная зависимость темпов роста от объема ячеек, но прекращение ростовых процессов от объема ячеек не зависело. Основной прирост надземной части происходил с третьей декады июня во всех вариантах опыта, но наблюдалось некоторое снижение темпов роста в вариантах опыта 2 и 3 с первой декады августа.

Таблица 1

**Высота надземной части и толщина стволика у корневой шейки однолетних сеянцев березы повислой, выращенных в кассетах с разным объемом ячейки**

Вариант опыта	Средние значения высоты надземной части, мм					Средние значения толщины стволика у корневой шейки, мм					Сохранность сеянцев, %	Доля стандартных сеянцев, %
	$X \pm m$	$\min$	$\max$	$\sigma$	$V, \%$	$X \pm m$	$\min$	$\max$	$\sigma$	$V, \%$		
1к	441,5 ± 13,0	367	540	55,2	12,5	5,3 ± 0,2	3,2	6,7	1,1	19,9	97	69
2	321,8 ± 11,0	215	422	58,1	18,1	4,3 ± 0,1	3,0	5,3	0,7	15,3	91	47
3	309,9 ± 10,1	207	409	62,9	19,3	3,8 ± 0,1	2,2	4,8	0,7	19,0	73	27

Примечание. к – контрольный опыт. Результаты двухвыборочного  $t$ -теста: высота надземной части  $t_{\text{стат.1к;2}} = 7,03 > t_{\text{крит}} = 2,02$ ;  $t_{\text{стат.1к;3}} = 7,99 > t_{\text{крит}} = 2,02$ ; толщина стволика у корневой шейки  $t_{\text{стат.1к;2}} = 3,98 > t_{\text{крит}} = 2,02$ ;  $t_{\text{стат.1к;3}} = 6,03 > t_{\text{крит}} = 2,02$ .

Таблица 2

**Сухая масса однолетних сеянцев березы повислой, выращенных в кассетах с разным объемом ячейки**

Вариант опыта	Средние значения сухой массы сеянцев											Соотношение сухой массы стволлик : корень
	Всего					Стволлик			Корень			
	$X \pm m, \text{ г}$	min	max	$\sigma$	$V, \%$	$X \pm m, \text{ г}$	$\sigma$	$V, \%$	$X \pm m, \text{ г}$	$\sigma$	$V, \%$	
1к	4,25 ± 0,26	3,1	5,4	0,8	19,4	2,37 ± 0,19	0,6	25,7	1,89 ± 0,17	0,3	17,7	1,25
2	2,26 ± 0,14	1,6	3,1	0,5	19,7	1,28 ± 0,06	0,2	16,9	0,97 ± 0,08	0,3	29,8	1,32
3	1,91 ± 0,16	1,3	2,4	0,4	20,0	1,13 ± 0,05	0,2	16,5	0,78 ± 0,06	0,2	30,7	1,44

Примечание. к – контрольный опыт. Результаты двухвыборочного *t*-теста сухой массы сеянцев:  $t_{\text{стат. 1к;2}} = 6,65 > t_{\text{крит}} = 2,17$ ;  $t_{\text{стат. 1к;3}} = 7,97 > t_{\text{крит}} = 2,20$ .

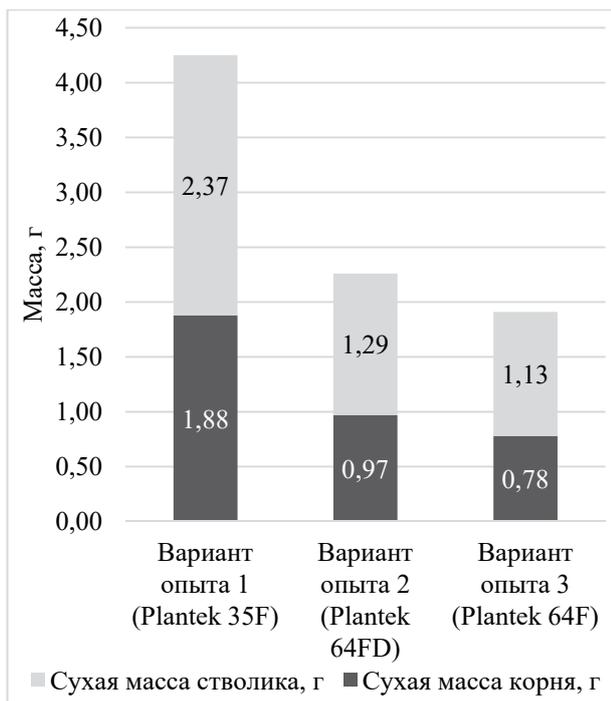


Рис. 1. Средняя сухая масса однолетних сеянцев березы повислой при выращивании в кассетах с разным объемом ячеек.

Вариант опыта 1 сохранял высокие темпы роста до третьей декады августа, что соответствовало наибольшей средней высоте надземной части у сеянцев этого варианта опыта в конце вегетации. Во всех вариантах опыта средняя высота надземной части сеянцев достигла 99% от конечной в первой декаде сентября (рис. 2).

Полученные различия в сравниваемых биометрических показателях сеянцев, выращенных в разных объемах ячеек, являются достоверными и подтверждаются статистическими значениями *t*-критерия Стьюдента (табл. 1, 2).

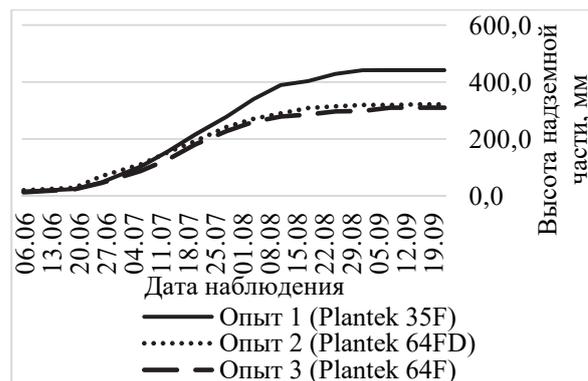


Рис. 2. Среднее значение высоты надземной части при выращивании однолетних сеянцев березы повислой в кассетах с разным объемом ячеек в разное время произрастания

**Выводы.** Биометрические показатели однолетних сеянцев березы повислой находятся в зависимости от объема ячеек в кассетах. Сеянцы, выращенные в кассетах с большим объемом ячеек, обладают преимуществами в высоте надземной части, толщине стволика у корневой шейки, сухой массе сеянцев, выходе стандартных сеянцев, сохранности сеянцев, темпах роста. Наши выводы согласуются с устоявшейся практикой в Финляндии и рекомендациями для питомников в Польше об использовании в производстве однолетних сеянцев березы повислой кассет с объемом ячейки от 250 см<sup>3</sup> [4, с. 165, 5] и исследованиями, которые показали лимитирующее влияние объема ячеек на рост растения [1, 3]. Соотношение сухой массы стволлик : корень во всех вариантах опытов был ниже 2,5, что является оптимальным. Было установлено, что объем кассет незначительно влияет на уровень изменчивости изученных биометрических показателей сеянцев.

**Список литературы**

1. Aphalo P., Rikala R. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume // *New Forests*. 2003. Vol. 25. P. 93–108. DOI: 10.1023/A:1022618810937.
2. Landis D. T., Dumroese R. K., Haase D. L. *The Container Tree Nursery Manual: Seedling processing, storage, and outplanting*. Washington, DC, 2010. Vol. 7. 199 p.

3. 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 Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2019. Вып. 79. С. 62–67.
4. Szabla K., Pabian R. Szkołkarstwo kontenerowe. Nowe technologie i technik w szkołkarstwie leśnym. Wyd. II. Warszawa, Centrum Informacyjne Lasów Państwowych, 2009. 251 s.
5. 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.
6. Luoranen J., Rikala R., Smolander H. Root egress and field performance of actively growing betula pendula container seedlings // *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2003. Vol. 18, no. 2. P. 133–144.
7. Мочалов Б. А., Бобушкина С. В. Влияние вида кассет на размеры сеянцев сосны с закрытыми корнями и их рост в культурах на Севере // *Известия вузов. Лесной журнал*. 2013. № 5 (335). С. 65–70.
8. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field / S. Dominguez-Lerena [et al.] // *Forest Ecology and Management*. 2006. Vol. 221, issue 1–3. P. 63–71. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.08.031.
9. Aphalo P. J., Rikala R. Spacing of silver birch seedlings grown in containers of equal size affects their morphology and its variability // *Tree Physiology*. 2006. Vol. 26, issue 9. P. 1227–1237.
10. Жигунов А. В., Соколов А. И., Харитонов В. А. Выращивание посадочного материала с закрытой корневой системой в Устьянском тепличном комплексе: практические рекомендации. Петрозаводск: Ин-т леса КарНЦ РАН, 2016. 43 с.
11. Зайцев Г. Н. Методика биометрических расчетов. Математическая статистика в экспериментальной ботанике. М.: Наука, 1973. 256 с.
12. Patel J. K., Patel N. M., Shiyani R. L. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof – An empirical study // *Current science*. 2001. Vol. 81, no. 9. P. 1163–1164.
13. Gomez K. A., Gomez A. A. Statistical procedures for agricultural research. 2nd edit. New York: John Wiley and Sons, 1984. 680 p.
14. Материал лесной посадочный хвойных и лиственных пород с закрытой корневой системой. Технические условия: ТУ ВУ 60022689.001–2020. Минск: Белорус. гос. ин-т стандартизации и сертификации, 2021. 10 с.
15. Hari P., Luukkanen O. Field studies of photosynthesis as affected by water stress, temperature, and light in birch // *Physiologia Plantarum*. 1974. Vol. 32, issue 2. P. 97–102.

### References

1. Aphalo P., Rikala R. Field performance of silver-birch planting-stock grown at different spacing and in containers of different volume. *New Forests*, 2003, vol. 25, pp. 93–108. DOI: 10.1023/A:1022618810937.
2. Landis D. T., Dumroese R. K., Haase D. L. The Container Tree Nursery Manual: Seedling processing, storage, and outplanting. Washington, DC, 2010. Vol. 7, 199 p.
3. 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. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forestry and silviculture: collection of scientific works of the Forests Institute of the National Academy of Sciences of Belarus]. Gomel, 2019, issue 79, pp. 62–67 (In Russian).
4. Szabla K., Pabian R. Container nursery. New technologies and techniques in forest nursery. Ed. II. Warsaw, Centrum Informacyjne Lasow Panstrowych Publ., 2009. 251 p. (In Poland).
5. 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.
6. Luoranen J., Rikala R., Smolander H. Root egress and field performance of actively growing betula pendula container seedlings. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 2003, vol. 18, no. 2, pp. 133–144.
7. Mochalov B. A., Bobushkina S. V. The influence of the type of cassettes on the size of pine container seedlings and their growth in crops in the North. *Izvestiya vuzov. Lesnoy zhurnal* [News of higher educational institutions. Forest Journal], 2013, no. 5 (335), pp. 65–70 (In Russian).
8. Dominguez-Lerena S., Herrero Sierra N., Carrasco Manzano I., Ocaña Bueno L., Peñuelas Rubira J. L. Container characteristics influence *Pinus pinea* seedling development in the nursery and field. *Forest Ecology and Management*, 2006, vol. 221, issue 1–3, pp. 63–71. DOI: 10.1016/j.foreco.2005.08.031.
9. Aphalo P. J., Rikala R. Spacing of silver birch seedlings grown in containers of equal size affects their morphology and its variability. *Tree Physiology*, 2006, vol. 26, issue 9, pp. 1227–1237.
10. Zhigunov A. V., Sokolov A. I., Kharitonov V. A. *Vyrashchivaniye posadochnogo materiala s zakrytoy kornevoy sistemoy v Ustyanskom teplichnom komplekse: prakticheskiye rekomendatsii* [Growing planting material in containers in the Ustyansky greenhouse complex: practical recommendations] Petrozavodsk, Institute of Forest Karelian Research Center RAS Publ., 2016. 43 p. (In Russian).

11. 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).
12. Patel J. K., Patel N. M., Shiyani R. L. Coefficient of variation in field experiments and yardstick thereof – An empirical study. *Current science*, 2001, vol. 81, no. 9, pp. 1163–1164.
13. Gomez K. A., Gomez A. A. *Statistical procedures for agricultural research*. 2nd edit. New York, John Wiley and Sons Publ., 1984. 680 p.
14. TU BY 60022689.001–2020. Forest planting material of coniferous and deciduous species grown in containers. Technical specifications. Minsk, Belarusian state Institute of Standardization and Certification Publ., 2021. 10 p. (In Russian).
15. Hari P., Luukkanen O. Field studies of photosynthesis as affected by water stress, temperature, and light in birch. *Physiologia Plantarum*, 1974, vol. 32, issue 2, pp. 97–102.

#### Информация об авторах

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

**Носников Вадим Валерьевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, 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 15.03.2024

УДК 630\*233

**Н. И. Якимов, В. К. Гвоздев, А. В. Юрения**

Белорусский государственный технологический университет

**ИССЛЕДОВАНИЕ РОСТА И ФОРМИРОВАНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР  
РАЗЛИЧНЫХ ДРЕВЕСНЫХ ВИДОВ В ОДНОРОДНЫХ  
ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ УСЛОВИЯХ**

Целью работы являлось исследование сохранности и продуктивности 17-летних лесных культур разных древесных пород в условиях свежей субори. Для этого были заложены лесные культуры из восьми древесных видов: сосны обыкновенной, ели европейской, лиственницы европейской, березы повислой, ясеня обыкновенного, клена остролистного, липы мелколистной и дуба красного. Почва на участке дерново-подзолистая, слабоподзоленная, песчаная на песке связном, подстилаемом с глубины свыше 1 м суглинком моренным. По величине кислотности почва на участке является слабокислой ( $\text{pH} = 5,8\text{--}6,2$ ) и в средней степени обеспечена гумусом (2,2%). При формировании лесных насаждений различных пород основополагающее значение имеет сохранность лесных культур. Анализ этого показателя на разных возрастных этапах следует проводить с учетом их фаз роста и развития, которые представляют определенное качественное и количественное состояние лесных культур на протяжении конкретного периода жизни. Лучшей сохранностью обладали культуры ели, лиственницы и березы (66–70%). Сохранность сосны, липы, ясеня, дуба красного составила 50–53%. Менее всего сохранились лесные культуры клена – 20%.

Продуктивность лиственницы составила 164 м<sup>3</sup>/га, сосны – 122 м<sup>3</sup>/га, березы – 115 м<sup>3</sup>/га, ели – 104 м<sup>3</sup>/га. Меньшим запасом древесины обладали липа – 53 м<sup>3</sup>/га, дуб красный – 64 м<sup>3</sup>/га, ясень – 66 м<sup>3</sup>/га и клен – 22 м<sup>3</sup>/га. Таким образом, на связнопесчаных почвах более высокую сохранность и продуктивность имели 17-летние лесные культуры лиственницы европейской, сосны обыкновенной, березы повислой и ели европейской.

**Ключевые слова:** лесные культуры, свежая субора, сосна обыкновенная, ель европейская, лиственница европейская, береза повислая, ясень обыкновенный, клен остролистный, липа мелколистная, дуб красный, сохранность, продуктивность.

**Для цитирования:** Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Юрения А. В. Исследование роста и формирования лесных культур различных древесных видов в однородных лесорастительных условиях // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 82–87.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-10.

**N. I. Yakimov, V. K. Gvozdev, A. V. Yurenya**

Belarusian State Technological University

**RESEARCH ON THE GROWTH AND FORMATION OF FOREST CROPS  
OF VARIOUS TYPES WOODY SPECIES IN HOMOGENEOUS FOREST  
CONDITIONS**

The aim of the work was to study the safety and productivity of 17-year-old forest crops of various tree species in conditions of poor fresh soil. For this purpose, forest crops of eight tree species were laid: scots pine, European spruce, European larch, hanging birch, common ash, holly maple, small-leaved linden and red oak. The soil on the site is sod-podzolic, slightly saline, on cohesive sand, underlain from a depth of over 1 m by moraine loam. In terms of acidity, the soil at the site is slightly acidic ( $\text{pH} = 5.8\text{--}6.2$ ) and is provided with humus in an average degree (2.2%). When forming forest plantations of various species, the preservation of forest crops is of fundamental importance. Analysis of this indicator at different age stages should be carried out taking into account their phases of growth and development, which represent a certain qualitative and quantitative state of forest crops during a specific period of life. Spruce, larch and birch crops had the best preservation (66–70%). The safety of pine, linden, ash, and red oak was 50–53%. Maple forest crops are the least preserved – 20%.

The productivity of larch was 164 m<sup>3</sup>/ha, pine – 122 m<sup>3</sup>/ha, birch – 115 m<sup>3</sup>/ha, spruce – 104 m<sup>3</sup>/ha. Linden 53 m<sup>3</sup>/ha, red oak 64 m<sup>3</sup>/ha, ash 66 m<sup>3</sup>/ha and maple 22 m<sup>3</sup>/ha had a smaller stock of wood. Thus, on cohesive sandy soils, European larch, Scots pine, hanging birch and European spruce showed the best preservation and productivity in 17-year-old forest crops.

**Keywords:** forest crops, fresh bark, Scots pine, European spruce, European larch, hanging birch, common ash, holly maple, small-leaved linden, red oak, preservation, productivity.

**For citation:** Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Yurenya A. V. Research on the growth and formation of forest crops of various types woody species in homogeneous forest conditions. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 82–87 (In Russian). DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-10.

**Введение.** Для лесокультурного производства важно знать, какая из древесных пород в определенных условиях местопроизрастания имеет хороший рост и максимальную продуктивность [1]. Определяющим фактором для роста и продуктивности лесных культур являются почвенно-грунтовые условия. От этого зависит их быстрота роста, продуктивность, технические свойства древесины, развитие корневой системы, устойчивость лесных культур против вредителей и болезней. Большинство лесов на территории республики произрастает на дерново-подзолистых слабоподзоленных почвах, развивающихся на рыхлых и связных песках [2]. Поэтому исследования по выявлению успешности роста лесных культур различных древесных видов в этих условиях приобретают первостепенное значение.

Наиболее высоких показателей роста достигают лесные культуры сосны обыкновенной, произрастающие в условиях В<sub>2</sub> – свежая суборь [3, 4]. Лиственница европейская успешно растет как на плодородных суглинистых почвах, так и на супесчаных и песчаных, при условии их хорошего увлажнения и дренирования [5]. Культуры ели европейской хорошо растут на дерново-подзолистой рыхлосупесчаной почве в условиях местопроизрастания В<sub>2</sub> [6, 7]. Кленовые насаждения могут произрастать на следующих почвах: дерново-подзолистая связнопесчаная, сменяемая рыхлой супесью; дерново-подзолистая связнопесчаная, подстилаемая легким суглинком; дерново-подзолистая супесчаная, сменяемая песками [8]. Создавая культуры на более бедных минеральным питанием почвах, можно использовать дуб красный, так как он менее требователен к плодородию почвы [9]. Культуры березы на свежих и влажных песчаных почвах растут по I и II классам бонитета [10]. Лесные культуры ясеня обыкновенного требовательны к плодородию и влажности почвы и растут на супесчаных и суглинистых почвах [11]. Лесные культуры липы мелколистной оказывают на почву положительное влияние, что в комплексе с высокой эстетической, санитарно-гигиенической и хозяйственной ценностью данной древесной породы дает основание для ее более широкого использования в составе создаваемых искусственных насаждений [12].

**Основная часть.** Для исследования роста лесных культур в апреле 2007 г. в Негорельском учебно-опытном лесхозе на площади 5,2 га были заложены лесные культуры из семи наиболее распространенных местных древесных видов (сосны обыкновенной, ели европейской, лиственницы европейской, березы повислой, ясеня обыкновенного, клена остролистного, липы мелколистной) и одной интродуцированной древесной породы (дуба красного).

Участок представлен бывшими в сельскохозяйственном пользовании землями, которые в последнее время использовались в качестве пастбища, и относится к категории лесокультурной площади «а». Почва на участке дерново-подзолистая, слабоподзоленная, на песке связном, сменяемом песком рыхлым, подстилаемом с глубины более 1 м суглинком моренным. По типу лесорастительных условий участок относится к эдафотопу В<sub>2</sub>.

Почва обрабатывалась плугом ПКЛ-70 в агрегате с трактором МТЗ-82 на глубину 8–10 см с расстоянием между центрами борозд 3 м. Посадка лесного посадочного материала осуществлялась в дно плужных борозд. Сеянцы сосны, ели, лиственницы, дуба, ясеня высаживались под меч Колесова, а саженцы клена, липы и дички березы – под лопату. В 17-летнем возрасте проведено обследование лесных культур, определена их сохранность, продуктивность и показатели роста.

Гранулометрический состав почвы оказывает большое влияние на лесорастительные свойства участка, к числу которых относятся плотность, водопроницаемость, теплопроводность, поглотительная способность, набор элементов минерального питания.

В табл. 1 приведен гранулометрический состав почвы, на котором созданы лесные культуры. Из данных табл. 1 видно, что преобладают песчаные фракции, которые в составе горизонтов варьируют от 39 до 59%. Содержание крупной пыли невелико, содержание гравия в верхних горизонтах низкое, что характеризует почву как сформированную на водно-ледниковых почвообразующих породах с относительно невысоким почвенным плодородием. Подстилающий горизонт с содержанием гравия более 7% представлен легким моренным суглинком, который служит хорошим водоупором для связнопесчаной почвы.

Таблица 1

## Гранулометрический состав почвы

Генетический горизонт	Глубина, см	Фракции, мм					Название гранулометрического состава
		3–1	1–0,25	0,25–0,05	0,05–0,01	<0,01	
A <sub>1</sub>	5–30	0,5	22,2	58,9	9,3	9,1	Песок связный
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	31–50	1,7	42,7	40,3	6,5	8,8	Песок связный
B <sub>2</sub>	51–80	0,8	47,7	39,1	5,1	7,3	Песок связный
B <sub>3</sub>	81–140	2,4	50,5	41,1	2,0	4,0	Песок рыхлый
D	141–160	7,2	6,7	51,2	13,8	21,1	Суглинок легкий

Агрохимические свойства почвы представлены в табл. 2. В почве до сих пор сохранились элементы пахотного горизонта ( $A_{\text{пах}} = 30–40$  см), она обеспечена гумусом в средней степени (2,2%). По насыщенности ионами водорода почва на участке является слабокислой ( $\text{pH} = 5,8–6,2$ ). С увеличением глубины гидролитическая кислотность снижается с 6,7 до 0,8 мг-экв. на 100 г почвы, а степень насыщенности почв основаниями возрастает от 54 до 77%.

Почва по степени обеспеченности обменным калием и подвижным фосфором характеризуется от низкой в гумусовом горизонте до средней в иллювиальном горизонте. Так как большинство всасывающих корней, которые обладают способностью поглощать воду с растворенными питательными веществами, находятся в гумусовом горизонте, то древесные растения будут испытывать недостаток элементов питания.

При формировании насаждений основополагающее значение имеет сохранность лесных культур, анализ которой следует проводить с учетом фаз их роста и развития. Последние показатели отражают качественное и количественное состояние лесных культур на протяжении конкретного периода жизни. основоположниками учения о фазах роста и развития являются профессор Кобранов Н. П. и профессор Трещевский И. В. [7, 13].

Самой первой фазой роста и развития лесных культур является фаза приживания (возраст культур 1–3 года). Обусловлена она тем, что после выкопки посадочного материала, его пере-

возки и посадки на лесокультурной площади растения оказываются в совершенно новой для них экологической обстановке. При этом неизбежны повреждения молодых растений. Сразу после посадки наступает трудный для растений период адаптации к новой среде произрастания. Преодоление этой фазы торможения ростовых процессов происходит после того, как текущий прирост в высоту станет большим, чем был последний прирост в питомнике. В фазе приживания большое внимание надо уделять агротехническим уходам и дополнению лесных культур. Для контроля качества на первом и третьем году жизни проводится инвентаризация лесных культур и определяется их приживаемость.

Фаза индивидуального роста предшествует смыканию лесных культур (возраст 3–10 лет). На этом этапе развития растения не соприкасаются между собой ни корнями, ни кронами, т. е. растут обособлено друг от друга. Наблюдается усиленный рост как надземной, так и подземной частей. Длительность данной фазы четко определяется густотой посадки. В более густых культурах она короче, ибо они раньше начинают смыкаться кронами. На данном этапе развития первоочередное значение приобретают лесоводственные ухода (осветления), а оценка качества лесных культур проводится путем инвентаризации по переводу культур в покрытые лесом земли (в возрасте 7 лет). При этом наряду со средней высотой определяется их количество на 1 га, т. е. практически анализируется их сохранность.

Таблица 2

## Агрохимические свойства почвы

Генетический горизонт	Глубина, см	Гумус, %	pH	Гидролитическая кислотность	Ca + Mg	Степень насыщенности основаниями, %	K <sub>2</sub> O	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>
				мг-экв. на 100 г почвы			мг на 100 г почвы	
A <sub>1</sub>	5–30	2,2	5,8	6,7	7,9	54	5,0	4,5
A <sub>2</sub> B <sub>1</sub>	31–50	0,4	6,1	2,0	4,1	67	7,1	7,3
B <sub>2</sub>	51–80	–	6,2	1,9	3,9	67	7,0	3,0
B <sub>3</sub>	81–140	–	6,2	0,8	2,8	77	1,5	4,5
D	141–160	–	5,8	4,2	8,1	66	3,9	4,7

Фаза смыкания является важнейшей в жизни насаждений (возраст 10–15 лет). Длительность данной фазы также находится в прямой зависимости от густоты посадки, уменьшаясь во времени с ее увеличением. Смыкание культур кронами происходит в два этапа: сначала в рядах, затем между рядами. Началом фазы следует считать уменьшение прироста по высоте и диаметру, а окончанием – увеличение показателей роста по диаметру и высоте. В этом возрасте большое значение имеет лесоводственный уход (прочистки).

Фаза чащи характеризуется полным смыканием искусственных молодняков и началом отмирания нижних сучьев (возраст 15–20 лет). У деревьев начинается формирование кроны и создается напряженность, порождаемая внутривидовой борьбой. В этот период большое значение должно уделяться рубкам ухода по регулированию густоты стояния лесных культур.

На более поздних этапах своего формирования искусственные насаждения последовательно проходят фазы жердняка, формирования стволов, приспевания, спелости и распада.

Учитывая, что фаза чащи является наиболее критичной в общем цикле развития насаждений, нами было проведено обследование 17-летних чистых по составу лесных культур основных лесообразующих пород. В качестве основного показателя анализировалась сохранность культур, которая наряду с приживаемостью является основным критерием качества лесных культур и представляет процент жизнеспособных растений от числа высаженных (табл. 3).

Наиболее высокой сохранностью обладают лесные культуры ели европейской (70%) и лиственницы европейской (68%). Также высокая сохранность характерна для культур березы повислой (66%). Более половины дере-

вьев сохранилось в культурах сосны обыкновенной (51%), дуба красного (53%), липы мелколистной (50%), ясеня обыкновенного (50%). Культуры клена остролистного периодически подвергались повреждению дикими животными, что привело к значительному отпаду деревьев и их низкой сохранности, которая составила 20%.

На конечном этапе исследований нами были определены результирующие показатели успешности роста лесных культур различных древесных видов (табл. 4).

Анализ таксационных показателей позволяет сделать вывод о том, что наибольшей продуктивностью в данных лесорастительных условиях обладает лиственница европейская. Она растет по I<sup>a</sup> классу бонитета, относительная полнота составляет 0,8, запас стволовой древесины равен 164 м<sup>3</sup>/га. Береза повислая и сосна обыкновенная также растут по I<sup>a</sup> классу бонитета, но их запас составляет соответственно 115 и 122 м<sup>3</sup>/га.

Ель европейская растет по I классу бонитета с запасом древесины 104 м<sup>3</sup>/га. Это подтверждает мнение В. П. Тимофеева, что лиственница может превышать по продуктивности местные хвойные породы (сосну и ель) на 20–25% [14]. По данным М. Д. Мерзленко и др., производительность лиственницы европейской в возрасте естественной спелости в среднем составляет около 1150 м<sup>3</sup>/га, а в отдельных случаях – 1500 м<sup>3</sup>/га [5].

Культуры дуба красного и ясеня обыкновенного произрастают по I классу бонитета, а их продуктивность составляет соответственно 64 и 66 м<sup>3</sup>/га. Липа европейская и клен остролистный в искусственных насаждениях растут по II классу бонитета. Запас древесины этих пород в связи с повреждением дикими животными колеблется в пределах 22–53 м<sup>3</sup>/га.

Таблица 3

## Сохранность лесных культур разных древесных видов

Порода	Вид и возраст посадочного материала	Ширина междурядий, м	Шаг посадки, м	Густота лесных культур, шт./га	Сохранилось деревьев, шт./га	Сохранность, %
Сосна обыкновенная	СН <sub>2</sub>	3	1,0	3333	1700	51
Ель европейская	СН <sub>2</sub>	3	1,0	3333	2330	70
Липа мелколистная	СЖ <sub>2+2</sub>	3	1,5	2222	1110	50
Клен остролистный	СЖ <sub>2+2</sub>	3	1,5	2222	440	20
Береза повислая	Лесные дички	3	1,0	3333	2200	66
Лиственница европейская	СН <sub>1</sub>	3	1,0	3333	2260	68
Дуб красный	СН <sub>1</sub>	3	1,0	3333	1760	53
Ясень обыкновенный	СН <sub>1</sub>	3	1,0	3333	1660	50

Таблица 4

## Таксационная характеристика лесных культур разных древесных видов

Древесный вид	$D_{ср}$ , см	$H_{ср}$ , м	Бонитет	Сумма площадей сечения, м <sup>2</sup> /га	Полнога	Запас, м <sup>3</sup> /га
Сосна обыкновенная	12,0	11,8	I <sup>a</sup>	19,1	0,67	122
Ель европейская	9,2	9,1	I	15,3	0,72	104
Липа мелколистная	9,4	5,9	II	11,9	0,53	53
Клен остролистный	7,1	5,8	II	4,5	0,32	22
Береза повислая	9,4	13,9	I <sup>a</sup>	15,8	0,65	115
Лиственница европейская	13,1	12,5	I <sup>a</sup>	23,6	0,80	164
Дуб красный	8,7	11,2	I	10,4	0,57	64
Ясень обыкновенный	10,1	10,6	I	13,3	0,62	66

**Заключение.** В условиях свежей субори на дерново-подзолистых связнопесчаных почвах, подстилаемых с глубины более 1 м мореным суглинком, лучшим ростом, сохранностью и продуктивностью в 17-летних лесных культурах обладали лиственница европейская, сосна обыкновенная, береза повислая и ель европейская. Меньшую сохранность и запас стволовой древе-

сины имели ясень обыкновенный, дуб красный, липа мелколистная и клен остролистный. Следовательно, лесорастительные свойства бывших в сельскохозяйственном пользовании дерново-подзолистых связнопесчаных почв, подстилаемых суглинком, благоприятны для роста основных лесообразующих пород, которые растут по I и I<sup>a</sup> классам бонитета.

## Список литературы

1. Романов Е. М., Нуреева Т. В., Еремин Н. В. Искусственное лесовосстановление в Среднем Поволжье: состояние и задачи по совершенствованию // Вестн. Поволж. гос. технол. ун-та. Сер.: Лес. Экология. Природопользование. 2013. № 3. С. 5–19.
2. Кулаковская Т. Н., Роговой П. П., Смян Н. И. Почвы Белорусской ССР / под ред. Т. Н. Кулаковской. Минск: Ураджай, 1974. 312 с.
3. Родин А. Р. Лесные культуры: учебник. М.: ГОУ ВПО МГУЛ, 2006. 318 с.
4. Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Носников В. В. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие: в 2 ч. Минск: БГТУ, 2019. Ч. 2. 222 с.
5. Лесоводственный опыт выращивания культур лиственницы в центре Русской равнины / М. Д. Мерзленко [и др.] // Лесохозяйственная информация: электрон. сетевой журн. 2019. № 4. С. 55–66. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (дата обращения: 10.02.2024).
6. Гвоздев В. К., Волкович А. П. 30-летний опыт выращивания лесных культур ели европейской разной густоты посадки в центральной части Беларуси // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы II Междунар. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 24–26 мая 2017 г. СПб., 2017. С. 49–52.
7. Лесные культуры и защитное лесоразведение: учеб. пособие / Г. И. Редько [и др.]. СПб.: СПбЛТА, 1999. 418 с.
8. Клыш А. С., Якимов Н. И. Результаты исследований кленовых насаждений на территории Беларуси и разработка типов лесных культур с участием клена остролистного // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. Ин-та леса Нац. акад. наук Беларуси. Гомель, 2012. Вып. 72. С. 192–200.
9. Кулакова Е. Н., Чернодубов А. И. Продуктивность культур дуба красного Курджицкого участка лесничества республики Адыгея // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2020. Т. 8, № 1 (48). С. 69–73.
10. Юркевич И. Д. Выделение типов леса при лесоустроительных работах. Минск: Наука и техника, 1980. 119 с.
11. Прокопьев А. П., Сахнов В. В. Рост и развитие лесных культур ясеня обыкновенного на границе его ареала // Научные труды Чебоксарского филиала Главного ботанического сада имени Н. В. Цицина РАН. 2021. № 17. С. 94–97.
12. Тарасов П. А., Безкоровайная И. Н., Тарасова А. В. О фитомелиорации почвы сосняков подпологовыми культурами липы мелколистной // Хвойные бореальной зоны. 2021. Т. 39, № 2. С. 109–119.
13. Кобранов Н. П. Обследование и исследование лесных культур // Труды по лесному опытному делу. Л., 1930. Вып. VIII. С. 30–39.
14. Тимофеев В. П. Лесные культуры лиственницы. М.: Лесная пром-сть, 1977. 216 с.

## References

1. Romanov E. M., Nureeva T. V., Eremin N. V. Artificial reforestation in the Middle Volga region: status and tasks for improvement. *Vestnik Povolzhskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Volga State Technological University], series: Forest. Ecology. Nature. Management, 2013, no. 3, pp. 5–19 (In Russian).

2. Kulakovskaya T. N., Rogovoy P. P., Smeyan N. I. *Pochvy Belorusskoy SSR* [Soils of the Byelorussian SSR]. Minsk, Uradzhay Publ., 1974. 312 p. (In Russian).
3. Rodin A. R. *Lesnyye kul'tury* [Forest crops]. Moscow, GUO VPO MGUL Publ., 2006. 318 p. (In Russian).
4. Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Nosnikov V. V. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye: v 2 chastyakh* [Forest crops and protective afforestation: in 2 parts]. Minsk, BSTU Publ., 2019, part. 2, 222 p. (In Russian).
5. Merzlenko M. D., Melnik P. G., Glazunov Yu. B., Kuznetsova S. L. Silvicultural experience in growing larch crops in the center of the Russian Plain. *Lesokhozyaystvennaya informatsiya: elektronnyy setevoy zhurnal* [Forestry information: electronic online journal], 2019, no. 4, pp. 55–66. URL: <http://lhi.vniilm.ru/> (accessed 10.02.2024) (In Russian).
6. Gvozdev V. K., Volkovich A. P. 30-years of experience in growing Norway spruce forest crops of different planting densities in the central part of Belarus. *Lesa Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the 2nd International scientific-technical conference], St. Peterburg, 2017, pp. 49–52 (In Russian).
7. Red'ko G. I., Merzlenko M. D., Babich N. A., Treshchevskiy I. V. *Lesnyye kul'tury i zashchitnoye lesorazvedeniye* [Forest crops and protective afforestation]. St. Peterburg: SPbLTA Publ., 1999. 418 p. (In Russian).
8. Klysh A. S., Yakimov N. I. Results of studies of maple plantations on the territory of Belarus and the development of types of forest crops with the participation of Norway maple. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva: sbornik nauchnykh trudov Instituta lesa Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Problems of forestry and forestry of the collection of scientific papers of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus], Gomel, 2012, vol. 72, pp. 199–200 (In Russian).
9. Kulakova E. N., Chernodubov A. I. Productivity of red oak crops of the Kurdzhip district forestry of the Republic of Adygea. *Aktual'nyye napravleniya nauchnykh issledovaniy XXI veka: teoriya i praktika* [Current directions of scientific research of the XXI century: theory and practice], 2020, vol. 8, no. 1 (48), pp. 69–73 (In Russian).
10. Yurkevich I. D. *Vydeleniye tipov lesa pri lesoustroitel'nykh rabotakh* [Identification of forest types during forest management work]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1980. 119 p. (In Russian).
11. Prokop'yev A. P., Sakhnov V. V. Growth and development of forest crops of common ash at the border of its range. *Nauchnyye trudy Cheboksarskogo filiala Glavnogo botanicheskogo sada imeni N. V. Tsitsina RAN* [Scientific works of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden named after N. V. Tsitsin Russian Academy Sciences], 2021, no. 17, pp. 94–97 (In Russian).
12. Tarasov P. A., Bezkorovaynaya I. N., Tarasova A. V. On the phytomelioration of pine forest soil by sub-canopy crops of small-leaved linden. *Khvoynyye boreal'noy zony* [Conifers of the boreal zone], 2021, vol. 39, no. 2, pp. 109–119 (In Russian).
13. Kobranov N. P. Survey and research of forest crops. *Trudy po lesnomu opytному delu* [Works on experimental forestry]. Leningrad, 1930, vol. VIII, pp. 30–39 (In Russian).
14. Timofeyev V. P. *Lesnyye kul'tury listvenitsy* [Forest crops of larch]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 216 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Якимов Николай Игнатъевич** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [yakimov@belstu.by](mailto:yakimov@belstu.by)

**Гвоздев Валерий Кириллович** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и почвоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [gvozdev@belstu.by](mailto:gvozdev@belstu.by)

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

### Information about the authors

**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](mailto:yakimov@belstu.by)

**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](mailto:gvozdev@belstu.by)

**Yurenua 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: [urenua@belstu.by](mailto:urenua@belstu.by)

Поступила 16.02.2024

# ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING

---

УДК: 579.64:579.69:576.533:604.2:630\*181.351

**М. Я. Острикова, О. А. Разумова, А. В. Константинов,  
С. В. Пантелеев, И. А. Хархасова**  
Институт леса Национальной академии наук Беларуси

## **РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ НАРАБОТКИ МИЦЕЛИЯ МИКОРИЗООБРАЗУЮЩИХ ГРИБОВ ДЛЯ ПОСЛЕДУЮЩЕЙ ИНОКУЛЯЦИИ В ПОЧВЕННЫЕ СУБСТРАТЫ**

Изучены некоторые морфолого-культуральные особенности роста и определен диапазон их изменчивости для некоторых представителей микоризообразующих грибов при выращивании на питательных средах различного состава, обеспечивающих высокую ростовую активность и жизнеспособность мицелия в ходе периодического культивирования и при инокуляции на органические носители. У изученных штаммов выявлена различная способность к росту на модифицированных минеральных питательных средах. На основе макро- и микросолей по прописи MS, дополненной 10% пивного сусла, разработана среда смешанного состава, являющаяся универсальной для культивирования изученных видов грибов с целью наработки биологического материала. Установлена возможность твердофазного выращивания мицелиальных культур на органических субстратах. Показано, что стерильное культивирование на листовом опаде и его смеси с верховым торфом позволяет получать мицелий целевых штаммов. Данный субстрат осваивался апробированными микоризообразующими грибами в течение 15–30 суток, являясь наиболее подходящим для получения мицелия. Разработаны приемы накопления биомассы почвенных грибов, перспективных для последующего использования в приготовлении почвенных субстратов в лесных теплично-питомнических комплексах для выращивания сеянцев лесных древесных пород, нуждающихся в микоризации.

**Ключевые слова:** микоризообразующие грибы, чистые культуры, культивирование *in vitro*, наработка мицелия, субстраты.

**Для цитирования:** Острикова М. Я., Разумова О. А., Константинов А. В., Пантелеев С. В., Хархасова И. А. Разработка методики наработки мицелия микоризообразующих грибов для последующей инокуляции в почвенные субстраты // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 88–94.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-11.

**M. Ya. Ostriкова, O. A. Razumova, A. V. Konstantinov,  
S. V. Panteleev, I. A. Kharkhasova**  
Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus

## **THE DEVELOPMENT OF A METHOD FOR MYCORRHIZAL FUNGI MYCELIA PRODUCING FOR INOCULATION INTO SOIL SUBSTRATES**

Morphological and cultural characteristics of mycorrhizal fungi representatives during growing on nutrient media of various compositions and organic carriers were studied. Nutrient media ensuring high growth activity and viability of the mycelium during periodic *in vitro* cultivation were selected. Based on macro- and microsalts according to the MS recipe, supplemented with 10% wort, a mixed composition medium has been developed, which is universal for cultivating the studied species of fungi in order to produce their biological material. The range of variability in morphological and cultural characteristics of various species of mycorrhizal fungi pure cultures was determined depending on the composition of the medium used for cultivation and the biological characteristics of the strains. The possibility of solid-phase cultivation of mycelial cultures on organic substrates has been studied. It has been shown that

cultivation on sterile leaf litter or its mixture with high-moor peat allows the production of mycelium of target strains. Leaf litter has been identified as the most suitable substrate for mycelium of almost all tested mycorrhizal fungi obtaining. The methods for biomass of promising mycorrhizal fungi obtaining have been developed. This biological material will be used in nurseries as an addition to soil substrates in order to activate mycorrhization process in forest tree seedlings that require it.

**Keywords:** mycorrhizal fungi, pure cultures, *in vitro* cultivation, mycelium production, substrates.

**For citation:** Ostriкова М. Я., Разумова О. А., Константинов А. В., Пантелеев С. В., Хархасова И. А. The development of a method for mycorrhizal fungi mycelia producing for inoculation into soil substrates. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 88–94 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-11.

**Введение.** Ассоциации корней растений с комплексом почвенных грибов широко распространены в природе. Они способствуют улучшению корневого питания и водного обмена растений, принимают участие в обеспечении устойчивости к засухе, засолению, тяжелым металлам, подавлению патогенной микрофлоры. Основная функция грибов в микробном сообществе почв сводится к интенсивному разложению органических остатков и обеспечению круговорота биогенных элементов [1–7]. Особое значение формирование симбиотических эктомикориз (оплетения корней гифами гриба) имеет для древесных пород, являясь условием их нормального роста и развития. Древесные породы семейств *Pinaceae* и *Fagaceae*, включая основные виды сосен, елей и дубов, должны быть микоризированы для нормальной приживаемости и роста в естественных условиях [8–10].

С учетом интенсивного развития тенденций по экологизации лесного и сельского хозяйства, природоохранной деятельности наиболее перспективным выступает применение микробных биотехнологий для создания интегрированных растительно-микробных систем. Наиболее перспективным является способ выращивания лесных саженцев с применением микробиологических препаратов, улучшающих микробиоценоз почв, включая бедные и антропогеннонарушенные земли [11–13]. Наибольший эффект от искусственной микоризации наблюдается при создании лесных культур на землях бывшего сельскохозяйственного использования и плантационном лесовыращивании [14, 15].

В мировой практике разработаны технологии для производства, в том числе в промышленных масштабах, микоризирующих инокулятов, действие которых не является универсальным [16–18]. При этом большинство разработок направлены на применение эндомикориз в сельском хозяйстве, при выращивании зерновых и бобовых культур [19]. На рынке имеется ряд биологических препаратов для садовых и лесных древесных растений, содержащих симбиотические грибы. Однако при использовании указанных средств следует учитывать видовую

принадлежность действующего начала, что указывает на необходимость создания отечественных разработок на основе почвенных грибов, типичных для условий нашей страны.

Целью данного исследования явилась разработка методики наработки мицелия микоризообразующих грибов для последующей инокуляции в почвенные субстраты.

**Основная часть.** Объектами исследования являлись чистые культуры микоризообразующих грибов: дождевик грушевидный *Lycoperdon pyriforme*, гриб-зонтик пестрый *Macrolepiota procera*, сморчок *Morchella importuna*, навозник домашний *Coprinellus domesticus*.

Чистые культуры грибов были взяты из Коллекции штаммов грибов ГНУ «Институт леса НАН Беларуси» или выделены из отмытых в проточной воде и стерилизованных 96%-ным этиловым спиртом и 0,1%-ной сулемой фрагментов корневых окончаний на плотных питательных средах различного состава.

Приготовление питательных сред проводилось согласно общепринятым подходам. Водородный показатель (рН) сред доводили до 5,7.

Сусло-агар (СА) – естественный субстрат, включающий в себя неохмеленное пивное сусло в концентрации 4% (4% СА) и 10% (10% СА) и агар-агар – 20,0 г для приготовления 1 л питательной среды. Стерилизация среды – автоклавирование (0,5 атм, 30 мин).

Среда Murashige-Skoog (MS). Концентрация макролей (мг/л):  $\text{KNO}_3$  – 1900,  $\text{NH}_4\text{NO}_3$  – 1650,  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 440,  $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 370,  $\text{KH}_2\text{PO}_4$  – 170, EDTA – 37,3,  $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 27,8. Содержание микролей и витаминов в среде следующее (мг/л):  $\text{H}_3\text{BO}_3$  – 6,2;  $\text{MnSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$  – 22,3;  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$  – 8,6; KI – 0,75;  $\text{Na}_2\text{MoO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – 0,25;  $\text{Cu}_2\text{SO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$  – 0,25;  $\text{CoCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$  – 0,02; мионизитол – 100; тиамин – 1,0; никотиновая кислота – 0,5; пиридоксин – 0,5; глицин – 2,0. В качестве источника углерода использовалась сахароза или глюкоза в концентрации 20,0 или 30,0 г/л, в качестве уплотнителя – микробиологический агар в концентрации 7,0 г/л. Кроме того, в исследовании применяли среду MS с половинной концентрацией макролей

( $\frac{1}{2}$ MS), среду  $\frac{1}{2}$ MS с полуторной концентрацией микросолей железа и витаминов ( $\frac{1}{2}$ MSm), а также среду  $\frac{1}{2}$ MS, дополненную 10% пивного сусла ( $\frac{1}{2}$ MS + 10% C).

Среда Сабуро (СС), (г/л): пептон ферментативный сухой – 7,0; гидролизат соевой муки ферментативный – 3,0; глюкоза кристаллическая гидратная – 40; экстракт автолизированных дрожжей осветленный – 4,0; агар микробиологический (для плотной среды) – 12. Стерилизация среды – автоклавирувание при 1 атм (121°C) в течение 20 мин.

Картофельно-глюкозный агар (КГА), (г/л): картофель – 200; глюкоза – 20; агар-агар – 20. Стерилизация автоклавируванием (1 атм, 30 мин).

Среда Чапека (СЧ), г/л: KCl – 0,5; MgSO<sub>4</sub> – 0,5; K<sub>2</sub>HPO<sub>4</sub> – 1,0; FeSO<sub>4</sub> – 0,01; NaNO<sub>3</sub> – 2,0; сахароза – 30,0; агар-агар – 20,0. pH имеет слабощелочное значение. Стерилизация среды – автоклавирувание при 1 атм (15 мин).

Полученные чистые культуры грибов идентифицированы с помощью молекулярно-генетического метода. В качестве маркерных регионов использованы видоспецифические ITS1 и ITS2. Визуализация и интерпретация результатов осуществлялась с помощью специального программного обеспечения Sequencing Analysis 5.1.1.

Сравнительный анализ секвенированных последовательностей в базе данных NCBI BLAST показал принадлежность полученных штаммов к следующим видам: *Lycoperdon pyriforme* (депозит NCBI OR506239), *Macrolepiota procera* (депозит NCBI OR506238), *Morchella importuna* (депозит NCBI OQ694816), *Coprinellus domesticus* (депозит NCBI OQ694595).

Вегетативный рост штаммов изучали на питательной среде сусло-агар, оценивая морфолого-культуральные особенности микоризообразующих грибов. Инокулированные чашки Петри плотно оборачивали полиэтиленовой пленкой для предотвращения пересыхания и культивировали в течение 2–4 недель при температуре 25°C.

*Lycoperdon pyriforme* растет в виде беловато-кремового, нитчатого, воздушного мицелия. Форма колоний круглая, край цельный. Профиль колоний плоский с валобразным краем. Инверсум без признаков изменений окраски и структуры питательной среды. Плотность колонии 3 балла, высота колонии 2 мм, ростовой коэффициент на 7-е сутки 46,4. Время инкубации 27 суток.

*Macrolepiota procera*: мицелий паутинистой волокнистой структуры с радиальными тяжами серовато-бурого цвета. Форма колонии круглая, ровная с куполообразной центральной частью. Инверсум с явными признаками ферментации, проявляющимися в виде зоны желтого цвета в центральной части колонии и очагов медного цвета, неравномерно располагающихся в окру-

ности этого пятна. Плотность колонии 4 балла, высота колонии 3 мм, ростовой коэффициент на 7-е сутки 41,6.

*Morchella importuna*: мицелий желтовато-белый войлочный. Рост колоний интенсивный, диаметр колоний до 100 мм к 7-м суткам. Профиль колоний плоский с каплевидным центром. Реверзум колоний темноокрашенный. На чашках Петри: сусло-агаровая питательная среда (на 1 л пивного сусла 6–8 по Баллингу 20 г агара); pH 5,5–6,5; температура выращивания 25°C. Плотность колонии 4 балла, высота колонии 2 мм, ростовой коэффициент на 7-е сутки 48. Время инкубации 12 суток.

*Coprinellus domesticus*: мицелий ватообразный, воздушный, молочно-белого цвета. Колония войлочная; поверхность колонии ровная; форма колонии по характеру развития воздушного мицелия неравномерная со вздутием в центре; зона роста однородная; край колонии прижатый; внешняя линия колонии гладкая; реверзум неизменный; плотность колонии 3 балла, высота колонии 2 мм, ростовой коэффициент на 7-е сутки 52. Время инкубации 12 суток.

Также был изучен показатель диаметра мицелия при выращивании грибов на агаризованных средах, который является важной характеристикой при скрининге штаммов, определяющей как скорость накопления биомассы за счет быстрого поглощения нутриентов различной степени доступности, так и интенсивность освоения доступного субстрата, что играет особую роль при конкурентном взаимодействии.

В исследовании использованы искусственные минеральные питательные среды и среды на основе естественных компонентов. Чистые культуры грибов проявляли признаки роста мицелия только на 5–6 сутки после посева агарового блока, в то же время культуры *Morchella importuna* и *Coprinellus domesticus* характеризовались менее продолжительной лаг-фазой (начало роста уже в первые и третьи сутки соответственно). На минеральных средах (MS,  $\frac{1}{2}$ MS,  $\frac{1}{2}$ MSm) рост *C. domesticus* не наблюдался.

Таким образом, полученные показатели диаметра колоний существенно различались в зависимости от таксономической принадлежности изучаемых штаммов грибов и состава питательных сред (табл. 1).

Для изучения интенсивности накопления биомассы штаммами изучаемых грибов была проведена серия взвешиваний мицелиев колоний, полученных на агаризованных питательных средах различного состава. Проводился расчет соотношения сырой и сухой массы для оценки влияния присутствия минеральных компонентов и сахаристости на формирование колоний.

Таблица 1

## Показатели диаметра колоний макромицетов на 30-е сутки культивирования в зависимости от состава плотной питательной среды, мм ± σ

Вид	Питательная среда								
	MS	½MS	½MSm	½MS + 10% C	10% CA	4% CA	КГА	СС	СЧ
<i>Coprinellus domesticus</i>	–	–	–	51,1 ± 4,3*	92,5 ± 12,5	100,0*	79,4 ± 6,4	83,4 ± 9,6	100,0
<i>Morchella importuna</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0*	73,2 ± 9,9	78,3 ± 8,5	59,6 ± 6,6*
<i>Macrolepiota procera</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	92,3 ± 7,1	98,5 ± 13,6	84,3 ± 4,3	87,4 ± 10,2	92,3 ± 4,4
<i>Lycoperdon pyriforme</i>	100,0	100,0	100,0	100,0	98,7 ± 5,4	92,4 ± 11,8	100,0	100,0	90,2 ± 9,5

Примечание: σ – стандартное отклонение; \*различия статистически достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Мицелий, полученный в конце пассажа, отделяли от питательной среды путем нагрева закрытых чашек Петри в микроволновой печи до начала расплавления агара, после чего тонким шпателем аккуратно снимали колонию, удалив излишки влаги фильтровальной бумагой, и взвешивали. Затем размещали исследуемый материал на листе пергаментной бумаги с известной массой, высушивали при комнатной температуре несколько суток и повторно взвешивали по достижении мицелием воздушно-сухого состояния (табл. 2).

В качестве примера важности данных о средней массе мицелия при поверхностном культивировании грибов на питательных средах можно привести следующее. На среде 4% СА при почти одинаковых показателях скорости обрастания чашек Петри мицелием накопление сухой массы различалось. Было отмечено, что для грибов *Morchella importuna* и *Macrolepiota procera* оно достигало  $0,17 \pm 0,02$  г и  $0,19 \pm 0,04$  г соответственно, при этом в первом случае соотношение сырой и сухой массы 11,3 говорит о более интенсивном накоплении органического вещества, в то время как показатель 13,6 во втором случае свидетельствует об оводненности мицелия. Мицелий указанных штаммов на среде ½MS + 10% C содержал соответственно до  $0,24 \pm 0,04$  и  $0,14 \pm 0,02$  г сухого вещества, а соотношение сырой массы к сухой достигало 10,9 и 22,3, т. е. при сходной интенсивности роста мицелий *Macrolepiota procera* накапливал сухое вещество в 2 раза медленнее.

Для выращивания плодовых тел различных грибов в искусственных условиях часто используются твердые сыпучие субстраты, включающие зерно, отруби, опилки, солому. В случае необходимости наработки мицелия для целей создания микоризованных компостов указанные субстраты пригодны не в полной мере. В связи с этим нами был поставлен эксперимент по культивированию отдельных штаммов грибов на субстратах из листового опада и его смеси с верховым торфом в соотношении 1:1.

В качестве субстрата для твердо-фазного культивирования использовали листовую опад и его смесь с торфом.

Инокуляцию мицелия на субстраты в культуральные сосуды (банки объемом 300 мл) проводили стерильно, перенося агаровые блоки при помощи скальпеля. Культивирование, продолжительностью 15 суток проводили в термостате при температуре 24°C. Все опытные варианты включали три повторности.

Для оценки ростовых показателей мицелия микоризообразующих грибов при твердофазном культивировании на различных субстратах на 20-е сутки от начала инкубации после посева маточного мицелия на субстраты проводили оценку индекса, выражаемого в баллах, по предлагаемой нами шкале: 1 балл – мицелий занимал до 20% объема субстрата, 2 балла – от 20 до 40%, 3 балла – от 40 до 60%, 4 балла – от 60 до 80%, 5 баллов – от 80 до 100% (табл. 3).

Таблица 2

## Средние показатели сырой и сухой биомассы микоризообразующих грибов в зависимости от состава питательной среды при культивировании на чашках Петри, г ± σ

Вид	4% CA			½MS + 10% C		
	Масса сырая	Масса сухая	Соотношение	Масса сырая	Масса сухая	Соотношение
<i>Coprinellus domesticus</i>	1,45 ± 0,21*	0,23 ± 0,05	6,3	0,36 ± 0,08*	0,09 ± 0,01	4,0
<i>Morchella importuna</i>	1,92 ± 0,35*	0,17 ± 0,02	11,3	2,61 ± 0,19*	0,24 ± 0,04*	10,9
<i>Macrolepiota procera</i>	2,58 ± 0,31	0,19 ± 0,04	13,6	3,12 ± 0,21	0,14 ± 0,02	22,3
<i>Lycoperdon pyriforme</i>	2,26 ± 0,34	0,13 ± 0,02*	17,4	3,43 ± 0,51	0,21 ± 0,02	16,3

Примечание: σ – стандартное отклонение; \*различия статистически достоверны при уровне значимости  $p < 0,05$ .

Таблица 3

## Результаты наработки мицелия микоризообразующих грибов на различных органических субстратах

Вид гриба	Листовой опад	Листовой опад и торф	Морфологические особенности мицелия
<i>Coprinellus domesticus</i>	5	5	Белый ватообразный мицелий
<i>Morchella importuna</i>	5	5	Серовато-белый плотный
<i>Macrolepiota procera</i>	4	1	Белый нитчатый мицелий, тонко оплетающий фрагменты субстрата
<i>Lycoperdon pyriforme</i>	3	1	Серый воздушный мицелий с рассеянными уплотнениями

В результате работы было выявлено, что на субстратах из листового опада мицелий большинства апробированных штаммов развивался интенсивнее, чем в случае смешивания листового опада с торфом. Это может быть связано как с меньшей влажностью субстрата, так и с меньшей доступностью питательных веществ в указанном субстрате в результате неподходящей реакции среды или иного химического состава.

Интенсивность роста мицелия ряда видов грибов на субстрате из листового опада различалась. Так, мицелий *Macrolepiota procera* и *Lycoperdon pyriforme* развивался на листовом опаде в разы интенсивнее. В то же время штаммы *Coprinellus domesticus* и *Morchella importuna* характеризовались сходными высокими показателями роста вне зависимости от состава апробированных субстратов, достигая в конце периода культивирования 85 и 100% объема субстрата соответственно.

После 3–4 недель выращивания на питательных субстратах отмечен ряд признаков, свидетельствующих о старении культур грибов и изменении их биохимического потенциала. Так, наблюдались изменения цвета и структуры мицелия и его уплотнения, наличие характерной желтовато-бурой окраски говорило о появлении вторичных метаболитов и накоплении продуктов обмена.

Таким образом, штаммы *Coprinellus domesticus* и *Morchella importuna* являются наименее требовательными к виду естественного субстрата, демонстрируя устойчивый рост, в том числе в ходе последовательных субкультивирований.

Листовой опад определен как наиболее подходящий субстрат для получения мицелия практически всех апробированных микоризообразующих

грибов, что делает данные виды перспективными для дальнейшего практического применения.

Измерение водородного показателя органического носителя после цикла культивирования изученных штаммов показало значение pH в пределах 4,2–5,2, что позволяет использовать его в приготовлении субстратов, предназначенных для выращивания лесного посадочного материала хвойных пород.

**Заключение.** В результате проведенных исследований изучены морфолого-культуральные особенности роста мицелия ряда штаммов микоризообразующих грибов на плотных питательных средах. Выявлено, что колонии *Morchella importuna*, *Macrolepiota procera*, *Lycoperdon pyriforme* интенсивно развиваются на минеральной среде MS в различных модификациях, включая вариант с добавлением 4% сусла, в то время как штамм *Coprinellus domesticus* формирует колонии только на средах с добавлением естественных компонентов.

На основе макро- и микросолей по прописи MS, дополненной 10% пивного сусла, разработана среда смешанного состава, являющаяся универсальной для культивирования изученных видов грибов с целью наработки биологического материала.

Были оптимизированы способы наработки биомассы мицелия микоризообразующих грибов, апробирована методика стерильного культивирования на органических субстратах, приготовленных с использованием листового опада и верхового торфа.

Изучение возможности твердофазного культивирования мицелиальных культур позволяет использовать их в приготовлении почвенных субстратов для выращивания посадочного материала древесных пород в лесных питомниках.

## Список литературы

1. Коваленко А. Е. Эктомикоризные грибы: ценологический аспект // Микология и фитопатология. 1994. Т. 28, № 3. С. 81–91.
2. Smith S. E., Read D. J. Mycorrhizal Symbiosis. London: Academic Press Limited, 1997. 514 p.
3. Agerer R. Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae // Mycol Progress. 2006. Vol. 5, no. 2. P. 67–107. DOI: 10.1007/s11557-006-0505-x.
4. Шубин В. И. Макромицеты лесных фитоценозов таежной зоны и их использование. Л.: Наука, 1990. 197 с.
5. Andy F., Taylor A. F. S. Fungal diversity in ectomycorrhizal communities: sampling effort and species detection // Plant Soil. 2002. Vol. 244, no. 1 (2). P. 19–28. DOI: 10.1023/A:1020279815472.

6. Hutchinson L. J. Description and identification of cultures of ectomycorrhizal fungi found in North America // *Mycotaxon*. 1991. Vol. 42. P. 387–504.
7. Tichelen van K. K., Colpaert J. V., Vangronsveld J. Ectomycorrhizal protection of *Pinus sylvestris* against copper toxicity // *New Phytol*. 2001. Vol. 150. P. 203–213. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2001.00081-x.
8. Heijden van der M. G. A., Horton T. R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems // *Journal of ecology*. 2009. Vol. 97. P. 1139–1150. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01570.
9. Finlay R. D. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles // *Mycologist*. 2004. Vol. 18. P. 91–96. DOI: 10.1017/S0269915X04002058.
10. Шемаханова Н. М. Микотрофия древесных пород. М.: Изд-во АН СССР, 1962. 374 с.
11. Ashkannejhad S., Horton T. R. Ectomycorrhizal ecology under primary succession on coastal sand dunes: interactions involving *Pinus contorta*, suilloid fungi and deer // *New Phytol*. 2006. Vol. 169. P. 345–354. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01593-x.
12. Cornelissen J. H. C., Aert R., Cerabolini B., Werger M. J. A. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy // *Oecologia*. 2001. Vol. 129 (4). P. 611–619. DOI: 10.1007/s004420100752.
13. Соколов М. С., Глинушкин А. П., Торопова Е. Ю. Средообразующие функции здоровой почвы – фитосанитарные и социальные аспекты // *Агрохимия*. 2015. № 8. С. 81–94.
14. Amaranthus M. P., Perry D. A. Effect of soil transfer on ectomycorrhiza formation and the survival and growth of conifer seedlings on old, nonreforested clear-cuts // *Canadian Journal of Forest Research*. 1987. Vol. 17 (8). P. 944–950. DOI: 10.1139/x87-147.
15. Muthukumar T., Udaiyan K., Shanmughavel P. Mycorrhiza in sedges – an overview // *Mycorrhiza*. 2004. Vol. 14. P. 65–77. DOI: 10.1007/s00572-004-0296-3.
16. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy / J. H. C. Cornelissen [et al.] // *Oecologia*. 2001. Vol. 129, no. 4. P. 611–619. DOI: 10.1007/s004420100752.
17. Frank B. On the nutritional dependence of certain trees on the root symbiosis with belowground fungi // *Mycorrhiza*. 2005. No. 15. P. 267–275. DOI: 10.1007/s00572-004-0329-y.
18. Flykt E., Timonen S., Pennanen T. Variation of ectomycorrhizal colonisation in Norway spruce seedlings in finnish forest nurseries // *Silva Fennica*. 2008. Vol. 42, no. 4. P. 571–585. DOI: 10.14214/sf.234.
19. Berruti A. AMF components from a microbial inoculum fail to colonize roots and lack soil persistence in an arable maize field // *Symbiosis*. 2016. Vol. 72, no. 1. P. 73–80. DOI: 10.1007/s13199-016-0442-7.

### References

1. Kovalenko A. E. Ectomycorrhizal fungi: cenological aspect. *Mikologiya i fitopatologiya* [Mycology and phytopathology]. 1994, vol. 28, no. 3, pp. 81–91 (In Russian).
2. Smith S. E., Read D. J. *Mycorrhizal Symbiosis*. London: Academic Press Limited, 1997. 514 p.
3. Agerer R. Fungal relationships and structural identity of their ectomycorrhizae. *Mycol. Progress*, 2006, vol. 5, no. 2, pp. 67–107. DOI: 10.1007/s11557-006-0505-x.
4. Shubin V. I. *Makromitsety lesnykh fitotsenozov tayezhnoy zony i ikh ispol'zovaniye* [Macromycetes of forest phytocenoses of the taiga zone and their use]. Leningrad, Nauka Publ., 1990. 197 p. (In Russian).
5. Andy F., Taylor A. F. S. Fungal diversity in ectomycorrhizal communities: sampling effort and species detection. *Plant & Soil*. 2002, vol. 244, no. 1 (2), pp. 19–28. DOI: 10.1023/A:1020279815472.
6. Hutchinson L. J. Description and identification of cultures of ectomycorrhizal fungi found in North America. *Mycotaxon*, 1991, vol. 42, pp. 387–504.
7. Tichelen van K. K., Colpaert J. V., Vangronsveld J. Ectomycorrhizal protection of *Pinus sylvestris* against copper toxicity. *New Phytol*, 2001, vol. 150, pp. 203–213. DOI: 10.1046/j.1469-8137.2001.00081-x.
8. Heijden van der M. G. A., Horton T. R. Socialism in soil? The importance of mycorrhizal fungal networks for facilitation in natural ecosystems. *Journal of ecology*, 2009, vol. 97, pp. 1139–1150. DOI: 10.1111/j.1365-2745.2009.01570.
9. Finlay R. D. Mycorrhizal fungi and their multifunctional roles. *Mycologist*, 2004, vol. 18, pp. 91–96. DOI: 10.1017/S0269915X04002058.
10. Shemakhanova N. M. *Mikotrofiya drevesnykh porod* [Mycotrophy of tree species]. Moscow, AN SSSR Publ., 1962. 374 p. (In Russian).
11. Ashkannejhad S., Horton T. R. Ectomycorrhizal ecology under primary succession on coastal sand dunes: interactions involving *Pinus contorta*, suilloid fungi and deer. *New Phytol*, 2006, vol. 169, pp. 345–354. DOI: 10.1111/j.1469-8137.2005.01593-x.
12. Cornelissen J. H. C., Aert R., Cerabolini B., Werger M. J. A. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy. *Oecologia*, 2001, vol. 129 (4), pp. 611–619. DOI: 10.1007/s004420100752.

13. Sokolov M. S., Glinushkin A. P., Toropova Ye. Yu. Environment-forming functions of healthy soil – phytosanitary and social aspects. *Agrokhimiya* [Agrochemistry], 2015, no. 8, pp. 81–94 (In Russian).

14. Amaranthus M. P., Perry D. A. Effect of soil transfer on ectomycorrhiza formation and the survival and growth of conifer seedlings on old, nonreforested clear-cuts. *Canadian Journal of Forest Research*, 1987, vol. 17 (8), pp. 944–950. DOI: 10.1139/x87-147.

15. Muthukumar T., Udaiyan K., Shanmughavel P. Mycorrhiza in sedges – an overview. *Mycorrhiza*, 2004, vol. 14, pp. 65–77. DOI: 10.1007/s00572-004-0296-3.

16. Cornelissen J. H. C., Aert R., Cerabolini B., Werger M. J. A. Carbon cycling traits of plant species are linked with mycorrhizal strategy. *Oecologia*, 2001, vol. 129, no. 4, pp. 611–619. DOI: 10.1007/s004420100752.

17. Frank B. On the nutritional dependence of certain trees on the root symbiosis with belowground fungi. *Mycorrhiza*, 2005, no. 15, pp. 267–275. DOI: 10.1007/s00572-004-0329-y.

18. Flykt E., Timonen S., Pennanen T. Variation of ectomycorrhizal colonisation in Norway spruce seedlings in finnish forest nurseries. *Silva Fennica*, 2008, vol. 42, no. 4, pp. 571–585. DOI: 10.14214/sf.234.

19. Berruti A. AMF components from a microbial inoculum fail to colonize roots and lack soil persistence in an arable maize field. *Symbiosis*, 2016, vol. 72, no. 1, pp. 73–80. DOI: 10.1007/s13199-016-0442-7.

### Информация об авторах

**Острикова Марина Яковлевна** – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник научно-исследовательского отдела генетики, селекции и биотехнологии. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: heterobasidion@mail.ru

**Разумова Ольга Александровна** – кандидат биологических наук, ведущий научный сотрудник лаборатории геномных исследований и биоинформатики. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: o-kovalevich@mail.ru

**Константинов Андрей Вячеславович** – магистр биологических наук, научный сотрудник лаборатории геномных исследований и биоинформатики. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: avkonstantinof@mail.ru

**Пантелеев Станислав Викторович** – кандидат биологических наук, доцент, заведующий лабораторией геномных исследований и биоинформатики. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: stasikdesu@mail.ru

**Хархасова Ирина Алексеевна** – аспирант лаборатории геномных исследований и биоинформатики. Институт леса Национальной академии наук Беларуси (246050, г. Гомель, ул. Пролетарская, 71, Республика Беларусь). E-mail: harhasova18@mail.ru

### Information about the authors

**Ostrikova Marina Yakovlevna** – PhD (Biology), Senior Researcher, the Research Department of Genetics, Breeding and Biotechnology. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: heterobasidion@mail.ru

**Razumova Olga Aleksandrovna** – PhD (Biology), Leading Researcher, the Laboratory of Genomic Research and Bioinformatics. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: kovalevich@mail.ru

**Konstantinov Andrey Vyacheslavovich** – Master of Biology, Researcher, the Laboratory of Genomic Research and Bioinformatics. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: avkonstantinof@mail.ru

**Pantelev Stanislav Viktorovich** – PhD (Biology), Associate Professor, Head of the Laboratory of Genomic Research and Bioinformatics. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: stasikdesu@mail.ru

**Kharkhasova Irina Alekseevna** – PhD student, the Laboratory of Genomic Research and Bioinformatics. Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus (71, Proletarskaya str., 246050, Gomel, Republic of Belarus). E-mail: harhasova18@mail.ru

Поступила 15.03.2024

УДК 630\*453

А. А. Сазонов<sup>1</sup>, В. Н. Кухта<sup>2</sup>, Д. А. Бабуль<sup>1</sup>, В. Н. Некраш<sup>1</sup>, П. В. Пацукевич<sup>1</sup><sup>1</sup>РУП «Белгослес»<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

### СОСТОЯНИЕ ДРЕВОСТОЕВ В ОЧАГАХ СИНЕЙ СОСНОВОЙ ЗЛАТКИ (*PHAENOPS CYANEA* (FABRICIUS, 1775)) И РЕЗУЛЬТАТЫ АНАЛИЗА ЕЕ МИКРОПОПУЛЯЦИЙ

На основании результатов рекогносцировочного лесопатологического обследования, анализа пробных площадей и модельных деревьев в совместных очагах *Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775) и *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. показана доминирующая роль *Ph. cyanea* в комплексе стволовых вредителей сосны Гомельской области в 2022 г. В очагах корневых гнилей выявлено 13 видов стволовых вредителей, заселяющих нижнюю часть стволов усыхающих сосен. Кроме *Ph. cyanea* это такие виды, как *Monochamus galloprovincialis* (Oliv., 1795), *Acanthocinus aedilis* (L., 1758), *Tomicus piniperda* (L., 1758), *Trypodendron lineatum* (Oliv., 1795), *Ips sexdentatus* (Börn., 1776), *Rhagium inquisitor* (L., 1758), *Spondylis buprestoides* (L., 1758), *Orthotomicus proximus* (Eich., 1867), *Pissodes piniphilus* (Herbst, 1797), *Crypturgus cinereus* (Herbst, 1793), *Arhopalus rusticus* (L., 1758), *Cerambycidae sp.* (Latreille, 1802). Среди них встречаемость *Ph. cyanea* самая высокая, данный вид заселяет от 3,3 до 14,5% деревьев. Нижняя граница района поселения *Ph. cyanea* на дереве находится на высоте 0–0,7 м, а верхняя достигает 2,0–20,7 м. *Ph. cyanea* заселяет деревья, отмирающие по трем типам – одновременному, комлевому и смешанному. Для заселения дерева, приводящего его к гибели, достаточно нескольких сотен личинок златки, а в молодняках второго класса возраста – нескольких десятков. В очагах корневых гнилей количество заселенных златкой деревьев сосны может составлять от 14 до 229 шт./га, а количество вредителя под корой – от 6,2 до 42,4 тыс. особей на 1 га.

**Ключевые слова:** *Phaenops cyanea*, *Pinus sylvestris*, стволовые вредители, сосновые древостои, микропопуляции.

**Для цитирования:** Сазонов А. А., Кухта В. Н., Бабуль Д. А., Некраш В. Н., Пацукевич П. В. Состояние древостоев в очагах синей сосновой златки (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) и результаты анализа ее микропопуляций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 95–105.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-12.

А. А. Sazonov<sup>1</sup>, V. N. Kukhta<sup>2</sup>, D. A. Babul<sup>1</sup>, V. N. Nekrash<sup>1</sup>, P. V. Patsukevich<sup>1</sup><sup>1</sup>Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles”<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

### CONDITION OF TREE STANDS IN FOCI OF STEELBLUE JEWEL BEETLE (*PHAENOPS CYANEA* (FABRICIUS, 1775)) IN THE RESULTS OF THE ANALYSIS OF ITS MICROPOPULATIONS

Based on the results of reconnaissance forest pathological survey, analysis trial areas and model trees in joint foci of *Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775) and *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref., the dominant role of *Ph. cyanea* in the complex of stem pests of pine in the Gomel region in 2022 is shown. 13 species of stem pests that colonize the lower part of the trunks of dying pine trees were identified in the foci of root rot. In addition to *Ph. cyanea* are species such as *Monochamus galloprovincialis* (Oliv., 1795), *Acanthocinus aedilis* (L., 1758), *Tomicus piniperda* (L., 1758), *Trypodendron lineatum* (Oliv., 1795), *Ips sexdentatus* (Börn., 1776), *Rhagium inquisitor* (L., 1758), *Spondylis buprestoides* (L., 1758), *Orthotomicus proximus* (Eich., 1867), *Pissodes piniphilus* (Herbst, 1797), *Crypturgus cinereus* (Herbst, 1793), *Arhopalus rusticus* (L., 1758), *Cerambycidae sp.* (Latreille, 1802). Among them is the occurrence of *Ph. cyanea* is the highest, this species inhabits from 3.3 to 14.5% of trees. The lower border of the settlement area *Ph. cyanea* on a tree is at an altitude of 0–0.7 m, and the upper reaches 2.0–20.7 m. Trees drying out with the participation of *Ph. cyanea*, form three possible types dying off – simultaneous, bottom and mixed. A few hundred beetle larvae and several dozen in young growths of the second age class are enough in order to successfully colonize a tree, leading to its death. In the foci of root rot, the number of borer colonized pine trees can range from 14 to 229 pcs./ha, and the number of pests under the bark can range from 6.2 to 42.4 thousand individuals per 1 hectare.

**Keywords:** *Phaenops cyanea*, *Pinus sylvestris*, stem pests, pine stands, micropopulations.

**For citation:** Sazonov A. A., Kukhta V. N., Babul' D. A., Nekrash V. N., Patsukevich P. V. Condition of tree stands in foci of Steelblue Jewel Beetle (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) in the results of the analysis of its micropopulations. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 95–105 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-12.

**Введение.** В нашем предыдущем обзоре [1] была охарактеризована ситуация, связанная с изучением одного из важнейших видов ксилофагов Европы – синей сосновой златки (*Phaenops cyanea* Fabricius, 1775 (Coleoptera, Vuprestidae)). Настоящая работа продолжает эту тему и содержит результаты исследований, которые были получены в течение 2022 г. в лесах Гомельской области.

**Основная часть.** *Результаты рекогносцировочного обследования.* Рекогносцировочное обследование сосняков в 2022 г. проведено в Гомельском опытном, Калинковичском, Петриковском и Речицком опытном лесхозах на общей площади 25 665,7 га специалистами РУП «Белгослес» в порядке выполнения экспедиционного лесопатологического обследования [2]. По данным многолетних исследований, для условий Беларуси состояние лесной формации можно считать удовлетворительным, если биологические устойчивые древостои составляют в ней не менее 85%, с нарушенной устойчивостью – не более 15%, утратившие устойчивость – десятки доли процента (не более 0,5%) [3]. По имеющимся данным, Гомельский опытный и Петриковский лесхозы характеризуются относительно стабильным состоянием сосновой формации, где насаждения с нарушенной устойчивостью составляют не более 10,2%, а утратившие устойчивость сосняки встречаются единично (табл. 1). Этого нельзя сказать о насаждениях Калинковичского и Речицкого опытного лесхозов, где среди обследованных лесов высока доля участков с нарушенной устойчивостью (18,9–19,6%), а доля биологически устойчивых сосняков понижена (75,7–78,4%).

Причиной подобного положения является воздействие на сосновые древостои болезней леса, стволовых вредителей и неблагоприятных абиотических факторов (табл. 2). Доминирующую роль в ослаблении сосняков играет корневая губка (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.), которая поражает от 12,1 до 24,4% сосновых древостоев в обследованных лесхозах. Широко распространено повреждение сосняков вершинным короедом (*Ips acuminatus* Gyllenhal, 1827 (Coleoptera, Scolytinae)). Встречаемость поврежденных насаждений составляет от 0,1% в Петриковском до 11,6% в Гомельском опытном лесхозе. Ветровое воздействие вызвало повреждение сосняков во всех обследованных лесхозах, с наибольшей встречаемостью в Речицком опытном лесхозе (10,4%). На этом фоне повреждение древостоев синей сосновой златкой с встречаемостью от 0,5% в Гомельском опытном до 2,6% в Калинковичском лесхозах не кажется существенным фактором ослабления сосняков. Но если оценивать не общую поврежденную ксилофагами площадь, а только площадь действующих в 2022 г. очагов, тогда ситуация меняется (рис. 1).

Действующие очаги стволовых вредителей в обследованных сосняках выявлены на площади 475,5 га, в том числе вершинного короеда – 163,8 га (34,4%) и синей сосновой златки – 311,7 га (65,6%). Таким образом, к 2022 г. произошла утрата доминирования вершинного короеда в комплексе стволовых вредителей сосны, и на первое место по встречаемости в Гомельской области вышла синяя сосновая златка. Она уже преобладает в сосняках Гомельского опытного, Калинковичского и Петриковского лесхозов.

Таблица 1

Распределение обследованных сосновых насаждений по классам биологической устойчивости

Объект обследования (лесхоз)	Единица измерения	Класс биологической устойчивости			Прочие участки	Итого
		I	II	III		
Гомельский опытный	га	7937,6	923,8	6,0	233,8	9101,2
	%	87,2	10,2	0,1	2,5	100
Калинковичский	га	5785,9	1394,6	27,4	169,1	7377,0
	%	78,4	18,9	0,4	2,3	100
Петриковский	га	5691,9	545,0	6,6	244,0	6487,5
	%	87,7	8,4	0,1	3,8	100
Речицкий опытный	га	2044,8	529,5	3,5	122,2	2700,0
	%	75,7	19,6	0,1	4,6	100
Итого	га	21 460,2	3392,9	43,5	769,1	25 655,7
	%	83,6	13,2	0,2	3,0	100

*Примечание.* I – биологически устойчивые (находящиеся на стадии устойчивого равновесия); II – с нарушенной устойчивостью (на стадии неустойчивого равновесия); III – утратившие устойчивость (на стадии дигрессии); прочие участки – непокрытые лесом земли, возникшие на месте сосняков.

Таблица 2

## Причины и факторы патологических процессов в обследованных сосновых насаждениях

Объект обследования (лесхоз)	Единица измерения	Патологический фактор				
		Корневая губка	Смоляной рак	Вершинный короед	Синяя сосновая златка	Повреждение ветром
Гомельский опытный	га	1139,0	297,7	1057,4	43,9	106,5
	%	12,5	3,3	11,6	0,5	1,2
Калинковичский	га	1799,7	221,3	824,9	194,1	74,3
	%	24,4	3,0	11,2	2,6	1,0
Петриковский	га	783,4	0	5,6	84,8	84,6
	%	12,1	0	0,1	1,3	1,3
Речицкий опытный	га	637,9	139,6	128,4	20,6	281,5
	%	23,6	5,2	4,7	0,8	10,4

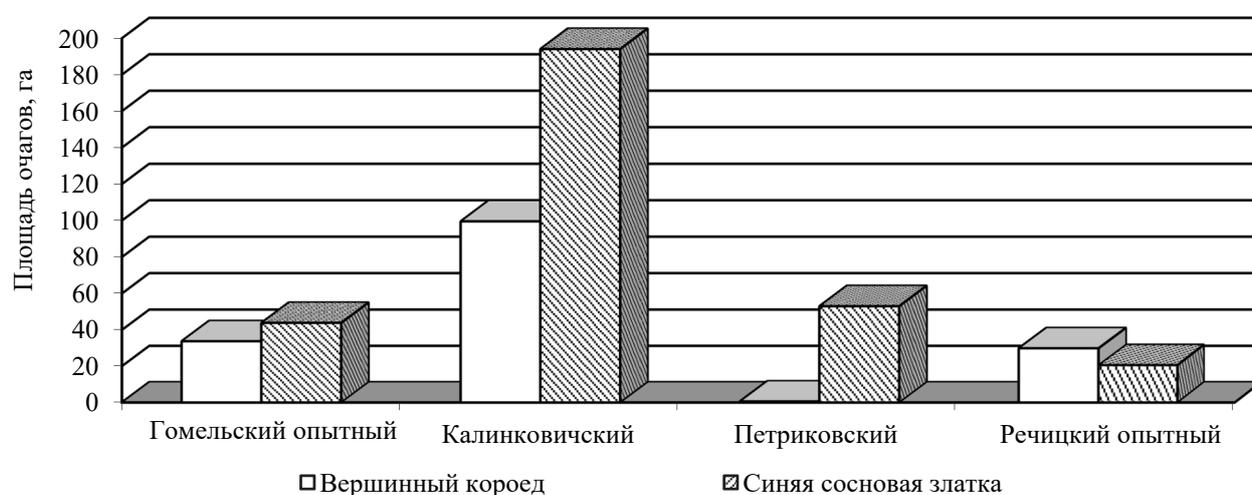


Рис. 1. Площадь действующих очагов стволовых вредителей в сосняках обследованных лесхозов по состоянию на 2022 г.

В Речицком опытном лесхозе в 2022 г. еще сохранялось преобладание вершинного короеда. В ближайшей перспективе следует ожидать дальнейшего сокращения площади действующих очагов вершинного короеда и увеличение площади очагов летнего фенологического комплекса ксилофагов.

*Оценка состояния древостоев.* В качестве объектов мониторинга за очагами синей сосновой златки выбраны участки лесного фонда с комплексными очагами корневой губки и стволовых вредителей. При этом в Гомельском опытном лесхозе была заложена пробная площадь в насаждении по границе с вырубкой и с очагом корневой губки, а в остальных лесхозах пробы расположены внутри древостоев в очагах корневой губки. Пробные площади заложены в насаждениях искусственного происхождения, за исключением Петриковского лесхоза, где проба находится в естественных сосняках. Впоследствии на каждой пробной площади проводился энтомологический анализ 3–5 модельных деревьев из числа заселенных стволовыми вредите-

лями. Перечет деревьев, анализ моделей и обработка полученных результатов проводились в соответствии с принятыми в лесоводстве и защите леса методиками [3–8]. Всего было заложено 5 пробных площадей и проанализировано 22 модельных дерева. Характеристика состояния древостоев на пробных площадях представлена в табл. 3. Исследуемые насаждения являются примерами типичных сосняков Полесско-Приднепровского лесорастительного района [9]. Они представлены чистыми или с небольшой примесью березы сосновыми древостоями с нарушенной устойчивостью в возрасте от 29 до 75 лет. Опытные объекты имеют площадь от 0,07 до 0,29 га и число деревьев главной породы всех категорий состояния на пробе от 122 до 161 шт. Средние диаметры древостоев изменяются в пределах от 8,9 до 29,1 см, а высоты – от 8,6 до 27,7 м. Насаждения представлены сосняками мшистыми, вересковым и орляковым III, II и I<sup>a</sup> класса бонитета. Абсолютная полнота изменяется в пределах 11,7–46,1 м<sup>2</sup>/га, а относительная – от 0,48 до 1,07. Запас жизнеспособных деревьев – 57–606 м<sup>3</sup>/га.

Средневзвешенная категория состояния по числу стволов составляет от 1,41 (отсутствие деградации) до 2,34 (слабая деградация), по запасу – от 1,24 до 1,87 (аналогично). Индекс жизненного состояния указывает на диапазон от «здоровых» (92,9%) до «ослабленных» древостоев (76,5%).

В результате многолетнего протекания патологических процессов общий объем мертвого леса на пробных площадях составляет от 7,4 м<sup>3</sup>/га (КА-2-2022) до 115,4 м<sup>3</sup>/га (ПЕ-1-2022) (рис. 2). При этом текущий отпад достигает объема от 1,8 до 23,6 м<sup>3</sup>/га и во всех исследуемых древостоях превышает норму, установленную в соответствии с постановлением [4]. В отдельных случаях это превышение достигает 8,7 раза (КА-1-2022) (рис. 3).



Рис. 2. Внешний вид древостоя на ПЕ-1-2022 (Петриковский лесхоз, 26.10.2022)



Рис. 3. Внешний вид древостоя на КА-1-2022 (Калинковичский лесхоз, 20.10.2022)

Доминирующим фактором ослабления древостоя на пробных площадях (за исключением ГО-3-2022) является сосновая корневая губка, доля пораженных деревьев которой, выявленная по внешним признакам в кроне, составляет от 8,1 до 37,7% от общего количества деревьев главной породы (включая мертвые). На отдель-

ных пробах в качестве ослабляющих факторов можно выделить следующие: краевой эффект по границе с вырубкой (ГО-3-2022 – 8,9%), механические повреждения (ГО-3-2022 – 2,4%, ПЕ-1-2022 – 0,8%), угнетение соседними деревьями (ГО-3-2022 – 8,1%, КА-1-2022 – 9,9%, КА-2-2022 – 20,3%), охлестывание березой (ГО-3-2022 – 1,6%, КА-1-2022 – 1,9% и ПЕ-1-2022 – 7,4%), сухобокость (ПЕ-1-2022 – 0,8%, ПЕ-2-2022 – 2,8%). Поражение сосновой губкой (*Porodaedalea pini* (Brot.) Murrill) отмечено на ПЕ-1-2022 (1,6%). Далее в табл. 3 указана доля деревьев с признаками заселения определенных видов стволовых вредителей (заселенные и отработанные конкретным видом) от общего числа деревьев главной породы на пробной площади.

Заселение деревьев устанавливалось по результатам жизнедеятельности насекомых – выходным отверстиям и ходам под корой, которые при перечеке вскрывались и осматривались. Перечень идентифицированныхксилофагов, который выявлен по данным перечека на пробных площадях, включает 13 видов (табл. 3).

В рассматриваемом возрастном диапазоне от 29 до 75 лет синяя сосновая златка является доминантом, заселяющим комлевою часть стволов, что отмечалось и в предыдущем 2021 г. [10].

Доля заселенных златкой деревьев на пробных площадях колеблется от 3,3 до 14,5% от их общего количества. В пораженных корневой губкой насаждениях она формирует действующие и хронические (действующие на протяжении более 10 лет) очаги [5]. Формированию очагов способствует краевой эффект, возникающий по границам вырубок и опушкам древостоев, что особенно заметно на пробе ГО-3-2022. Здесь единственное место из обследованных, где доля заселенных синей сосновой златкой деревьев (14,5%) выше, чем деревьев, пораженных корневой губкой (8,1%). Из-за скрытого характера развития, при котором отсутствуют характерные для короедов входные отверстия и буровая мука, очаги златки нередко выявляются с запозданием, по факту усыхания кроны дерева, что может происходить уже в следующем после заселения вегетационном периоде.

*Оценка состояния микропопуляций синей сосновой златки.* Энтомологический анализ заселенных деревьев осуществлялся в период с 25 августа по 28 октября 2022 г. (табл. 4–6). Возраст деревьев, определенный путем подсчета годовичных слоев на пнях, составил от 27 до 106 лет. Диаметр деревьев на высоте 1,3 м изменялся в пределах от 6,0 до 38,2 см, а длина ствола составляла 5,9–30,3 м. Деревья относились ко всем классам роста по Крафту, кроме пятого, и были представлены сильно ослабленными, усыхающими растениями и свежим сухостоем. Площадь боковой поверхности ствола этих деревьев изменялась от 71 до 2211 дм<sup>2</sup>.

Таблица 3

**Лесоводственно-таксационная характеристика и лесопатологическое состояние насаждений  
на объектах мониторинга за стволовыми вредителями**

Параметры	Объект работ (лесхоз)					
	Гомельский опытный	Калинковичский		Петриковский	Речицкий опытный	
Код пробной площади	ГО-3-2022	КА-1-2022	КА-2-2022	ПЕ-1-2022	РЕ-2-2022	
Время перечета, год	2022	2022	2022	2022	2022	
Площадь пробной площади, га	0,18	0,12	0,07	0,29	0,18	
Количество деревьев сосны, шт.	124	161	138	122	125	
в т. ч. жизнеспособных 1 яруса, шт.	101	137	118	102	111	
Таксационная характеристика 1-го яруса						
Состав, ед.	10С+Б	10С	9С1Б	10С+Д,Б	10С+Б	
Возраст лет	75	49	29	75	56	
Высота, м	27,7	16,7	8,6	20,2	18,4	
Диаметр, см	29,1	17,6	8,9	26,4	20,7	
Бонитет	I <sup>a</sup>	II	III	II	II	
Тип леса	С. ор.	С. мш.	С. вер.	С. мш.	С. мш.	
Абсолютная полнота, м <sup>2</sup> /га	46,1	29,9	11,7	20,1	20,6	
Относительная полнота	1,07	0,92	0,48	0,64	0,67	
Запас живых деревьев, м <sup>3</sup> /га	606	229	57	195	180	
Подрост (с переводом в условно средний)						
Состав, ед.	10Кл	10Д	6С4Б	7Д2С1Б	8С1Б1Д	
Количество деревьев, тыс. шт./га	3,4	0,6	1,3	1,7	5,0	
Лесопатологическая характеристика						
Класс биологической устойчивости	II	II	II	II	II	
СКС	по количеству стволов	1,41	1,89	2,34	2,24	2,10
	по запасу	1,24	1,67	1,89	1,85	1,87
Индекс жизненного состояния, %	92,9	81,0	76,5	80,0	78,7	
Показатель поврежденности древо- стоя, %	7,1	19,0	23,5	20,0	21,3	
Норма текущего отпада, м <sup>3</sup> /га	3,6	2,7	1,5	1,6	1,6	
Текущий отпад фактический, м <sup>3</sup> /га	8,0	23,6	1,8	4,7	9,5	
Старый сухостой, м <sup>3</sup> /га	1,7	5,1	3,7	24,2	15,9	
Ликвидная захламленность, м <sup>3</sup> /га	2,0	2,9	1,9	86,5	4,8	
Общий объем мертвого леса, м <sup>3</sup> /га	11,7	31,6	7,4	115,4	30,2	
Болезни и стволовые вредители (заселено/отработано), %						
<i>Heterobasidion annosum</i> (Fr.) Bref.	8,1	21,7	37,7	25,4	27,5	
<i>Phaenops cyanea</i> Fabr., 1775	14,5/0,8	14,3/3,7	11,6/8,7	3,3/8,2	9,9/12,0	
<i>Monochamus galloprovincialis</i> Oliv., 1795	1,6/0	1,2/0	0,7/4,3	0,8/2,5	0/0,7	
<i>Acanthocinus aedilis</i> L., 1758	–	–	–	0/3,3	0,7/2,8	
<i>Tomicus piniperda</i> L., 1758	0/0,8	0/0,6	–	0/6,6	0/1,4	
<i>Trypodendron lineatum</i> Oliv., 1795	–	–	–	0/9,0	0/0,7	
<i>Tomicus minor</i> Hart., 1834	–	–	–	0/1,6	–	
<i>Ips sexdentatus</i> Börn., 1776	–	–	–	–	0/1,4	
<i>Rhagium inquisitor</i> L., 1758	0/0,8	3,7/0,6	0/1,4	1,6/9,8	0/0,7	
<i>Spondylis buprestoides</i> L., 1758	–	–	–	0/4,9	–	
<i>Orthotomicus proximus</i> Eich., 1867	2,4/0	–	–	0/1,6	–	
<i>Pissodes piniphilus</i> Herbst, 1797	–	–	0,7/3,6	–	–	
<i>Crypturgus cinereus</i> Herbst, 1793	–	–	–	0/0,8	–	
<i>Arhopalus rusticus</i> L., 1758	–	–	–	0/3,3	–	
<i>Cerambycidae</i> sp. Latreille, 1802	–	0/8,1	3,6/0	–	–	

Примечание. СКС – средневзвешенная категория санитарного состояния.

Таблица 4

## Результаты анализа деревьев сосны, заселенных синей сосновой златкой в 2022 г. на пробных площадях ГО-3-2022 и РЕ-2-2022

Код пробной площади	ГО-3-2022			РЕ-2-2022				
	Модель 1 25.08.2022	Модель 2 25.08.2022	Модель 3 26.08.2022	Модель 6 09.09.2022	Модель 7 09.09.2022	Модель 8 09.09.2022	Модель 9 09.09.2022	Модель 10 09.09.2022
Номер модельного дерева								
Дата обследования								
Параметры дерева								
Диаметр, см	30,8	34,0	24,7	18,5	18,0	20,0	16,2	21,5
Высота, м	28,2	28,4	26,7	19,2	19,0	17,3	18,4	19,5
Возраст, лет	77	75	75	50	52	54	53	58
Класс роста по Крафту	III							
Категория состояния	Усыхающее	Сильно ослабленное						
Площадь боковой поверхности ствола, дм <sup>2</sup>	1730	1830	1200	620	672	675	523	850
Параметры района поселения синей сосновой златки								
Район поселения, м	0,1–4,7	0–20,7	0,1–6,3	0,1–2,6	0,2–3,5	0–2,3	0,1–2,8	0,1–4,5
Тип отмирания дерева	Одновременный	Одновременный	Комлевой	Смешанный	Одновременный	Одновременный	Одновременный	Одновременный
Район поселения на стволе, м/%	4,6/16,3	20,7/72,9	6,2/23,2	2,5/13,0	3,3/17,4	2,3/13,3	2,7/14,7	4,4/22,6
Доля заселенной боковой поверхности ствола, %	22,9	83,6	16,2	21,0	26,5	19,4	23,5	34,5
Площадь заселенной боковой поверхности (ствола), дм <sup>2</sup>	395,6	1529,6	194,6	130,5	178,6	130,7	122,9	293,5
Параметры микропопуляций синей сосновой златки								
Кормобеспеченность, дм <sup>2</sup>	0,76 – (н)	0,14 – (н)	0,25 – (н)	0,29 – (н)	0,30 – (н)	1,44 – (с)	0,21 – (н)	0,29 – (н)
Плотность поселения, экз./дм <sup>2</sup>	1,31 – (в)	6,93 – (в)	4,03 – (в)	3,40 – (в)	3,32 – (в)	0,69 – (с)	4,87 – (в)	3,39 – (в)
Численность на дереве, экз.	518	10 600	784	444	593	90	599	996
Больные и паразитированные деревья экз./дм <sup>2</sup>	–	0,17	–	–	–	–	–	–

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

Таблица 5

## Результаты анализа деревьев сосны, заселенных синей сосновой и златкой в 2022 г. на пробных площадях КА-1-2022 и ПЕ-1-2022

Код пробной площади	КА-1-2022				ПЕ-1-2022			
	Модель 7 03.10.2022	Модель 9 03.10.2022	Модель 10 03.10.2022	Модель 8 04.10.2022	Модель 1 28.10.2022	Модель 2 28.10.2022	Модель 3 28.10.2022	Модель 4 28.10.2022
Номер модельного дерева								
Дата обследования								
Параметры дерева								
Диаметр, см	18,7	19,5	16,5	16,1	22,4	17,5	26,0	38,2
Высота, м	15,7	18,9	16,3	15,0	22,4	18,4	22,1	30,3
Возраст, лет	48	48	50	49	79	76	72	106
Класс роста по Крафту	III	I	II	III	III	IV	III	II
Категория состояния	Сильно ослабленное	Сильно ослабленное	Усыхающее	Сильно ослабленное				
Площадь боковой поверхности ствола, дм <sup>2</sup>	508	648	533	448	1066	661	1220	2211
Параметры района поселения синей сосновой златки								
Район поселения, м	0-3,6	0-3,4	0-2,8	0,1-2,8	0-3,6	0,7-2,0	0-3,1	0,4-8,6
Тип отмирания дерева	Комлевой	Одновременный	Одновременный	Смешанный	Одновременный	Комлевой	Комлевой	Комлевой
Район поселения на стволе, м/%	3,6/22,9	3,4/18,0	2,8/17,2	2,7/18,0	3,6/24,7	1,3/5,8	3,1/14,0	8,2/27,1
Доля заселенной боковой поверхности ствола, %	36,5	27,9	26,3	28,0	37,3	7,4	20,2	34,9
Площадь заселенной боковой поверхности (стволола), дм <sup>2</sup>	185,4	181,0	140,0	125,6	159,3	78,8	246,3	773,2
Параметры микропопуляций синей сосновой златки								
Кормобеспеченность, дм <sup>2</sup>	0,72 - (н)	2,90 - (в)	7,70 - (в)	0,67 - (н)	2,38 - (в)	1,51 - (с)	0,53 - (н)	1,19 - (н)
Плотность поселения, экз./дм <sup>2</sup>	1,39 - (в)	0,35 - (н)	0,13 - (н)	1,50 - (в)	0,42 - (н)	0,66 - (с)	1,87 - (в)	0,84 - (в)
Численность на дереве, экз.	258	63	18	188	67	52	206	1297
Больные и паразитированные деревья экз./дм <sup>2</sup>	-	-	-	-	-	-	-	-

**Результаты анализа деревьев сосны, заселенных синей сосновой златкой в 2022 г.  
на пробной площади КА-2-2022**

Код пробной площади	КА-2-2022				
	Модель 11	Модель 12	Модель 13	Модель 14	Модель 15
Номер модельного дерева					
Дата обследования	17.10.2022	17.10.2022	17.10.2022	17.10.2022	17.10.2022
Параметры дерева					
Диаметр, см	6,0	6,5	8,4	7,4	10,0
Высота, м	5,9	5,9	9,0	6,0	8,4
Возраст, лет	29	27	29	28	29
Класс роста по Крафту	III	III	III	III	III
Категория состояния	Сильно ослаб- ленное	Свежий сухостой	Сильно ослаб- ленное	Сильно ослаб- ленное	Сильно ослаб- ленное
Площадь боковой поверхности ствола, дм <sup>2</sup>	71	77	153	83	145
Параметры района поселения синей сосновой златки					
Район поселения, м	0–2,4	0,2–1,7	0–1,4	0–2,6	0–1,6
Тип отмирания дерева	Смешанный	Одновремен- ный	Комлевой	Комлевой	Комлевой
Район поселения на стволе, м/%	2,4/40,7	1,5/25,4	1,4/15,6	2,6/43,3	1,6/19,0
Доля заселенной боковой поверхности ствола, %	92,3	35,0	23,5	62,7	31,7
Площадь заселенной боковой поверхности (ствола), дм <sup>2</sup>	65,5	27,0	36,0	52,0	46,0
Параметры микропопуляций синей сосновой златки					
Кормообеспеченность, дм <sup>2</sup>	1,51 – (с)	1,28 – (с)	6,67 – (в)	1,43 – (с)	1,45 – (с)
Плотность поселения, экз./дм <sup>2</sup>	0,66 – (с)	0,78 – (с)	0,15 – (н)	0,70 – (с)	0,69 – (с)
Численность на дереве, экз.	43	21	5	36	32
Больные и паразитированные деревья экз./дм <sup>2</sup>	–	–	–	–	–

Синяя сосновая златка входит в группу комлевых ксилофагов, заселяющих зону толстой коры [5, 11]. Нижняя граница района поселения этого вида на модельных деревьях часто начинается от корневой шейки, но может начинаться и выше, вплоть до высоты 0,7 м. Верхняя граница в зависимости от высоты дерева может подниматься от 2,0 до 20,7 м. Протяженность района поселения изменяется в пределах 1,3–20,7 м, что в относительном выражении составляет широкий диапазон (5,8–72,9%) длины ствола. Доля заселенной боковой поверхности ствола, если не принимать во внимание случаи, когда происходит заселение дополнительно и толстых сучьев, составляет 7,4–83,6%, т. е. может колебаться в очень широких пределах. Площадь заселенной боковой поверхности, которая зависит от размеров дерева, его защитной реакции в момент заселения и конкуренции со стороны сопутствующих видов, составляет 27,0–1529,6 дм<sup>2</sup>. Обследование 2022 г. показало, что, как и в 2021 г. [10], синяя сосновая златка заселяет деревья, отмирающие по одновременному (45%), комлевому (41%) и смешанному (14%) типам.

Для синей сосновой златки, родительское поколение которой, в отличие от короедов, не поселяется на дереве, плотность поселения

определяется по числу личинок под корой [5]. Данные анализа модельных деревьев показывают, что плотность поселения златки варьирует от 0,13 до 6,93 экз./дм<sup>2</sup>, а среди проанализированных деревьев 4 шт. (18,2%) заселены с «низкой» плотностью, 6 шт. (27,3%) со «средней» и 12 шт. (54,5%) с «высокой». Таким образом, в большинстве случаев златка формирует на заселенных деревьях микропопуляции с «высокой» плотностью поселения, что свидетельствует о благоприятных условиях для развития вредителя в очагах корневой губки, и может указывать на нарастание его численности. Количество личинок златки на заселенном дереве может варьировать в зависимости от его размера и плотности поселения вредителя в очень широком диапазоне. Например, среди модельных было дерево в возрасте 29 лет, с диаметром 8,4 см и высотой 9,0 м, на котором обнаружено 5 личинок златки под корой; и сосна в возрасте 75 лет, диаметром 34,0 см и высотой 28,4 м, где обитало 10 600 особей. Тем не менее последнее скорее является исключением. Если численность короледа, приводящая дерево к отмиранию, составляет 1000 особей, то для гибели деревьев, заселенных синей златкой, достаточно нескольких сотен личинок, а в молодняках второго класса возраста – даже нескольких

десятков. Так, из 22 обследованных деревьев, численность синей сосновой златки более 1 тыс. экз. на дерево была зафиксирована только на двух.

В местах поселения златки такие типичные хищники, характерные для района обитания вершинного короеда, как *Thanasimus formicarius* Linnaeus, 1758 (Coleoptera, Cleridae) и *Corticicus pini* Panzer, 1799 (Coleoptera, Tenebrionidae), практически отсутствуют. Некоторые личинки златки имеют признаки паразитирования. Видовой состав паразитов златки еще предстоит уточнить. Имеются также личинки, погибшие от болезней. В целом воздействие регулирующих факторов на популяцию синей сосновой златки в условиях Беларуси требует изучения.

Совместная закладка пробных площадей и анализ модельных деревьев в комплексных очагах с участием синей сосновой златки позволили оценить численность этого вида на таких участках лесного фонда.

Расчеты показывают, что в очагах вредителя количество заселенных златкой деревьев (шт.) и численность ее личинок под корой (экз.) из расчета на 1 га составляют:

- ГО-3-2022 (С. ор., 75 лет) – 100 шт. – 396 700 экз.;
- РЕ-2-2022 (С. мш., 56 лет) – 78 шт. – 42 432 экз.;
- КА-1-2022 (С. мш., 49 лет) – 192 шт. – 22 656 экз.;
- КА-2-2022 (С. вер., 29 лет) – 229 шт. – 6183 экз.;
- ПЕ-1-2022 (С. мш., 75 лет) – 14 шт. – 7252 экз.

В данном перечне выделяется своей высокой численностью заселения златкой пробная площадь ГО-3-2022, которая отличается от прочих тем, что на ней поражение древостоя корневой губкой осложняется наличием краевого эффекта, поскольку данная пробная площадь заложена на границе с вырубкой. Возможно, это обстоятельство поспособствовало резкому увеличению численности златки. В очагах корневой губки внутри древостоя златка не достигает такой численности. Как показали проведенные исследования, в среднем из 4 пробных площадей, заложенных в таких условиях, в возрастном диапазоне древостоев 29–75 лет численность синей сосновой златки под корой в ее очагах составляет от 6183 до 42 432 экз./га. На одном дереве могут развиваться от 5 до 1297 особей (в среднем 301 особь). Количество заселенных деревьев в очагах варьирует от 14 до 229 шт./га. В зависимости от возраста, полноты, состава

древостоя и степени его поражения (ослабления) болезнями или абиотическими факторами эти показатели могут сильно колебаться.

**Заключение.** Результаты проведенного исследования указывают на преобладающую роль синей сосновой златки как основного ксилофага сосновых лесов Гомельской области в 2022 г. Это свидетельствует о высокой динамике комплекса стволовых вредителей сосны в этом регионе, поскольку показано, что к данному сроку вершинный короед утратил в нем свое доминирование. При работе на пробных площадях, заложенных в очагах корневой губки, отмечено повышенное количество текущего отпада и выявлено 13 видов ксилофагов, заселяющих ослабленные деревья в комлевой части. Доля заселенных златкой деревьев среди них оказалась наиболее высокой и колеблется от 3,3 до 14,5% их общего количества. Анализ модельных деревьев показал, что нижняя граница района поселения златки находится в пределах 0–0,7 м, а верхняя изменяется от 2,0 до 20,7 м. Это имеет определенное практическое значение, поскольку доказывает, что диагностика заселенных златкой деревьев на ранней стадии возможна путем вскрытия коры сосны топором на площади не более 1 дм<sup>2</sup> до живого луба на высоте в пределах от 1 до 2 м (топорная проба). Обнаруженные в этом месте личиночные ходы златки будут указывать на заселение дерева этим ксилофагом. Синяя сосновая златка заселяет деревья, отмирающие по одновременному (45%), комлевому (41%) и смешанному (14%) типам. В большинстве случаев златка формирует на заселенных деревьях микропопуляции с «высокой» плотностью поселения, что свидетельствует о благоприятных условиях для развития вредителя в очагах корневой губки и может указывать на нарастание его численности. Численность личинок златки на дереве, приводящая к его отмиранию, составляет несколько сотен особей, а в молодняках второго класса возраста – несколько десятков. В очагах корневой губки количество заселенных златкой деревьев сосны может составлять от 14 до 229 шт./га, а количество вредителя под корой – от 6,2 тыс. до 42,4 тыс. особей на 1 га. В случае дополнительного ослабления древостоя из-за краевого эффекта по границе с вырубкой численность златки в нем может резко увеличиться.

### Список литературы

1. Синяя сосновая златка (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – новая угроза лесам Беларуси / А. А. Сазонов [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 1 (264). С. 61–72. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-07.
2. Инструкция по проведению экспедиционного лесопатологического обследования с использованием материалов дистанционного зондирования лесов. Минск: Белгослес, 2020. 67 с.
3. Защита леса / В. Б. Звягинцев [и др.]. Минск: БГТУ, 2019. 164 с.

4. Об утверждении Санитарных правил в лесах Республики Беларусь: постановление М-ва лесного хоз-ва Респ. Беларусь, 19 дек. 2016 г., № 79 // Нац. реестр правовых актов Респ. Беларусь. 2016. 8/31603.
5. Методические рекомендации по надзору, учету и прогнозу массовых размножений стволовых вредителей и санитарного состояния лесов. Пушкино: ВНИИЛМ, 2006. 68 с.
6. Катаев О. А., Поповичев Б. Г. Лесопатологические обследования для изучения стволовых насекомых в хвойных древостоях. СПб.: СПбЛТА, 2001. 72 с.
7. Площади пробные лесоустроительные. Метод закладки: ОСТ 56–69–83. М.: Стандарты, 1983. 62 с.
8. Справочник таксатора / под общ. ред. В. С. Мирошникова. 2-е изд., перераб. и доп. Минск: Ураджай, 1980. 360 с.
9. Юркевич И. Д., Гельтман В. С. География, типология и районирование лесной растительности Белоруссии. Минск: Наука и техника, 1965. 288 с.
10. Отчет о результатах экспедиционного лесопатологического обследования Барановичского, Волковысского, Домановского, Кличевского, Мозырского опытного, Слонимского, Щучинского лесхозов. Обследование 2021 года. Минск: Белгослес, 2022. 153 с.
11. Харитоновна Н. З. Лесная энтомология. Минск: Выш. шк., 1994. 412 с.

### References

1. Sazonov A. A., Kukhta V. N., Ramanenka M. A., Saluk S. V. Steelblue Jewel Beetle (*Phaenops cyanea* (Fabricius, 1775)) – a new threat to the forests of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 1 (264), pp. 61–72. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-264-07 (In Russian).
2. *Instruktsiya po provedeniyu ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya s ispol'zovaniyem materialov distantsionnogo zondirovaniya lesov* [Instructions for conducting expeditionary forest pathological examination using forest remote sensing materials]. Minsk, Belgosles Publ., 2020. 67 p. (In Russian).
3. Zvyagintsev V. B., Blintsov A. I., Kozel A. V., Kukhta V. N., Sazonov A. A., Serekich M. O., Khvasko A. V. *Zashchita lesa* [Forest protection]. Minsk, BGTU Publ., 2019. 164 p. (In Russian).
4. On approval of Sanitary forest regulations in the Republic of Belarus: decree of the Ministry of Forestry of the Republic of Belarus, December 19, 2016, no. 79. *Natsional'nyy reyestr pravovykh aktov Respubliki Belarus'* [National Register of Legal Acts of the Republic of Belarus], 2016, 8/31584.
5. *Metodicheskiye rekomendatsii po nadzoru, uchyotu i prognozu massovykh razmnozheniy stvolovykh vreditel'nykh i sanitarnogo sostoyaniya lesov* [Guidelines for the supervision, accounting and forecasting of mass reproduction of stem pests and the sanitary state of forests]. Pushkino, VNIILM Publ., 2006. 68 p. (In Russian).
6. Kataev O. A., Popovichev B. G. *Lesopatologicheskiye obsledovaniya dlya izucheniya stvolovykh nasekomykh v khvoynykh drevostoyakh* [Forest pathological survey for the study of stem insects in coniferous stands]. St. Petersburg, SPbLTA Publ., 2001. 72 p. (In Russian).
7. OST 56–69–83. Test areas for forest management. Laying method. Moscow, Standards Publ., 1983. 62 p. (In Russian).
8. *Spravochnik taksatora* [Taxator directory]. Edit V. S. Miroshnikov. Minsk, Urazhai Publ., 1980. 360 p. (In Russian).
9. Yurkevich I. D., Geltman V. S. *Geografiya, tipologiya i rayonirovaniye lesnoy rastitel'nosti Belorussii* [Geography, typology and zoning of forest vegetation of Belarus]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1965. 288 p. (In Russian).
10. *Otchet o rezul'tatakh ekspeditsionnogo lesopatologicheskogo obsledovaniya Baranovichskogo, Volkovysskogo, Domanovskogo, Klichevskogo, Mozyrskogo opytnogo, Slonimskogo, Shchuchinskogo leskhozov. Obsledovaniye 2021 goda* [Report on the results of an expeditionary forest pathological survey of the Baranovichichi, Volkovysk, Domanovsky, Klichevsky, Mozyr experimental, Slonim, Shchuchinsky forestry enterprises. Survey 2021]. Minsk, Belgosles Publ., 2022. 153 p. (In Russian).
11. Kharitonova N. Z. *Lesnaya entomologiya* [Forest entomology]. Minsk, Vysheyshaya skola Publ., 1994. 412 p. (In Russian).

### Информация об авторах

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

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

**Некраш Владимир Николаевич** – ведущий инженер-таксатор 1-й Минской лесоустроительной экспедиции. РУП «Белгослес» (220089, г. Минск, ул. Железнодорожная, 27/1, Республика Беларусь). E-mail: vladimir.ledum@gmail.com

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

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

#### Information about the authors

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

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

**Nekrash Vladimir Nikolaevich** – leading appraiser engineer, the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vladimir.ledum@gmail.com

**Babul’ Dmitry Aleksandrovich** – leading appraiser engineer, the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: babuld@bk.ru

**Patsukevich Pavel Viktorovich** – appraiser engineer of the 2nd category the First Minsk Forest Inventory Expedition. Forest Inventory Republican Unitary Enterprise “Belgosles” (27/1, Zheleznodorozhnaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: pavel\_photo@inbox.ru

*Поступила 01.03.2024*

УДК 595.7(476)

**Ф. В. Сауткин, М. В. Лазаренко, Ю. С. Рогинская, А. А. Бегун**  
Белорусский государственный университет

**СПЕЦИФИКА ЗАСЕЛЕНИЯ МАЛОМОБИЛЬНЫМИ  
И СКРЫТОЖИВУЩИМИ НАСЕКОМЫМИ-ФИТОФАГАМИ  
СЛОЖНЫХ ЛИСТОВЫХ ПЛАСТИНОК КАРАГАНЫ ДРЕВОВИДНОЙ  
(*CARAGANA ARBORESCENS* LAM.) В УСЛОВИЯХ ДЕКОРАТИВНЫХ  
ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЙ**

Выполненные в условиях зеленых насаждений населенных пунктов Беларуси исследования характера размещения маломобильных насекомых (желтоакациевая прыгающая тля (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956; Rhynchotha: Sternorrhyncha: Calaphididae)) и повреждений скрытоживущими растительноядными насекомыми (желтоакациевая листовая галлица (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962); Diptera: Cecidomyiidae), минирующие мухи ((Diptera: Agromyzidae) *Aulagromyza caraganae* Rohdendorf-Holmanová (1959) и *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959)) на простых листочках сложных листьев караганы древовидной, или желтой акации (*Caragana arborescens* Lam.; Fabales: Fabaceae), с использованием непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова не выявили статистически значимых различий заселенности левосторонних и правосторонних (относительно рахиса) листочков. Мины личинок мухи-агромизиды *A. caraganae* размещаются преимущественно на нижней стороне листовых пластинок, использование непараметрического критерия парных различий Вилкоксона подтвердило это при высоком уровне значимости ( $p = 0,00001$ ). Мины личинок мухи-агромизиды *A. obscura* характеризовались исключительно верхнесторонним расположением. При этом заселенность мигером составляла 9,32% для листочков слева от рахиса и 7,45% – справа, но использование непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова не подтвердило статистическую значимость ( $p > 0,05$ ) наблюдаемых различий. Использование непараметрических коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ) и конкордации Кэндалла ( $\tau$ ) выявило статистически значимую ( $p < 0,01$ ) слабоотрицательную связь заселенности желтоакациевой прыгающей тлей с порядком расположения простых листочков на рахисе. Для желтоакациевой листовой галлицы (*D. sibirica*) определенного паттерна локализации галлов на сложных листьях караганы древовидной в ходе выполненного исследования выявить не удалось. В целом уровни поврежденности караганы древовидной малоподвижными сосущими и скрытоживущими фитофагами в условиях зеленых насаждений оцениваются как незначительные, однако характер наносимых повреждений может обуславливать существенные потери растениями декоративности.

**Ключевые слова:** биологические инвазии, желтая акация, зеленые насаждения, интродуцированные древесные растения, растительноядные насекомые, чужеродные виды.

**Для цитирования:** Сауткин Ф. В., Лазаренко М. В., Рогинская Ю. С., Бегун А. А. Специфика заселения маломобильными и скрытоживущими насекомыми-фитофагами сложных листовых пластинок караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) в условиях декоративных зеленых насаждений // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 106–113.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-13.

**F. Sautkin, M. Lazarenko, Yu. Roginskaya, H. Biahun**  
Belarusian State University

**SPECIFICITY OF COLONIZATION BY SEDENTARY AND ENDOBIONTIC  
PHYTOPHAGOUS INSECTS OF *CARAGANA ARBORESCENS* LAM. LEAF BLADES  
IN DECORATIVE GREEN AREAS**

Conducted in the conditions of green spaces in populated areas of Belarus, the studies of the nature of the sedentary insects' (dusty-spotted caragana aphid (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956; Rhynchotha: Sternorrhyncha: Calaphididae) distribution and damage by endobiontic phytophagous insects (gall midge *Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962); Diptera: Cecidomyiidae), leaf-mining flies ((Diptera: Agromyzidae) *Aulagromyza caraganae* Rohdendorf-Holmanová (1959) and *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959)), on the leaflets of Siberian pea tree (*Caragana arborescens* Lam.; Fabales: Fabaceae) compound leaves) using the nonparametric Mann – Whitney and Kolmogorov – Smirnov tests did not

reveal statistically significant differences in the population of left-sided and right-sided (relative to the rachis) leaflets. The mines of the larvae of the Agromyzid fly *A. caraganae* are located mainly on the underside of leaf blades; the use of the nonparametric Wilcoxon paired difference test confirmed this with a high level of significance ( $p = 0.00001$ ). The larval mines of the Agromyzid fly *A. obscura* were characterized by an exclusively upper-sided location. At the same time, the population of the miner was 9.32% for the leaflets to the left of the rachis and 7.45% to the right, but the use of the nonparametric Mann – Whitney and Kolmogorov – Smirnov tests did not confirm the statistical significance ( $p > 0.05$ ) of the observed differences. The use of the nonparametric Spearman rank correlation coefficients ( $r_s$ ) and Kendall concordance ( $\tau$ ) revealed a statistically significant ( $p < 0.01$ ) weak negative correlation between the population of dusty-spotted caragana aphids and the order of the leaflets on the rachis. For the gall midge *D. sibirica*, a specific pattern of gall localization on the compound leaves of *Caragana arborescens* could not be revealed during the performed study. In general, the levels of damage to *Caragana arborescens* by sedentary sap-sucking insects and endobiontic phytophagous insects in the conditions of green spaces are assessed as insignificant, however, the nature of the damage can cause substantial loss of ornamental value of the plants.

**Keywords:** biological invasions, Siberian peashrub, green areas, introduced woody plants, phytophagous insects, alien species.

**For citation:** Sautkin F., Lazarenko M., Roginskaya Yu., Biahun H. Specificity of colonization by sedentary and endobiontic phytophagous insects of *Caragana arborescens* Lam. leaf blades in decorative green areas. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 106–113 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-13.

**Введение.** Ботанический род *Caragana*, Lam. (Fabales: Fabaceae) объединяет около 100 видов древесных растений – листопадных кустарников, или небольших деревьев. Естественно-исторически сложившийся ареал представителей рода охватывает большую часть Азии и заходит на территорию Европы [1–3]. Караганы ценятся в культуре как красивоцветущие, неприхотливые к условиям произрастания, засухо- и морозостойчивые растения. К настоящему времени в условиях Беларуси интродукционные испытания прошли по меньшей мере 14 видов и ряд высокодекоративных культивируемых форм караган [4]. Наиболее широкое применение в практике озеленения городских населенных пунктов страны получила карагана древовидная, или желтая акация (*Caragana arborescens* Lam.). Значительно реже в зеленых насаждениях Беларуси встречается карагана-кустарник, или дереза (*Caragana frutex* (L.) K. Koch).

На территорию современной Республики Беларусь карагана древовидная была интродуцирована при создании приусадебных садово-парковых комплексов в середине XVIII в. Соответственно, с того времени началось формирование комплекса фитофагов караганы древовидной, как это имеет место для любого чужеродного для региональной флоры вида растений [5]. Особое положение среди фитофагов – вредителей караганы древовидной на современном этапе формирования такого комплекса занимают трофически высокоспециализированные маломобильные и скрытоживущие, в том числе эндо-

бионтные, чужеродные для региональной фауны виды насекомых [6–11].

**Основная часть.** Для установления закономерностей заселения листовых пластинок караганы древовидной было проведено целенаправленное исследование на четырех модельных видах филлобионтных фитофагов: желтоакациевой прыгающей тле (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956; Rhynchota: Sternorrhyncha: Calaphididae), желтоакациевой листовой галлице (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962); Diptera: Cecidomyiidae), двух видах минирующих мух – *Aulagromyza caraganae* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) и *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) (Diptera: Agromyzidae).

Схема проведения учета характера заселенности листовых пластинок обследованных экземпляров *C. arborescens* модельными видами фитофагов в процессе накопления первичного массива данных определялась спецификой строения последних. Листовые пластинки караганы древовидной являются сложными, имеют парноперистое строение, листочки цельнокрайние без прилистничков в числе 4–8 пар, рахис (общая листовая ось) заканчивается щетинкой или колючкой [6]. Для унификации и последующей статистической обработки данных учеты проводились с использованием соответствующей топологической схемы (рис. 1).

Краткое описание особенностей вредоносности модельных видов фитофагов представляется целесообразным дать в форме краткого аннотированного списка.

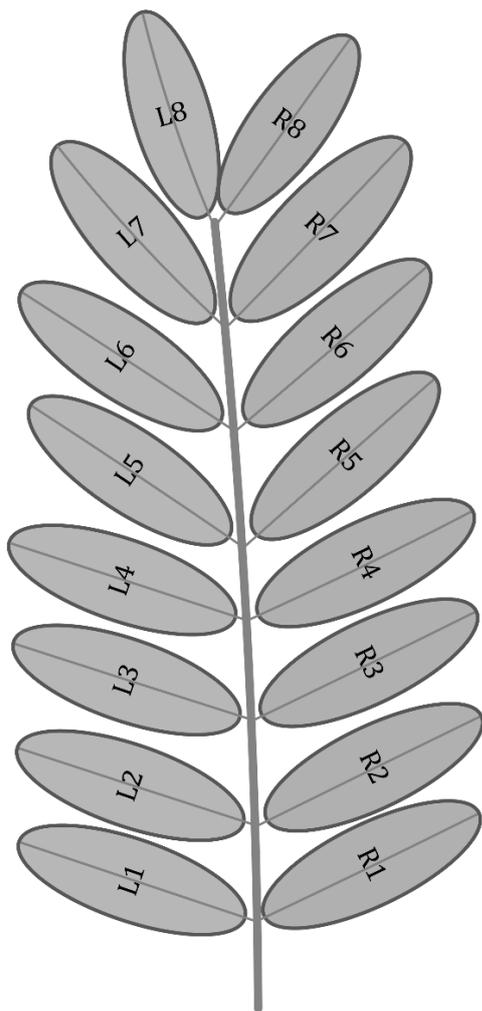


Рис. 1. Топологическая схема проведения учетов характера заселенности сложного листа караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) модельными видами маломобильных и скрытоживущих фитофагов

Желтоакациевая листовая галлица (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962) – специализированный фитофаг караганы древовидной [6–8]. Личинки развиваются внутри галлов – обесцвеченных и сложенных пополам «лодочкой» листочков караганы древовидной, которые контрастируют с неповрежденными как формой, так и окраской (рис. 2).

Для успешного галлоформирования листовые пластинки, очевидно, должны быть физиологически пригодны, что может определяться их возрастом и особенностями размещения на растении. На одном простом листочке *C. arborescens* может развиваться более одного галла *D. sibirica*, и заселяться могут разные листочки сложного листа караганы.

Караганная минирующая муха (*Aulagomyza caraganae* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) – специализированный фитофаг растений рода *Caragana*. В условиях Беларуси помимо караганы

древовидной повреждает также караганы кустарниковую (*C. frutex*, туркестанскую (*Caragana turkestanica* Kom.) и бескорую (*Caragana decoriticans* Hemsl.) [12]. Личинки обитают в белесых пятновидных минах, которые располагаются преимущественно на нижней стороне листовых пластинок желтой акации. Они начинаются достаточно широким коридором, переходящим в пятновидное расширение; экскременты имеют вид темных хаотично рассеянных гранул. Окукливание, как правило, осуществляется в мине. Фоновый в условиях зеленых насаждений вид фитофагов наблюдается во всех регионах Беларуси [12].



Рис. 2. Галл желтоакациевой листовой галлицы (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962)) на простом листочке караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) (фото Ф. В. Сауткина)

Минирующая муха *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) – специализированный минирующий фитофаг, в условиях Беларуси повреждает караганы древовидную, кустарниковую и бескорую [13], в зеленых насаждениях населенных пунктов Беларуси локально может быть массовым видом. Мины верхнесторонние, начинающиеся коротким узким коридором и переходящие в широкое пятно; экскременты имеют вид темных гранул (рис. 3).

Желтоакациевая прыгающая тля (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956) – один из немногих видов тлей, имеющих морфологические приспособления к передвижению прыжками. В Беларуси регистрируется в зеленых насаждениях практически повсюду, где произрастает растение-хозяин, вслед за которым проникает в лесные массивы. Локальные вспышки массового размножения отмечаются нерегулярно [6, 9–11, 14]. При массовом размножении желтоакациевой прыгающей тли продуцируемая этими насекомыми медвяная роса служит субстратом для массового развития дрожжевых или сажистых грибов, что катастрофически снижает декоративность таких

растений. Являясь сосущими фитофагами, тли зависимы при выборе мест для своего размещения от состояния тканей листовых пластинок растения-хозяина, на которых они питаются. *Th. tenera* принадлежит к числу филлобионтов, т. е. насекомые размещаются поодиночке или микроагрегациями на нижней поверхности листовых пластинок караганы древовидной (рис. 4).



Рис. 3. Листовая мина минирующей мухи *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) на простом листочке караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) (фото Ф. В. Сауткина)

Их локализация на простых листочках, вероятно, зависит от физиологического состояния тканей листовых пластинок, которое может определяться положением в составе сложных листьев желтой акации.



Рис. 4. Крылатая виргинопарная самка и личинки желтоакациевой прыгающей тли (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956) на простом листочке караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) (фото Ф. В. Сауткина)

В анализируемой выборке поврежденных личинками *D. sibirica* сложных листовых пластинок *C. arborescens* ( $N = 36$ ) присутствовали

таковые с числом от 5 до 8 пар листочков, их распределение визуализирует диаграмма (рис. 5).

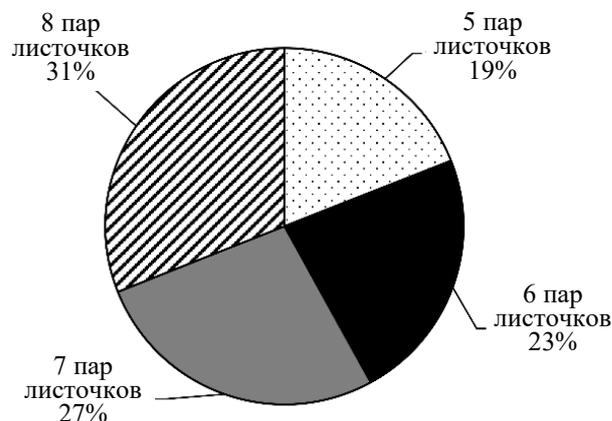


Рис. 5. Распределение сложных листьев *Caragana arborescens* Lam. на группы по числу пар листочков на рахисе (выборка поврежденных личинками *Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962) листовых пластинок ( $N = 36$ , июль 2023 г., зеленая изгородь, аг. Прилуки Минского района)

Визуализация распределения данных по числу галлов на листочках с разным расположением на рахисе сложного листа (рис. 6) позволяет сделать заключение о неравномерном распределении повреждений. Тем не менее выполненный средствами PAST 4.15 [15] анализ с использованием непараметрических U-теста Манна – Уитни и критерия интегральных различий Колмогорова – Смирнова не подтвердил существование статистически значимых различий уровней заселенности личинками *D. sibirica* листочков левой и правой сторон сложных листовых пластинок ( $z = 1,340$ ,  $p = 0,181$ ;  $D = 0,231$ ,  $p = 0,229$  соответственно). Поскольку характер распределения данных по заселенности листочков левой и правой сторон сложных листовых пластинок визуальное было отличено (рис. 6), коэффициенты корреляции были рассчитаны для них раздельно.

Для левосторонних листочков была выявлена слабая отрицательная корреляция заселенности с порядковым номером от основания рахиса сложного листа, однако значения коэффициентов не были статистически значимы ( $r_s = -29,15\%$ ,  $p = 0,149$ ;  $\tau = -21,53\%$ ,  $p = 0,123$ ). Для правосторонних листочков корреляция была очень слабой и положительной, но не статистически значимой ( $r_s = 1,66\%$ ,  $p = 0,936$ ;  $\tau = 1,04\%$ ,  $p = 0,941$ ). Таким образом, определенного паттерна локализации галлов личинок *D. sibirica* на сложных листовых пластинках в ходе выполненного исследования выявить не удалось.

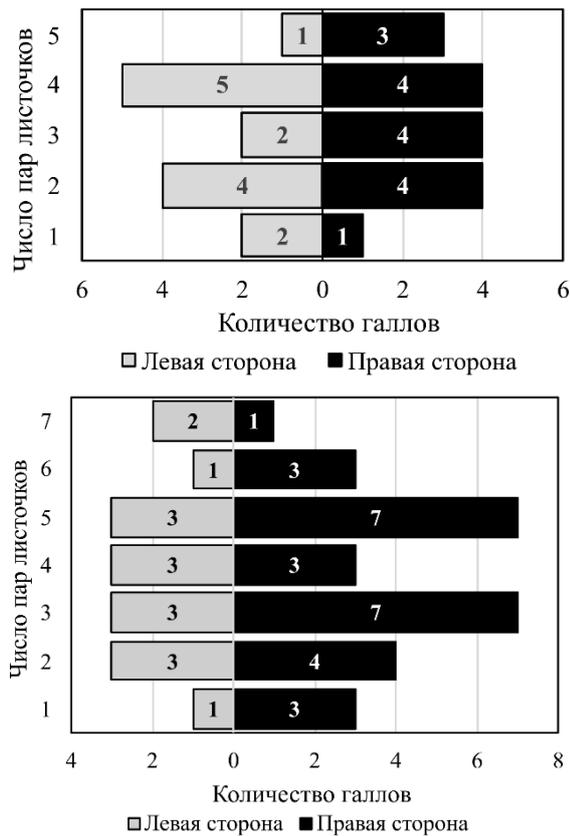


Рис. 6. Распределение простых листочков караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) разного порядкового номера и стороны размещения на рахисе, несущих галлы желтоакациевой листовой галлицы (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962)) (июль 2023 г., аг. Прилуки Минского района)

Как уже указывалось выше, мины личинок *A. caraganae* размещаются преимущественно на нижней стороне листовых пластинок. И действительно, заселенность нижней стороны листовых пластинок составила 5,28% для листочков слева от рахиса и 9,32% – справа. При этом заселенность верхней стороны листовых пластинок была ниже: 2,17% для листочков слева от

рахиса и 1,24% – справа. Наблюдаемые различия между заселенностью личинками *A. caraganae* простых листочков левой и правой сторон сложной листовой пластинки не были статистически достоверны ( $z = 4,73, p = 0,07$ ). Использование непараметрического критерия парных различий Вилкоксона для выборки объемом 644 простых листочка подтвердило статистическую достоверность наблюдаемых различий в заселенности личинками данного минера нижней и верхней сторон листовых пластинок ( $z = 4,73, p = 0,00001$ ).

В анализируемой выборке отсутствовали мины личинок минирующей мухи *A. obscura* с нижнесторонним расположением. При этом заселенность личинками *A. obscura* составила 9,32% для листочков слева от рахиса и 7,45% – справа, однако использование критерия парных различий Манна – Уитни ( $z = 0,86, p = 0,43$ ) и Колмогорова – Смирнова ( $D = 0,02, p = 0,47$ ) показало, что наблюдаемые различия не были статистически значимы.

Уровень заселенности простых листочков личинками рассматриваемых видов мух-агромизид был близок, и использование критерия парных различий Вилкоксона не подтвердило статистическую значимость наблюдаемых различий в уровнях заселенности отдельных листочков *C. arborescens* личинками *A. caraganae* и *A. obscura* для левой ( $z = 1,86, p = 0,09$ ) и правой ( $z = 0,80, p = 0,50$ ) сторон сложных листовых пластинок.

Самки мух-агромизид не обладают хорошими лётными способностями, но вынуждены выбирать для яйцекладки листовые пластинки, пригодные для внедрения личинок и последующего формирования мин. Простые листочки у основания сложной листовой пластинки *C. arborescens* физиологически старше расположенных у вершины, кроме того их поверхность в разной степени подвержена обдуванию слабыми воздушными потоками, беспокоящими самок, осуществляющих яйцекладку. Результаты расчета значений непараметрических коэффициентов корреляции Спирмена ( $r_s$ ) и конкордации Кэндалла ( $\tau$ ) приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Результаты корреляционного анализа данных о заселенности минирующими личинками агромизид простых листочков в их последовательном размещении на рахисе сложного листа караганы древовидной**

Локализация простых листочков, их сторона	Коэффициент корреляции Спирмена		Коэффициент конкордации Кэндалла	
	$r_s, \%$	$p$	$\tau, \%$	$p$
<i>Aulagromyza caraganae</i> (Rohdendorf-Holmanová, 1959)				
Левосторонняя, верхняя	-0,15	0,98	-0,13	0,97
Левосторонняя, нижняя	-9,90	0,07	-8,69	<b>0,02</b>
Правосторонняя, верхняя	-1,27	0,82	-1,12	0,76
Правосторонняя, нижняя	-8,68	0,12	-7,66	<b>0,04</b>
<i>Amauromyza obscura</i> (Rohdendorf-Holmanová, 1959)				
Левосторонняя, нижняя	-9,22	0,09	-8,31	<b>0,03</b>
Правосторонняя, нижняя	-8,90	0,11	-7,87	<b>0,04</b>

Примечание. Полу жирным шрифтом выделены значения  $p$  ниже порогового уровня статистической значимости ( $p = 0,05$ ).

Таблица 2

**Результаты корреляционного анализа данных о заселенности желтоакациевой прыгающей тлей простых листочков в их последовательном размещении на рахисе сложного листа караганы древовидной**

Локализация простых листочков, их сторона	Коэффициент корреляции Спирмена		Коэффициент конкордации Кэндалла	
	$r_s$ , %	$p$	$\tau$ , %	$p$
Левосторонняя, верхняя	-0,17	0,018	-0,29	2,27600E-05
Левосторонняя, нижняя	-0,28	0,00005	-0,23	1,3948E-06
Правосторонняя, верхняя	-0,30	0,000009	-0,25	1,2659E-07
Правосторонняя, нижняя	-0,38	0,00000002	-0,31	7,9943E-11
Левосторонняя	-0,23	0,000004	-0,18	7,5198E-08
Верхняя сторона	-0,23	0,000002	-0,19	1,3457E-08
Правосторонняя	-0,32	0,00000000003	-0,26	2,2069E-15
Нижняя сторона	-0,34	0,000000000004	-0,27	1,5085E-15

Просматривается слабая отрицательная корреляция между порядковым номером простого листочка на рахисе сложного листа *C. arborescens* и их заселенностью личинками мух-агромизид. При этом лишь в отдельных случаях выявляемая коррелятивная связь статистически значима.

В выборке листовых пластинок караганы древовидной, проанализированной на предмет заселенности желтоакациевой прыгающей тлей (*Th. tenera*), количество особей на отдельных простых листочках не превышало двух.

Использование непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова не выявило статистически значимых различий заселенности простых листочков справа и слева от рахиса ( $z = 0,05$ ,  $p = 0,96$  и  $D = 0,09$ ,  $p = 0,76$  соответственно). Нетипичным является результат проверки достоверности различий заселенности тлями верхней и нижней сторон листовых пластинок, которые также не были статистически значимыми ( $z = 1,02$ ,  $p = 0,48$  и  $D = 0,08$ ,  $p = 0,99$  соответственно), что можно объяснить формированием выборки из молодых, недавно сформированных листьев, поскольку сборы выполняли на растениях уже после летней обрезки.

Как следует из данных табл. 2, просматривается крайне слабая отрицательная корреляция между порядковым номером простого листочка на рахисе сложного листа *C. arborescens* и их заселенностью *Th. tenera*, однако во всех случаях она статистически значима ( $p < 0,05$ ).

Таким образом, результаты анализа характера размещения маломобильных насекомых и повреждений скрытоживущими растительоядными насекомыми на листочках сложных листьев караганы древовидной выявили некоторую специфику для отдельных фитофагов. Противоречиями обычной картине оказались результаты оценки различий в заселенности желтоакациевой прыгающей тлей верхней и нижней сторон простых листочков, которые не были статистически значимыми ( $p > 0,05$ ). В целом, регистрируемый уровень поврежденности

простых листочков караганы древовидной личинками минирующих мух и желтоакациевой листовой галлицы удерживался ниже 10%, т. е. на достаточно низком уровне. Однако наносимые данными фитофагами повреждения хорошо заметны и непреодолимы в течение текущего сезона вегетации, что определяет актуальность дальнейших исследований экологии этих минирующих фитофагов.

**Заключение.** Выполненные исследования позволили оценить характер размещения маломобильных насекомых (желтоакациевая прыгающая тля (*Therioaphis tenera* Aizenberg, 1956; Rhynchota: Sternorrhyncha: Calaphididae)) и поврежденный скрытоживущими растительоядными насекомыми (желтоакациевая листовая галлица (*Dasineura sibirica* (Marikovskij, 1962); Diptera: Cecidomyiidae), минирующие мухи ((Diptera: Agromyzidae) *Aulagromyza caraganae* Rohdendorf-Holmanová (1959) и *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959)) на листочках сложных листьев караганы древовидной, или желтой акации (*Caragana arborescens* Lam.; Fabales: Fabaceae), в декоративных зеленых насаждениях.

Мины личинок *A. caraganae* размещаются преимущественно на нижней стороне листовых пластинок, использование непараметрического критерия парных различий Вилкоксона подтвердило это с высоким уровнем значимости ( $p = 0,00001$ ). Мины личинок *A. obscura* характеризовались исключительно верхнесторонним расположением, при этом заселенность минером составляла 9,32% для листочков слева от рахиса и 7,45% – справа, однако использование непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова не подтвердило статистическую значимость ( $p > 0,05$ ) наблюдаемых различий.

Использование непараметрических коэффициентов ранговой корреляции Спирмена ( $r_s$ ) и конкордации Кэндалла ( $\tau$ ) выявило статистически значимую ( $p < 0,01$ ) слабоотрицательную связь заселенности желтоакациевой прыгающей

тлей с порядком расположения простых листочков на рахисе.

Для желтоакациевой листовой галлицы (*D. sibirica*) определенного паттерна локализации галлов на сложных листьях караганы древовидной (*C. arborescens*) в ходе выполненного исследования выявить не удалось.

В целом уровни поврежденности караганы древовидной малоподвижными сосущими и скрытоживущими фитофагами в условиях зеленых насаждений оцениваются как незначительные, однако характер наносимых повреждений может обуславливать существенные потери растениями декоративности.

### Список литературы

1. *Caragana* Lam. Plants of the World Online // Kew. 2023. URL: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:21935-1> (date of access: 21.02.2024).
2. *Caragana* Lam. – Карагана // Флора БССР. В 5 т. Т. 3. Минск: Изд-во АН БССР, 1950. С. 162–166.
3. Zhang M.-L., Fritsch P. W. Evolutionary response of *Caragana* (Fabaceae) to Qinghai-Tibetan Plateau uplift and Asian interior aridification // *Plant Systematics and Evolution*. 2010. Vol. 288, no. 3–4. P. 191–199.
4. Гаранович И. М. Декоративное садоводство: справочное пособие. Минск: Тэхналогія, 2005. 348 с.
5. Горленко С. В., Панько Н. А. Вредители и болезни интродуцированных растений. Минск: Наука и техника, 1967. 136 с.
6. Сауткин Ф. В., Буга С. В. Таксономический состав и вредоносность основных вредителей караганы древовидной (*Caragana arborescens* Lam.) в условиях зеленых насаждений городов Беларуси // *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия, Биология. География*. 2012. № 3. С. 90–91.
7. Петров Д. Л., Сауткин Ф. В. Насекомые-галлообразователи – вредители кустарниковых растений зеленых насаждений Беларуси // *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия, Биология. География*. 2013. № 1. С. 65–71.
8. Петров Д. Л. Дендрофильные галлообразующие двукрылые (Insecta: Diptera) фауны Беларуси // *Вестн. Белорус. гос. ун-та. Сер. 2, Химия, Биология. География*. 2010. № 1. С. 31–35.
9. Жоров Д. Г., Сауткин Ф. В., Буга С. В. Распространение *Therioaphis tenera* (Aizenberg, 1956) (Sternorrhyncha: Drepanosiphidae) в условиях зеленых насаждений Беларуси // *Труды БГУ*. 2014. Т. 9, № 2. С. 124–129.
10. Жоров Д. Г., Сауткин Ф. В., Буга С. В. Современная структура комплекса чужеродных видов сосущих членистоногих-фитофагов фауны Беларуси // *Докл. Нац. акад. наук Беларуси*. 2016. Т. 60, № 4. С. 88–92.
11. Фоновые инвазивные виды членистоногих – вредителей древесных растений зеленых насаждений Беларуси / Д. Г. Жоров [и др.] // *Вестн. Брэсц. ун-та. Сер. 5. Хімія. Біялогія. Навукі аб зямлі*. 2016. № 1. С. 25–34.
12. Волосач М. В. Вредоносность минирующих мух (Diptera: Agromyzidae), повреждающих караганы и пузырник персидский в зеленых насаждениях Беларуси // *Актуальные проблемы изучения и сохранения фито- и микобиоты: материалы III междунар. науч.-практ. конф. Минск, 11–13 нояб. 2020 г. Минск, 2020. С. 20–24.*
13. Лазаренко М. В. Уровень поврежденности караганы древовидной личинками минирующих мух *Atauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) и *Aulagromyza caraganae* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) (Diptera: Agromyzidae) в декоративных зеленых насаждениях // *Проблемы зоокультуры и экологии*. 2021. Вып. 5. С. 150–155.
14. Буга С. В. Дендрофильные тли Беларуси. Минск: БГУ, 2001. 98 с.
15. PAST 4. Manual. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (date of access: 21.02.2024).

### References

1. *Caragana* Lam. Plants of the World Online. Available at: <https://powo.science.kew.org/taxon/urn:lsid:ipni.org:names:21935-1> (accessed 21.02.2024).
2. *Caragana* Lam. – Caragana. *Flora BSSR. V 5 tomakh. T. 3* [Flora of the BSSR. In 5 vol. Vol. 3]. Minsk, Academy of Sciences of the BSSR Publ., 1950, pp. 162–166 (In Russian).
3. Zhang M.-L., Fritsch P. W. Evolutionary response of *Caragana* (Fabaceae) to Qinghai-Tibetan Plateau uplift and Asian interior aridification // *Plant Systematics and Evolution*, 2010, vol. 288, no. 3–4, pp. 191–199.
4. Garanovich I. M. *Dekorativnoye sadovodstvo: spravochnoye posobiye* [Ornamental gardening: a manual]. Minsk, Tekhnologiya Publ., 2005. 348 p. (In Russian).
5. Gorlenko S. V., Pan'ko N. A. *Vrediteli i bolezni introdutsirovannykh rasteniy* [Pests and diseases of introduced plants]. Minsk, Nauka i tekhnika Publ., 1967. 136 p. (In Russian).

6. Sautkin F. V., Buga S. V. The main pests of Siberian peashrub (*Caragana arborescens* Lam.) in urban green stands in Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian State University], series 2, Chemistry. Biology. Geography, 2012, no. 3, pp. 90–91 (In Russian).

7. Petrov D. L., Sautkin V. F. Gall-forming insects – pests of shrubs of green spaces in Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian State University], series 2, Chemistry. Biology. Geography, 2013, no. 1, pp. 65–71 (In Russian).

8. Petrov D. L. Dendrophilous gall-forming dipterans (Insecta: Diptera) of the fauna of Belarus. *Vestnik Belorusskogo gosudarstvennogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian State University], series 2, Chemistry. Biology. Geography, 2010, no. 1, pp. 31–35 (In Russian).

9. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Buga S. V. Distribution of *Therioaphis tenera* (Aizenberg, 1956) (Stenorrhyncha: Drepanosiphidae) under the conditions of green stands in Belarus. *Trudy BGU* [Proceedings of the Belarusian State University], 2014, vol. 9, no. 2, 124–129 (In Russian).

10. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Buga S. V. Actual structure of the complex of alien species of sucking phytophagous arthropods in the fauna of Belarus. *Doklady Natsional'noy akademii nauk Belarusi* [Doklady of the National Academy of Sciences of Belarus], 2016, vol. 60, no. 4, pp. 88–92 (In Russian).

11. Zhorov D. G., Sautkin F. V., Sinchuk O. V., Roginsky A. S. Invasive species of arthropod pests of woody plants common under conditions of green stands in Belarus. *Vestnik Brestskaya universiteta* [Bulletin of Brest State University], series 5, Chemistry. Biology. Sciences about Earth, 2016, no. 1, pp. 25–34 (In Russian).

12. Volosach M. V. The harmfulness of leafmining flies (Diptera: Agromyzidae) damaging *Caragana* and bladder senna in green spaces of Belarus. *Aktual'nyye problemy izucheniya i sokhraneniya fito- i mikrobioty: materialy III mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current Problems in the Study and Conservation of Phyto- and Mycobiota: materials of the III International Scientific and Practical Conference], Minsk, 2020, pp. 20–24 (In Russian).

13. Lazarenko M. V. Level of damage to Siberian Peashrub caused by mining fly *Amauromyza obscura* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) and *Aulagromyza caraganae* (Rohdendorf-Holmanová, 1959) (Diptera: Agromyzidae) larvae in green areas. *Problemy zookul'tury i ekologii* [Problems of zooculture and ecology], 2021, issue 5, pp. 150–155 (In Russian).

14. Buga S. V. *Dendrofil'nyye tli Belarusi* [Dendrophilous aphids of Belarus]. Minsk, BSU Publ., 2001. 98 p. (In Russian).

15. PAST 4. Manual. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 21.02.2024).

#### Информация об авторах

**Сауткин Федор Викторович** – кандидат биологических наук, доцент, докторант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: fvsautkin@gmail.com

**Лазаренко Марина Владимировна** – старший преподаватель кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: minta015@gmail.com

**Рогинская Юлия Сергеевна** – аспирант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: zoo@bsu.by

**Бегун Анна Александровна** – аспирант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: anna.begun.98@gmail.com

#### Information about the authors

**Sautkin Fedar** – PhD (Biology), Assistant Professor, post-doctoral student, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: fvsautkin@gmail.com

**Lazarenko Marina** – Senior Lecturer, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: minta015@gmail.com

**Roginskaya Yulia** – PhD student, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: roginski@gmail.com

**Biahun Hanna** – PhD student, the Department of Zoology. Belarusian State University (4, Nezavisimosti Ave., 220030, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anna.begun.98@gmail.com

Поступила 15.03.2024

УДК 632.78 (476)

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

**ПОВРЕЖДЕННОСТЬ ИНВАЗИВНЫМИ МИНЕРАМИ ЛИП  
И КОНСКИХ КАШТАНОВ В ЗЕЛЕННЫХ НАСАЖДЕНИЯХ  
НАСЕЛЕННЫХ ПУНКТОВ В ГРАНИЦАХ И ПОГРАНИЧЬЕ  
НЕКОТОРЫХ ОСОБО ОХРАНЯЕМЫХ ТЕРРИТОРИЙ БЕЛАРУСИ**

В границах и в ближайших окрестностях особо охраняемых природных территорий Беларуси расположены населенные пункты, в которых присутствуют зеленые насаждения с произрастающими там декоративными деревьями и кустарниками. Аборигенные и интродуцированные древесные растения повреждаются фитофагами-вредителями, среди которых чужеродные для фауны инвазивные виды насекомых. В статье рассмотрены оценки параметров поврежденности инвазивными видами молей-пестрянок (Gracillariidae), липовой молью-пестрянкой (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) и каштановой минирующей молью (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986) аборигенной липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill.) и интродуцированного конского каштана обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) в зеленых насаждениях на территории и пограничье Национальных парков «Браславские озера» и «Нарочанский», Березинского биосферного заповедника и Республиканского ландшафтного заказника «Налибокский» в конце сезона вегетации 2023 г. Методами компьютерной планиметрии оценена площадь отдельных мин и/или суммарная площадь повреждений (мин) на листовых пластинках, рассчитана площадь поврежденной листовой поверхности. Отмечен значительный разброс значений рассмотренных параметров, коэффициенты вариации для указанных показателей составляли от 21,13 до 84,58%. Использование непараметрических критериев различий Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова выявили статистически значимые ( $p < 0,01$ ) различия относительной площади поврежденной листовой поверхности лип в Березинском биосферном заповеднике и Налибокской пуще, тогда как конских каштанов еще и в Национальном парке «Нарочанский». При этом уровни потери декоративности растениями липы мелколистной вследствие повреждения личинками липовой моли-пестрянки в условиях зеленых насаждений ООПТ оцениваются как незначительные, в то время как конского каштана обыкновенного в результате повреждения личинками каштановой минирующей моли – от незначительных до ощутимых.

**Ключевые слова:** *Cameraria ohridella*, *Phyllonorycter issikii*, конский каштан обыкновенный, липа мелколистная, минирующие насекомые, чужеродные виды.

**Для цитирования:** 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.

F. Yakouchyk, A. Roginsky, S. Buga  
Belarusian State University

**DAMAGE TO LIME AND HORSE CHESTNUT TREES BY INVASIVE LEAF  
MINERS IN GREEN STANDS OF SETTLEMENTS WITHIN THE BORDERS  
AND IN THE VICINITY OF SOME PROTECTED NATURE AREAS OF BELARUS**

Within the boundaries and in the vicinity of protected nature areas of Belarus there are settlements with green stands with ornamental trees and shrubs growing there. Aboriginal and introduced woody plants are damaged by phytophagous insects, including invasive species alien to the fauna of Belarus. The paper deals with estimations of damage parameters by invasive species of mining moths (Gracillariidae), the lime leaf miner (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) and the horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986), aboriginal small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) and introduced the horse chestnut (*Aesculus hippocastanum* L.) in green stands within the borders and in the vicinity of the National parks "Braslav Lakes" and "Narochansky", Berezinsky Biosphere Reserve, and the Republican landscape reserve "Naliboksky" at the end of the growing season 2023. The area of individual mines and/or total area of damage (mines) on leaf plates was 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 21.13 to 84.58%. 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 lime trees in Berezhinsky biosphere reserve and the Republican landscape reserve "Naliboksky", while that of the horse chestnuts also in the National Park "Narochansky". At the same time, the levels of loss of ornamental value of small-leaved limes due to damage by larvae of *Ph. issikii* in green stands of protected areas are assessed as insignificant, while the levels of loss of ornamental value of the horse chestnuts due to damage by larvae of *C. ohridella* range from insignificant to appreciable.

**Keywords:** *Cameraria ohridella*, *Phyllonorycter issikii*, common horse chestnut, small-leaved lime, leaf-mining insects, alien species.

**For citation:** Yakouchyk F., Roginsky A., Buga S. Damage to lime and horse chestnut trees by invasive miners in green stands of settlements within the borders and in the vicinity of some protected nature areas of Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 114–121 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-14.

**Введение.** Особо охраняемые природные территории (ООПТ) призваны служить целям сохранения в относительно малонарушенном состоянии природных комплексов, характерных для определенного ландшафтно-географического региона. Инвазии чужеродных для фауны или флоры биологических видов специалисты рассматривают как специфическое «биологическое» загрязнение среды [1, 2]. Как правило, к моменту организации ООПТ в их границах или поблизости уже располагаются те или иные населенные пункты, в которых имеются зеленые насаждения с произрастающими там интродуцентами. Как аборигенные, так и чужеродные для региональной флоры растения являются кормовыми объектами для растительноядных членистоногих, среди которых могут быть чужеродные и/или инвазивные виды. Подобные ситуации должны рассматриваться как нежелательные с точки зрения конфликта с целями создания и функционирования ООПТ, а в зеленых насаждениях населенных пунктов – снижения их рекреационной ценности, что особенно значимо для национальных парков, являющихся объектами экологического туризма. Этим определяется актуальность и практическая значимость изучения комплексов наземных беспозвоночных – вредителей декоративных насаждений в условиях особо охраняемых природных территорий.

Липа мелколистная, или сердцелистная (*Tilia cordata* Mill.), – аборигенный вид дендрофлоры Беларуси, широко представленный в зеленых насаждениях, но также присутствующий в смешанных и широколиственных лесах. Конский каштан обыкновенный (*Aesculus hippocastanum* L.) является интродуцентом, в настоящее время обычным в зеленых насаждениях населенных пунктов Республики Беларусь. Посадки липы мелколистной и конского каштана обыкновенного имеются в агрогородках, деревнях и других населенных пунктах в границах и ближайших окрестностях таких крупных природных резерватов, как Березинский биосферный заповедник, Национальный парк «Нарочанский», Национальный парк «Бра-

славские озера» и Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский».

Среди фитофагов – вредителей липы мелколистной и конского каштана обыкновенного выделяются чужеродные для региональной фауны виды листовых минеров семейства молей-пестрянок (Lepidoptera: Gracillariidae), включенные в «Черную книгу инвазивных видов животных Беларуси» [3]: липовая моль-пестрянка (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) и каштановая минирующая моль, или охридский минер (*Cameraria ohridella* Deschka & Dimič, 1986). Личинки этих фитофагов развиваются в минах, формируемых в мезофилле с нижней (что чаще) или с верхней стороны листа. На младших возрастах они являются так называемыми «сокоедками», затем переходят к потреблению листовой паренхимы, используя адаптированный для этого грызущий ротовой аппарат. Поврежденные участки листовой поверхности выделяются хлоротичной окраской, по завершении развития личинок быстро некротизируются. Мины личинок каштановой минирующей моли часто сливаются, что не характерно для мин личинок липовой моли-пестрянки. Контрастирующие с окраской остальной листовой поверхности повреждения хорошо заметны стороннему наблюдателю и сильно снижают декоративность крон. Характерным также является преждевременное опадение поврежденных *C. ohridella* листьев, что также негативно сказывается на декоративности насаждений.

В настоящее время каштановая минирующая моль является основным вредителем конского каштана обыкновенного в зеленых насаждениях Беларуси, регистрируясь во всех регионах страны [4]. Это выходец из южной Европы, исходный ареал вида был ограничен горными долинами Балканского полуострова, т. е. областью произрастания исходного кормового растения – конского каштана обыкновенного (*A. hippocastanum*) [5]. Высокий уровень вредоносности инвайдера заставляет рассматривать вопрос о замене конских каштанов обыкновенных устойчивыми к повреждению минером древесными породами [6].

Выполненные в предшествующие годы исследования показали, что в зеленых насаждениях городов Беларуси поврежденность конских каштанов охридским минером достигает чрезвычайно высоких уровней: от 2,97 до 89,45%. 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].

Липовая моль-пестрянка является чужеродным для фауны Беларуси представителем семейства *Gracillariidae*, распространение которого исходно было ограничено регионами Дальнего Востока [9]. Как новый для науки вид его по сборам из Японии описал Т. Kumata [10]. Инвайдер уже завершил свое распространение по территории Беларуси [11]. Уровень заселенности личинками липовой моли-пестрянки листовых пластинок липы мелколистной к концу сезона вегетации может приближаться к 40% [12]. Вид в условиях Беларуси способен давать две полные генерации [13], уровни поврежденности растений осенью ожидаемо выше, чем в середине лета.

В задачу настоящей работы входила оценка итоговых на конец сезона вегетации уровней поврежденности листовых пластинок липы мелколистной и конского каштана обыкновенного минирующими личинками липовой моли-пестрянки и каштановой минирующей моли соответственно в условиях зеленых насаждений в границах и ближайших окрестностях ряда ООПТ Беларуси.

**Место, материал и методы исследования.** Отбор проб поврежденных личинками липовой моли-пестрянки и каштановой минирующей моли листовых пластинок липы мелколистной и конского каштана обыкновенного был выполнен в сентябре 2023 г. в зеленых насаждениях д. Углы Воложинского района Минской области (Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»), д. Домжерицы Лепельского района Витебской области (Государственное природоохранное учреждение «Березинский биосферный заповедник»), к. п. Нарочь Мядельского района Минской области (Национальный парк «Нарочанский») и аг. Козяны Браславского района Витебской области (Национальный парк «Браславские озера»). Листовые пластинки рандомизировано отбирали из нижней части крон, не менее 35 в выборке, помещали в полиэтиленовые пакеты и гербаризировали по стандартной методике [14]. Полученные с использованием планшетного сканера CanoScan 9000F Mark II изображения разрешением не менее 300 dpi подвергали обработке средствами специализированного графического редактора ImageJ [15] для определения площади повреждений и листовых пластинок в целом.

Анализ материалов предусматривал установление среднего числа мин личинок *Ph. issikii* на отдельных листовых пластинках, средней площади отдельных мин, общей (суммарной) площади всех мин на отдельных листовых пластинках, относительной поврежденности листовых пластинок (отношение общей площади мин к площади всей листовой пластинки) *T. cordata*. Уровень поврежденности листовых пластинок *A. Hippocastanum* был столь значителен, что затруднял выделение мин отдельных личинок *C. ochridella* ввиду слияния. Данное обстоятельство заставило ограничиться определением общей площади повреждений и площади поврежденной листовой пластинки, на основе которых рассчитывалась относительная площадь поврежденной листовой поверхности.

Данные аккумулировали в электронных таблицах, статистический анализ выполнен средствами свободно распространяемого программного пакета PAST 4.15 [16]. Для каждой из выборок рассчитаны средние арифметические, в качестве доверительного интервала для полученных значений использована стандартная ошибка средней. Исходя из характера анализируемых показателей (среди них присутствуют относительные переменные) и распределения данных в выборочных совокупностях для анализа 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» (№ госрегистрации 20211704) и «Особенности структуры сообществ опылителей и минеров-филлобионтов лесных экосистем юго-запада Белорусского Поозерья» (№ госрегистрации 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 зеленых насаждениях населенных пунктов особо охраняемых природных территорий (Национальный парк «Нарочанский», заказник «Налибокский», Березинский биосферный заповедник), а также параметры поврежденности личинками каштановой минирующей моли (площадь повреждений, т. е. суммарная площадь мин на отдельных листьях, а также относительная площадь поврежденной листовой поверхности) представлены в табл. 1. Следует отметить, что коэффициент вариации показателя площади листовых пластинок был

относительно высоким (33,39%), высоким (64,91%) или очень высоким (204,23%). Последнее наблюдалось в насаждениях Налибокской пуши и, очевидно, определялось особенностями архитектуры крон, подвергавшихся обрезке, – характерным является присутствие большого числа приствольных веточек с мелкими листьями, а также стандартных ветвей с крупными (вследствие отсутствия загущения) листьями.

Значения показателя средней площади листовых пластинок конских каштанов в зеленых насаждениях в заказнике «Налибокский» ( $34\,406,28 \pm 13\,048,45 \text{ мм}^2$ ) были близки к таковым в Березинском биосферном заповеднике ( $32\,403,20 \pm 2369,95 \text{ мм}^2$ ) и примерно в 3 раза превышали значения для Национального парка «Нарочанский» ( $10\,881,39 \pm 1289,63 \text{ мм}^2$ ). При этом относительная площадь поврежденной листовой поверхности растений в Национальном парке «Нарочанский» максимальна ( $42,32 \pm 3,12\%$ ), примерно на 1/4 превышает таковую в Налибокской пуше ( $32,61 \pm 2,54\%$ ) и почти в 2 раза – в Березинском биосферном заповеднике ( $13,23 \pm 1,43\%$ ). Одновременно коэффициенты вариации для суммарной площади повреждений (мин) на отдельных листовых пластинках и относительной площади поврежденной листовой поверхности были умеренно высоки, удерживаясь в диапазоне от 67,76 до 84,56% и от 40,35 до 58,41% соответственно.

Оценки параметров поврежденности листовой поверхности личинками липовой моли-пестрянки получены для посадок липы мелколистной в аг. Козяны (Национальный парк «Браславские озера»), д. Углы (Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский») и д. Домжерицы (Березинский биосферный заповедник). Значения таких показателей, как площадь отдельных листовых пластинок, площадь отдельных мин, общая пло-

щадь повреждений на отдельных листьях и относительная площадь поврежденной листовой поверхности, представлены в табл. 2.

Коэффициент вариации для площади листовых пластинок липы мелколистной оказался ниже (от 29,73 до 44,24%), чем для конского каштана обыкновенного. Наименьший разброс данных (коэффициент вариации от 21,13 до 30,14%) демонстрировал такой показатель, как площадь отдельных мин, – это вполне логично, учитывая, что слияние мин отдельных личинок *Ph. issikii* совершенно не характерно, а особи имеют близкие требования к жизненному пространству, объему потребляемой пищи и пр. Напротив, наибольший разброс значений коэффициента вариации (от 49,69 до 63,61%) наблюдался для такого показателя, как относительная площадь поврежденной листовой поверхности, значения которого достаточно низки (от  $2,43 \pm 0,19\%$  в условиях Березинского биосферного заповедника до  $3,58 \pm 0,31\%$  в Налибокской пуше) и соответствуют незначительному уровню потери растениями декоративности.

Использование критерия интегральных различий Колмогорова – Смирнова (табл. 3) выявило статистически значимые различия площади отдельных мин личинок *Ph. issikii* на листовых пластинках лип мелколистных из Налибокской пуши и Национального парка «Браславские озера» ( $p = 0,0009$ ), но не Березинского биосферного заповедника ( $p = 0,50$ ). Эти результаты подтверждает U-тест Манна – Уитни ( $p = 0,0009$  и  $p = 0,13$  соответственно). Различия значений показателя общей площади повреждений (суммарной площади мин на отдельных листовых пластинках) оказались статистически значимыми для Национального парка «Браславские озера» и таких ООПТ, как заказник «Налибокский» и Березинский биосферный заповедник.

Таблица 1

**Поврежденность листьев конского каштана обыкновенного личинками каштановой минирующей моли в условиях особо охраняемых природных территорий (2023 г.)**

Показатель	Средняя арифметическая	Стандартная ошибка средней	Медиана	Коэффициент вариации, %
к. п. Нарочь, Национальный парк «Нарочанский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	10 881,39	1289,63	10 451,39	64,91
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	5102,50	787,90	4485,27	84,58
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	42,32	3,12	41,43	40,35
д. Углы, Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	34 406,28	13 048,45	21 353,15	204,23
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	7515,14	955,61	7240,66	68,48
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	32,61	2,54	31,02	41,99
д. Домжерицы, Березинский биосферный заповедник,				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	32 403,20	2369,95	29 373,20	39,39
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	4448,31	559,71	4373,20	67,76
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	13,23	1,43	13,25	58,41

Таблица 2

**Поврежденность листьев липы мелколистной личинками липовой моли-пестрянки  
в условиях особо охраняемых природных территорий (2023 г.)**

Показатель	Средняя арифметическая	Стандартная ошибка средней	Медиана	Коэффициент вариации, %
аг. Козяны, Национальный парк «Браславские озера»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	3772,10	195,24	84,08	57,88
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	96,61	9,73	84,08	57,88
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	73,30	3,88	77,90	21,13
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	2,76	0,31	2,26	63,61
Березинский биосферный заповедник				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	4236,40	223,72	4362,03	33,40
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	93,70	5,47	88,30	36,93
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	85,63	18,09	86,21	21,13
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	2,43	0,19	2,23	49,69
д. Углы, Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	3879,36	252,95	3710,38	41,24
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	122,33	9,36	101,18	48,38
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	92,41	4,40	91,41	30,14
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	3,58	0,31	3,08	55,13

И наконец, оба критерия подтвердили статистическую значимость различий относительной площади поврежденной листовой поверхности лип мелколистных из Налибокской пущи и Бе-

резинского биосферного заповедника ( $p = 0,004$  для критерия Манна – Уитни и  $p = 0,007$  для критерия интегральных различий Колмогорова – Смирнова).

Таблица 3

**Результаты использования критериев различий применительно к значениям параметров поврежденности листьев липы мелколистной личинками липовой моли-пестрянки в зеленых насаждениях ООПТ Беларуси (2023 г.)**

Параметры	U-критерий Манна – Уитни		Критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова	
	$z$	$p$	$D$	$p$
Национальный парк «Браславские озера» – Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	0,02	0,99	0,18	0,57
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	3,36	0,0009	0,45	0,002
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	2,49	0,01	0,36	0,01
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	1,98	0,05	0,26	0,13
Березинский биосферный заповедник – Национальный парк «Браславские озера»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	1,35	0,18	0,22	0,28
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	2,41	0,02	0,30	0,07
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	0,75	0,46	0,28	0,08
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	0,22	0,82	0,21	0,32
Березинский биосферный заповедник – Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	1,14	0,25	0,23	0,25
Площадь отдельных мин, мм <sup>2</sup>	1,48	0,13	0,18	0,50
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	2,56	0,01	0,30	0,05
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	2,85	0,004	0,38	0,007

Результаты использования непараметрических критериев различий Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова применительно к данным для конских каштанов в зеленых насаждениях в границах и пограничье рассмотренных ООПТ представлены в табл. 4.

Наблюдаемые различия площади поврежденных листьев конских каштанов в зеленых насаждениях в Национальном парке «Нарочанский» и остальных местах произрастания были высоко достоверны ( $p < 0,005$ ). Обратной была ситуация для средней площади листовых пластинок *A. hippocastanum* из Березинского биосферного заповедника и Налибокской пуши (табл. 4).

Критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова не подтверждает достоверность различий ( $p > 0,05$ ) для площади повреждений, тогда как результаты U-теста Манна – Уитни указывают на существование статистически значимых различий значений данного показателя для Налибокской пуши, с одной стороны, и Национального парка «Нарочанский» ( $p = 0,03$ ) и Березинского биосферного заповедника – с другой ( $p = 0,02$ ), исключая пару сравнения Налибокская пуша – Березинский биосферный заповедник ( $p = 0,03$ ). Напротив, U-тест Манна – Уитни не подтверждает достоверность различий между значениями показателей для Березинского заповедника и Национального парка «Нарочанский» ( $p = 0,98$ ). Относительная площадь поврежденной листовой поверхности была максимальна у растений в Национальном парке «Нарочанский» ( $42,32 \pm 3,12\%$ ) и минимальна – в Березинском биосферном заповеднике ( $13,23 \pm 1,43\%$ ) при промежуточном уровне для Налибокской пуши ( $32,61 \pm 2,54\%$ ), причем наблюдаемые различия оказались статистически значимы ( $p \leq 0,01$ ).

В целом уровни поврежденности листьев, а именно значения показателя относительной площади поврежденной листовой поверхности лип и конских каштанов в условиях населенных пунктов в границах и пограничье ООПТ, оказались ниже, чем ранее в областных центрах и других крупных населенных пунктах Беларуси [9, 14]. Однако для подтверждения данного заключения нужны дополнительные оценки, полученные для одного и того же, а не разных полевых сезонов, что и определяет целесообразность дальнейших исследований.

**Заключение.** Выполненные исследования позволили оценить параметры поврежденности листовых пластинок липы мелколистной и конского каштана обыкновенного липовой молью-пестрянкой и каштановой минирующей молью в условиях зеленых насаждений населенных пунктов в границах и пограничье особо охраняемых природных территорий, а именно Национальных парков «Браславские озера» и «Нарочанский», Березинского биосферного заповедника и Республиканского ландшафтного заказника «Налибокский», на конец сезона вегетации 2023 г. Высокие уровни вариабельности как площади поврежденных листовых пластинок (коэффициенты вариации от 29,73 до 41,24% для *T. cordata* и от 39,39 до 204,23% для *A. hippocastanum*), так и относительной площади поврежденной листовой поверхности (коэффициент вариации от 49,69 до 63,61% для листовых пластинок *T. cordata*, поврежденных *Ph. issikii*, и от 40,35 до 58,41% для *A. hippocastanum*, поврежденных *C. ohridella*) выявлены с использованием непараметрических критериев Манна – Уитни и Колмогорова – Смирнова, причем статистически значимые различия констатированы лишь для отдельных пар сравнения параметров поврежденности и локалитетов.

Таблица 4

**Результаты использования критериев различий применительно к значениям параметров поврежденности листьев конского каштана обыкновенного личинками каштановой минирующей моли в зеленых насаждениях ООПТ Беларуси (2023 г.)**

Параметры	U-критерий Манна – Уитни		Критерий интегральных различий Колмогорова – Смирнова	
	<i>z</i>	<i>p</i>	<i>D</i>	<i>p</i>
Национальный парк «Нарочанский» – Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	3,62	0,0004	0,44	0,002
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	2,15	0,03	0,28	0,19
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	2,33	0,02	0,41	0,01
Березинский биосферный заповедник – Республиканский ландшафтный заказник «Налибокский»				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	2,63	0,007	0,34	0,06
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	2,36	0,02	0,38	0,03
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	5,24	0,0001	0,76	0,001
Национальный парк «Нарочанский» – Березинский биосферный заповедник				
Площадь листовой пластинки, мм <sup>2</sup>	5,80	0,0001	0,79	0,001
Площадь повреждений (мин), мм <sup>2</sup>	0,02	0,98	0,17	0,77
Относительная площадь поврежденной листовой поверхности, %	5,61	0,0001	0,76	0,001

В целом уровни поврежденности лип личинками моли-пестрянки в условиях зеленых насаждений ООПТ оцениваются как незначи-

тельные, тогда как конских каштанов личинками каштановой минирующей моли – от незначительных до ощутимых.

### 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 // Федеральное государственное бюджетное учреждение науки «Институт проблем экологии и эволюции им. А. Н. Северцова» Российской академии наук (ИПЭЭ РАН). URL: [http://www.sevin.ru/invasive/publications/panov\\_02.html](http://www.sevin.ru/invasive/publications/panov_02.html) (дата обращения: 21.02.2022).
3. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / В. П. Семенченко [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2020. 163 с.
4. 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.
5. Šefrova H., Lastuvka Z. Dispersal of the horse-chestnut leafminer *Cameraria ohridella* in Europe: its course, ways and causes // Entomol. Zeit. Stuttgart. 2001. Vol. 111. P. 195–198.
6. Рогинский А. С., Анацко Ю. В., Буга С. В. Оценка затрат на замену конского каштана обыкновенного в зеленых насаждениях Минска древесными породами, устойчивыми к повреждению инвазивными минерами // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 76–86. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-10.
7. Рогинский А. С., Яковчик Ф. Г., Буга С. В. Особенности фенологии каштановой минирующей моли (*Cameraria ohridella* Deshka & 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 минеров листовой поверхности каштана конского обыкновенного (*Aesculus hippocastanum* L.) // Лесное хозяйство: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск, 31 янв.–17 февр. 2023 г. – Минск, 2023. С. 498.
9. Ермолаев И. В., Рублева Е. А. История, скорость и факторы инвазии липовой моли-пестрянки *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) в Евразии // Российский журнал биологических инвазий. 2017. Т. 10, № 1. С. 2–19.
10. Kumata T. Taxonomic studies on the Lithocolletinae of Japan (Lepidoptera: Gracillariidae). Part I // Insecta Matsumurana. 1963. Vol. 25, no. 2. P. 53–90.
11. Черная книга инвазивных видов животных Беларуси / А. В. Алехнович [и др.]. Минск: Беларус. навука, 2016. 105 с.
12. Синчук О. В. Оценка поврежденности листовых пластинок липы мелколистной (*Tilia cordata* Mill., 1768) липовой молью-пестрянкой (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) в условиях зеленых насаждений различных регионов Беларуси // Труды БГУ. 2016. Т. 11, ч. 2. С. 336–343.
13. Синчук О. В., Буга С. В. Анализ поврежденности листовых пластинок аборигенных и интродуцированных видов и форм лип (*Tilia* L.) личинками второй генерации липовой моли-пестрянки (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) в условиях Беларуси // Защита растений. 2016. Т. 40. С. 269–277.
14. Гербарное дело: справочное руководство / под ред. Д. В. Гельтмана. Кью: Королевский ботанический сад, 1995. 341 с.
15. Сауткин Ф. В. Использование программных средств анализа цифровых изображений для определения размерных характеристик биологических объектов. Минск: БГУ, 2013. 28 с.
16. PAST 4. Manual // Naturhistorisk museum. Universitetet i Oslo. URL: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (дата обращения: 21.02.2024).

### 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](http://www.sevin.ru/invasive/publications/panov_02.html) (accessed: 21.02.2024) (In Russian).
3. Semenchenko V. P., Buga S. V., Alekhovich A. V., Baryshnikova S. V., Boyko S. V., Borodin O. I., Buben'ko A. N., Burko L. D., Bykovskaya A. V., Bychkova E. I., Volosach M. V., Volchkevich I. G., Golovchenko L. A., Golunov I. A., Dishuk N. G., Drobenkov S. M., Zhorov D. G., Kozul'ko N. G., Konopatskaya M. V., Kruglova O. Yu., Kulak A. V., Lipinskaya T. P., Makarenko A. I., Petrov D. L., Prishchepchik O. V., Rizevskiy V. K., Roginskaya Yu. S., Roginskiy A. S., Rybkina T. N., Saluk S. V., Sautkin F. V., Semenyak A. A., Sinchuk N. V., Sinchuk O. V., Timofeeva V. A., Trepashko L. I., Chernik M. I., Yakovich M. M., Yanuta G. G. *Chernaya kniga invazivnykh vidov zhyvotnykh Belarusi* [Black Book of Invasive Animal Species of Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 2020. 163 p. (In Russian).

4. Roginsky A. S., Sinchuk O. V., Sautkin F. V., Buga S. V. Horse-chestnut leaf miner (*Cameraria ohridella* Deshka & Dimič, 1986) in Belarus: expansion completed. *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).

5. Šefrova H., Lastuvka Z. Dispersal of the horse-chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* in Europe: its course, ways and causes. *Entomol. Zeit. Stuttgart*, 2001, vol. 111, pp. 195–198.

6. Roginsky A., Anatsko Yu., Buga S. Estimated costs for replacing the common horse chestnut in the green areas of Minsk city with trees resistant to damage by invasive miner pests. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (270), pp. 76–86. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-10 (In Russian).

7. Roginsky F., Yakouchyk F., Buga S. Phenology of the horse-chestnut leaf-mining moth (*Cameraria ohridella* Deshka & Dimič, 1986) in the Narachansky region. *Zoologicheskiye chteniya – 2023: materialy VII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Zoological readings – 2023: materials of the International scientific and practical conference]. Grodno, 2023, pp. 249–250 (In Russian).

8. Yakouchyk F. V., 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. Ermolayev I. V., Rubleva E. A. History, rate and factors of invasion of the lime mining moth *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera, Gracillariidae) in Eurasia. *Rossiyskiy zhurnal biologicheskikh invaziy* [The Russian Journal of Biological Invasions], 2017, vol. 10, no. 1, pp. 2–19 (In Russian).

10. Kumata T. Taxonomic studies on the Lithocolletinae of Japan (Lepidoptera: Gracillariidae). Part I. *Insecta Matsumurana*, 1963, vol. 25, n. 2, pp. 53–90.

11. Alekhovich A. V., Buga S. V., Drobenkov S. M., Zhorov D. G., Makarenko A. I., Petrov D. L., Rizevskiy V. K., Roginskiy A. S., Rybkina T. N., Sautkin F. V., Semenchenko V. P., Sinchuk O. V., Yanuta G. G. *Chernaya kniga invazivnykh vidov zivotnykh Belarusi* [Black Book of Invasive Animal Species of Belarus]. Minsk: Belaruskaya navuka Publ., 2016. 105 p. (In Russian).

12. Sinchuk O. V. Assessment of damage to leaf blades of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill., 1768) by lime mining moth (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) in green areas of different regions of Belarus. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSU], 2016, vol. 11, no. 2, pp. 336–343 (In Russian).

13. Sinchuk O. V., Buga S. V. Analysis of damage to leaf blades of native and introduced species and forms of limes (*Tilia* L.) by larvae of the second generation of the lime mining moth (*Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963)) in conditions of Belarus. *Zashchita rasteniy* [Plant protection], 2016, vol. 40, pp. 269–277 (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. Sautkin F. V. *Ispol'zovaniye programmnykh sredstv analiza tsifrovyykh izobrazheniy dlya opredeleniya razmernykh kharakteristik biologicheskikh ob'ektov* [Use of digital image analysis software to determine the dimensional characteristics of biological objects]. Minsk, BGU, 2013. 28 p. (In Russian).

16. PAST 4. Manual. Naturhistorisk museum. Universitetet i Oslo. Available at: <https://www.nhm.uio.no/english/research/resources/past/downloads/past4manual.pdf> (accessed 21.02.2024).

#### Информация об авторах

**Яковчик Федор Геннадиевич** – аспирант кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: Yakovchi@bsu.by

**Рогинский Алексей Сергеевич** – кандидат биологических наук, доцент кафедры зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, Республика Беларусь). E-mail: roginiski@gmail.com

**Буга Сергей Владимирович** – доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой зоологии. Белорусский государственный университет (220030, г. Минск, пр-т Независимости, 4, 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: roginiski@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 15.03.2024

# ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО

## TOURISM AND FOREST HUNTING

---

УДК 581.9+379.85

**В. Л. Андреева<sup>1</sup>, А. В. Юрениа<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный педагогический университет имени Максима Танка

<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

### ОБЪЕКТЫ БОТАНИЧЕСКОГО ТУРИЗМА БЕЛАРУСИ

Экологический туризм представляет собой одну из разновидностей ботанического туризма, которая интенсивно развивается с конца прошлого века в связи с ростом городов, увеличением доли промышленного и городского ландшафта. Предоставление качественных туристических услуг предполагает выделение и планомерное изучение объектов ботанического туризма. Каждой территории свойственен свой определенный набор. Наиболее перспективным объектом показа являются локальные территории, на которых произрастают редкие и находящиеся под угрозой вымирания виды растений евразийского континента, некоторых стран Европы или Беларуси. Ареалы обитания данной категории растений можно определить по имеющейся информации в специализированных изданиях, например в Красной книге Республики Беларусь. Значительное количество ареалов редких растений сосредоточено в крупнейших охраняемых природных территориях – заповедниках и национальных парках, ботанических и ландшафтных заказниках. Авторы статьи на основании туристского потенциала территории выделили категории ботанических объектов: 1) редкие и находящиеся под угрозой вымирания виды растений евразийского континента, некоторых стран Европы или Беларуси; 2) уникальные растительные сообщества; 3) крупные популяции одного или нескольких видов растений, представляющих наибольшую ценность в общемировом или европейском масштабе; 4) природные и природно-культурные территории, сочетающие как уникальные фитоценозы с большим видовым разнообразием, в том числе с редкими видами (в крупнейших охраняемых природных территориях, старинных парках, ботанических садах и оранжереях); 5) лесополосы; 6) уникальные отдельные растительные экземпляры (деревья-долгожители и высоковозрастные насаждения). Авторы также привели примеры для каждой категории объектов ботанического туризма, рассмотрели компетенции.

**Ключевые слова:** потенциал туристский, туризм познавательный экологический, туризм ботанический, критерии выделения объектов ботанического туризма, география рекреационная.

**Для цитирования:** Андреева В. Л., Юрениа А. В. Объекты ботанического туризма Беларуси // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 122–131.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-15.

**V. L. Andreeva<sup>1</sup>, A. V. Yurenya<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank

<sup>2</sup>Belarusian State Technological University

### OBJECTS OF BOTANICAL TOURISM IN BELARUS

Ecotourism is one of the varieties of botanical tourism, which has been intensively developing since the end of the last century due to the growth of cities and an increase in the share of industrial and urban landscapes. Providing quality tourism services involves identifying and systematically studying botanical tourism objects. The most promising objects for display are local areas where rare and endangered plant species of the Eurasian continent, several countries of Europe or Belarus grow. The habitats of this category of plants can be determined from the available information in specialized publications, for example, in the Red Book of the Republic of Belarus. A significant number of habitats of rare plants are concentrated in the largest protected natural areas – nature reserves and national parks, botanical and landscape reserves.

Each territory has its own specific set. The authors of the article, based on the tourist potential of the territory, identified categories of botanical objects: 1) rare and endangered plant species of the Eurasian continent, several countries of Europe or Belarus; 2) unique plant communities; 3) large populations of one or more plant species of greatest value on a global or European scale; 4) natural and natural-cultural territories, combining both unique phytocenoses with great species diversity, including rare species (in the largest protected natural areas, ancient parks, botanical gardens and greenhouses); 5) forest belts; 6) unique individual plant specimens (long-lived trees and old plantings). The authors also gave examples for each category of botanical tourism objects and reviewed competencies.

**Keywords:** tourist potential, educational ecological tourism, botanical tourism, criteria for identifying botanical tourism objects, recreational geography.

**For citation:** Andreeva V. L., Yurenya A. V. Objects of botanical tourism in Belarus. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 122–131 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-15.

**Введение.** Экологический туризм начал формироваться как самостоятельное направление туризма в 80-х гг. прошлого века, а в 2005 г. после принятия Квебекской декларации по экотуризму и провозглашения Всемирной туристической организацией (UNWTO) концепции устойчивого развития туризма он стал активно развиваться.

Несмотря на значительную долю научных публикаций, понятие экологического туризма не обладает устоявшейся терминологией. Проведенный анализ дефиниций экотуризма показал, что в большинстве своем в них указываются объекты, где осуществляется услуга, например системы особо охраняемых природных территорий (ООПТ) и/или самобытных культурных ландшафтов; подчеркивается ответственность перед окружающей средой и необходимость ее сохранения; предполагается развитие экономики туристской территории и льготы для местных жителей [1, 2]; указывается эмоциональная составляющая [3], а также предполагается осуществление экологической образовательной деятельности и воспитательного процесса [3–5]. Большинство вышеуказанных авторов придерживаются понятия экотуризма как туристического путешествия с целью изучения потребителями туристской услуги объектов природно-культурного наследия и получения от этого эмоциональных впечатлений. Они несут ответственность перед окружающей средой, также развиваются в целях содействия сохранению биологического и ландшафтного разнообразия естественных экологических систем, устойчивого развития регионов и улучшения благосостояния местного населения. Данная формулировка еще раз подтверждает тот факт, что экологический туризм отличается полифункциональностью.

Экологический туризм в зависимости от географии, особенностей своего формирования и объектов изучения может иметь разные модели развития – американскую, европейскую, южноамериканскую, африканскую и азиатскую [6, 7]. Первая предполагает развитие экотуризма в границах естественных и слабоизмененных ООПТ,

вторая и третья – включает объекты культурного ландшафта, четвертая и пятая использует природные и культурные объекты. Эволюционное развитие этих моделей в зависимости от задач, объектов и предмета изучения определило дифференциацию экологического туризма на направления: рекреационный, познавательный, научный, реабилитационный, агротуризм, экстремальный, паломнический, этнический и исторический [6]. В свою очередь, экологический туризм в зависимости от рассматриваемого объекта изучения может дифференцироваться на ботанический, геологический, ландшафтный и другие разновидности.

Ботанический туризм предполагает знакомство с особенностями морфологии и физиологии, географией происхождения и экологическими условиями формирования и развития ареалов видов растений и их таксонов [4, 8].

Для динамического развития ботанического туризма на территории Республики Беларусь необходимо выделение туристских объектов на основе анализа туристского потенциала территории. Это могут быть как природные, так и антропогенные объекты, имеющие экологическое и культурно-эстетическое значение. Рассмотрим более подробно предлагаемые объекты для дальнейшего изучения.

**Основная часть.** В качестве природных объектов ботанического туризма предлагается использовать территории, выполняющие различные экологические функции, способствующие сохранению биоразнообразия и обладающие высокой природоохранной ценностью. Это могут быть как природные, так и сельскохозяйственные земли, включая ключевые биотопы, особо охраняемые природные территории (ООПТ) и защитные леса [9].

Часто это территории, отнесенные к числу ключевых ботанических территорий (КБТ), которые отличаются высоким уровнем видового и ландшафтного биоразнообразия, наличием редких видов, осуществлением инвентаризации и охраны. Такие критерии, как крупная популяция таксона, высокий уровень разнообразия флоры

соответствующей биогеографической зоны, уникальные местообитания или фитоценозы, включая ареалы растений, находящихся под угрозой, уязвимых, редких [10–12], свидетельствуют о возможности выделения КБТ.

Анализ литературы по ключевой теме показал, что к наиболее перспективным объектам показа относятся локальные территории, на которых произрастают редкие и находящиеся под угрозой вымирания виды растений евразийского континента, некоторых стран Европы или Беларуси [11, 13, 14]. Ареалы обитания данной категории растений можно определить по имеющейся информации в специализированных изданиях, например в Красной книге Республики Беларусь, в которую входит 303 вида дикорастущих растений, или в списках Международного Союза охраны природы (МСОП) [15]. Изучение объектов данной категории предполагает освоение морфологии, отдельных вопросов физиологии, экологии и географии распространения видов растений и их таксонов.

При подготовке ареала краснокнижного вида к показу необходимо изучить тип его пространственной структуры (например, иерархическая структура характерна для живучки пирамидальной, купальницы европейской; сетчатая – для арники горной, колокольчика широколистного; периферическая – для кадила сарматского, лапчатки белой [16]), провести детализацию экологических факторов и принять особые меры по защите местообитания от антропогенного воздействия. Показ объектов наивысшей национальной природоохранной значимости (CR или I категория) в естественном ареале произрастания возможен исключительно в научных целях. Следует учитывать тот факт, что некоторые виды данной группы имеют 1–2 ареала, а некоторые представители возможно утрачены (борец шерстистоусый, звездочка большая, цинклидиум дунайский, бодяк серый, ятрышник обожженный, кольник черный, жирянка обыкновенная, козелец голый, валериана двудомная, горошек гороховидный) [17]. При проведении экотуров в образовательных целях для учащихся, обучающихся в учреждениях общего среднего и дополнительного образования детей и молодежи, студентов непрофильных специальностей следует использовать материалы папки экскурсовода или воспользоваться информационными стендами, расположенными вдоль маршрута образовательно-экологических троп.

В приоритете отбора объектов ботанического туризма уникальные растительные сообщества. В эту категорию рекомендуется выделять до 10% от площади существующих типов местообитаний или 5 территорий, которые имеют наибольшее видовое разнообразие [18]. В нашей стране отмечено 33 типа местообитаний, охраняемых в

Европе [19]. По сведениям И. П. Вознячук, в Беларуси к основным местам произрастания редких видов относятся лесные экосистемы (в их границах зафиксированы 93 вида сосудистых растений, 17 – мхов, 22 – лишайников и 33 – грибов), луговые экосистемы – суходольные и низинные, в меньшей доле пойменные луга (болотно-луговые, прибрежно-болотно-луговые фитоценозы). Отдельную группу среди охраняемых мест обитаний занимают экотоны, относящиеся «к группе опушечной эколого-фитоценотической стратегии поведения». Эти ландшафты обладают высокой степенью биоразнообразия и толерантности, в них сосредоточены 1/3 всех видов растений, находящихся под особой охраной [20].

Наибольшей аутентичностью среди ландшафтов Беларуси обладают верховые болота со специфической растительностью и особым животным миром. На территории Беларуси статус Рамсарских водно-болотных угодий международного значения имеют 26 природных территорий общей площадью около 780 тыс. га или (3,7% территории страны).

Республиканский заказник «Ольманские болота» первый среди охраняемых территорий получил данный статус. Территория заказника расположена в границах Припятского Полесья на слабоволнистой равнине с крупнейшим в Европе комплексом открытых и лесных болот. Эти земли были описаны 2500 лет назад древнегреческим географом и историком Геродотом, поэтому на картах Средневековья именовались морем Геродота или Сарматским морем.

Современный болотный массив включает два крупных низинных болота, окруженных ландшафтами верховых болот в сочетании с эоловыми формами рельефа, выраженными дюнами. Такое разнообразие природных условий предопределило высокое биологическое разнообразие флоры и фауны. Здесь произрастает 669 видов сосудистых растений, из которых 17 видов находятся под охраной [21].

К наиболее перспективным для демонстрации объектам ботанического туризма относятся крупные популяции одного или нескольких видов растений, представляющих наибольшую ценность в общемировом или европейском масштабе (согласно Бернской конвенции, приложениям к Директиве ЕС по местообитаниям, красным книгам МСОП) [11].

В качестве примера приведем прибрежно-водное растение лобелию Дортмана из семейства колокольчиковых, представляющее собой позднеледниковый реликт, встречающийся локально за пределами юго-восточной границы своего ареала. На родине, в Западной Европе, растение известно как лобелия водная, поскольку в естественной среде обитания ее можно наблюдать в

границах водных объектов, например на озерах Свитязь (Гродненская область), Белое (Брестская область), Белое и Бредно (Россонский район).

Среди представителей растений Красной книги, значительную часть занимают орхидные – 24 вида, из которых к 1-й категории отнесены 6 видов. Например, ятрышник дремлик. Растение относится к реликтам ледникового периода и его популяции локализованы в краевых образованиях поозерского (валдайского) оледенения. В Белорусском Поозерье на площади около 400 км<sup>2</sup> известно более 50 популяций, причем наиболее известны из них имеют протяженность 2–3 км.

В качестве объектов ботанического туризма рекомендуется выделять как природные, так и природно-культурные территории, сочетающие уникальные фитоценозы с большим видовым разнообразием, в том числе с редкими видами [11, 14]. Основная цель показа данных объектов заключается в демонстрации разнообразия природных абиотических условий и соответствующего им растительного разнообразия на территории природного и природно-антропогенного ландшафта.

Значительное количество ареалов редких растений сосредоточено в крупнейших охраняемых природных территориях – заповедниках и национальных парках, ботанических и ландшафтных заказниках. Контрастность и пестрота природных условий Березинского биосферного заповедника, расположенного в центральной части Беларуси, обусловлена особенностями формирования территории. Современный рельеф и гидрографическая сеть сформировались в четвертичный период в результате деятельности ледников и их талых вод. В ее границах выделяют четыре типа рельефа – конечноморенный грядово-холмистый; плоский флювио- и лимноаллювиальный; аллювиальный (пойменный) и болотный. Почвообразующие породы представлены водно-ледниковыми песками и супесями, часто подстилаемыми мореной. Местами покровными породами являются древнеаллювиальные пески. Часто в качестве почвообразующей породы выступает торф низинного и верхового типа. На водных просторах одного только озера Домжерицкое этого заповедника находятся ареалы камнеломки болотной, осоки болотолубивой, альдрованды пузырчатой, внесенных в Красную книгу Беларуси и находящихся на грани исчезновения в Европе. В границах заповедника из занесенных в Красную книгу Республики Беларусь произрастает 88 видов растений: 12 видов мхов, 4 вида водорослей, 14 видов лишайников, 58 видов высших сосудистых растений, а также 7 видов грибов.

В настоящее время во всех крупных ООПТ созданы учебно-образовательные экологические тропы и проводятся тематические экскурсии.

Сотрудники Березинского биосферного заповедника разработали экстремальный тур «Люди на болоте» по Рожнянскому болоту, экотропу «По лесной заповедной тропе» и другие маршруты.

Интересным объектом для исследования являются старинные парки. Самобытность озеленения в сочетании с небогатой природной флорой, умеренно-континентальным климатом может быть выражена путем сочетания с местными особенностями архитектуры, орнаменталистики, использования некоторых материалов. В этой связи становится актуальным изучение особенностей и состояния старинных парков Беларуси как объектов туризма. Ботаническую значимость старинных усадеб приобретают отдельные виды растений, являющиеся маточниками и носителями генофонда ценных экзотов [22]. По мнению исследователей, на территории Беларуси сквозь войны и разрушения дошло около 1200 усадеб и парков, в настоящее время описано 588 парков и фрагментов [22, 23]. Количество изученных парков преобладает в Гродненской и Брестской областях, причем в статусе памятников природы охраняется больше в Минской и Брестской областях (76 из 110 охраняемых в Беларуси старинных парков) [24].

Одним из крупнейших старинных парков является дворцово-парковый ансамбль Румянцевых – Паскевичей в городе Гомеле. Его строительство шло по проекту польского архитектора А. Идзковского на протяжении 5 лет. Парк был открыт к 1850 г., в нем были учтены особенности природного ландшафта. В настоящее время территория этого ботанического памятника природы составляет около 18 га, на которых произрастает 84 вида древесных растений и около 80 видов кустарников. В составе насаждения много ценных редких древесных видов: шелковица, сосна черная, различные виды берез, кедр и тополь пирамидальный, лиственница европейская, дуб пирамидальный, пихта корейская, сосна веймутова, ясень плакучей формы, орех маньчжурский, бархат амурский, лиственница японская, лапина крылоплодная, гледичия трехколючковая. В парке созданы 2 розария, зеленый лабиринт из ели обыкновенной, заложен вересковый сад.

Основными функциями ботанических садов и оранжерей еще с древних времен были коллекционирование, систематика и изыскание новых видов растений. Первый лечебно-ботанический сад на территории нашей страны заложен профессором Ж. Э. Жилибером в 1775 г. в Гродно. Его коллекция насчитывала около 7000 экземпляров и была одной из крупнейших в Европе. Через 10 лет после его основания реформирование школьного обучения потребовало разбить лечебно-ботанический сад и парк в городе Щучине.

Центральный ботанический сад НАН Беларуси проводит исследования по сохранению видового и генетического разнообразия растений, осуществляет работу по интродукции и акклиматизации растений, выполняет фенологические, агрохимические и почвенные наблюдения. Культивирование редких и находящихся под угрозой исчезновения растений в ботанических садах способствует сохранению и созданию резервных фондов. Например, в коллекциях ботанического сада НАН Беларуси сохраняются 74 подвидовых представителя евразийской флоры [25]. Введение экспозиционных участков и создание тематических коллекций позволило научным сотрудникам начать проводить экскурсии по его территории, а внедрение современных цифровых технологий – популяризировать научную информацию и, как результат, – привлечь аудиторию для организации различных форм рекреационного и образовательного туризма [26].

Ботанический сад Белорусского государственного технологического университета, включенный в Региональный совет ботанических садов Беларуси, расположен в Дзержинском районе. Он создавался 70 лет назад начиная с уникального объекта – дендрария. В его разработке принимали участие профессорско-преподавательский состав, студенты. В нем собрана одна из крупнейших в республике коллекций древесной и кустарниковой растительности, имеющей свой ареал обитания в Европе, Азии и Америке. Под открытым небом собраны породы, способные произрастать в естественных условиях центральной части нашей страны [27, 28]. В настоящее время его территория занимает 14,8 га. Коллекция сада за первые 15 лет своего существования увеличилась почти в 5 раз. Была преобразована общая территория за счет включения отделения цветочно-декоративных растений. Это позволило организовать фенологические наблюдения за деревьями и кустарниками сада, производить обмен семенным материалом с организациями аналогичной направленности [27]. В начале 2000-х гг. была существенно преобразована партерная часть сада, имеющая декоративную направленность, созданы коллекции красивоцветущих кустарников, декоративных форм лиственных пород и многолетних цветочно-декоративных растений, заложена зона отдыха с малыми архитектурными формами.

В настоящее время в коллекции дендрария территориально распределены древесные и кустарниковые породы:

- сектор 1 носит название «Япония и Китай» и включает 76 видов растений флоры этих территорий, в том числе 71 вид голосеменных;
- сектор 2 – Дальний Восток, который включает 64 вида растений, в том числе 58 покрытосеменных;

- сектор 3 – Сибирь, включающий 40 видов растений, в том числе 34 покрытосеменных;
- сектор 4 – Средняя Азия, в который входит 26 видов растений, все покрытосеменные;
- сектор 5 – Крым и Кавказ, имеющий в коллекции 54 вида растений, в том числе 48 покрытосеменных;
- сектор 6 – Европа, включающий 164 вида растений, в том числе 150 покрытосеменных;
- сектор 7 – Северная Америка состоящий из 134 видов растений, в том числе 119 покрытосеменных.

Растительность дендрария включает хвойные: 8 видов лиственницы, 9 видов пихты, 9 видов ели, 16 видов сосны, тсуги, псевдотсуги, можжевельники, тисы и т. д. Лиственные представлены 3 видами ломоноса, 17 видами барбариса, 5 видами вяза, 2 видами шелковицы, 6 видами дуба с разными формами, 20 видами березы, 5 видами ольхи, 4 видами лещины, 6 видами ореха, 5 видами тополя, 6 видами ясени, 11 видами ив, 4 видами липы, а также магнолией, самшитом, гамелисом, актинидией, рододендромом и т. д. [28].

В партерной части собрано 25 видов и 102 декоративные формы хвойных растений, среди которых лиственница, тсуга, туя, кипарисовик, гинкго, сосна, ель и др. Декоративно-лиственные растения собраны в количестве 36 видов и 47 декоративных форм, среди которых шелковица, ракитник, кизильник, жимолость, карагана, граб, бук, вяз, барбарис, береза и т. п. Коллекция красивоцветущих древесных и цветочно-декоративных растений насчитывает около 500 видов и сортов [27].

Вариативность сети экологических маршрутов – это образовательные и общеознакомительные экологические тропы, например экологическая тропа «Сказка Негорельского леса». Познавательный маршрут был создан для расширения кругозора младших школьников и ознакомления их с разнообразной растительностью в экологической тематике. Для посетителей предусмотрено множество резных декоративных форм сказочных персонажей и сооружений, включающих хранителей ботанического сада, медвежий угол, пчелиный мегаполис со старинными бортиками, духов леса, цветочную феерию русалки с декоративным водоемом и его обитателями и другие занимательные пункты [29].

Старейшими ботаническими садами при учебных заведениях являются Витебский ботанический сад, образованный в 1919 г. при Витебском сельскохозяйственном техникуме, и созданный в 1848 г. при Горы-Горецком земельном институте ботанический сад в г. Горки Могилевской области. Основное назначение ботанических садов при вузах – это поддержка профессионального обучения факультетов естественно-научной направленности

(биологического, географического, почвенного, экологического), фундаментальной медицины и фармацевтического, лесохозяйственного, ландшафтного дизайна; проведение учебных и производственных практик; организация экскурсий учащимся одновременно с проведением профориентаций, обеспечением дополнительного экологического образования и воспитания [30].

Лесополосы могут стать также объектами ботанического туризма, при условии показа реконструкции уязвимых участков лесомелиоративного восстановления, осуществлявшегося в середине XX в. Примером может стать работа, направленная на реконструкцию искусственных лесопосадок Керченского полуострова за счет восстановления местных видов, использования лесопосадочного селекционного материала с улучшенными генетическими характеристиками, усиления устойчивости видов растений к болезням и вредителям, повышение степени толерантности к абиотическим условиям [31].

Уникальные отдельные растительные экземпляры (деревья-долгожители и высоковозрастные насаждения) являются объектами изучения при проведении ботанических туров или экскурсий. Основными проблемами в сохранении деревьев-долгожителей являются высокий уровень урбанизации, ухудшение качества естественной среды, естественные катастрофы (пожары, наводнения и т. п.), антропогенная деятельность человека, неадекватное управление ресурсами [32].

К категории уникальных относятся деревья-долгожители широколиственных и хвойных пород; «активные» интродуценты; деревья – хранители ценнейшей дендрохронологической информации, обеспечивающие сохранность генофонда биологического разнообразия страны, деревья, представляющие историческую, эстетическую (редкие формы ствола, кроны и окраска стволов, листьев и хвои), ботаническую или иную научную ценность; объекты, достигшие наивысших показателей своего развития; виды древесной флоры, включенные в Красную книгу.

В лесном фонде встречаются насаждения интродуцентов – лиственницы европейской, сосны

веймутовой, бука европейского, а также естественные ареалы пихты белой (I категория) и дуба скального (II категория национального природоохранного значения).

В Беларуси создана онлайн-платформа по географии великовозрастных деревьев (<http://www.livemonuments.by>). Доля насаждений со средним возрастом 100 лет и выше составляет более 13% лесопокрытой площади Беларуси, чуть более половины из них произрастают на юге страны. Долгожителями являются представители сосны обыкновенной (380 лет на верховом болоте, 300 лет на минеральных почвах) и дуба черешчатого (350 лет, Брестская область, Малоритский район) [33].

Одним из альтернативных направлений современного ботанического туризма является флоратуризм. Суть его в получении эстетического удовольствия от созерцания туристского продукта. Например для Беларуси, это сезон цветения полей рапса, яблони, льна. Критерием отбора объектов для развития флоратуризма является как выбор эстетических растительных сообществ, так и учет сезонной аттрактивности (эстетическая привлекательность) [34].

**Заключение.** На основании анализа туристского потенциала нами были выделены критерии отбора объектов ботанического туризма: 1) редкие и находящиеся под угрозой вымирания виды растений евразийского континента, некоторых стран Европы или Беларуси; 2) уникальные растительные сообщества; 3) крупные популяции одного или нескольких видов растений, представляющих наибольшую ценность в общемировом или европейском масштабе; 4) природные и природно-культурные территории, сочетающие уникальные фитоценозы с большим видовым разнообразием, в том числе с редкими видами (в крупнейших охраняемых природных территориях, старинных парках, ботанических садах и оранжереях); 5) лесополосы; 6) уникальные отдельные растительные экземпляры (деревья-долгожители и высоковозрастные насаждения). Для каждого критерия были определены характерные компетенции предоставления информации о ботаническом объекте.

### Список литературы

1. Богатырева Д. С. Экологический туризм: компаративный анализ определений // Известия Волгоградского государственного педагогического университета. 2015. № 9–10 (104). С. 78–83.
2. Fennell D. A. A content analysis of ecotourism definitions // Current Issues in Tourism. 2001. No. 4 (5). P. 403–421. DOI: 10.1080/13683500108667896.
3. Национальная стратегия развития туризма в Республике Беларусь до 2035 года: протокол заседания Межведомственного экспертно-координационного совета по туризму при Совете Министров Республики Беларусь, 7 окт. 2020 г., № 05/34 // URL: <https://www.belarustourism.by/news/НАЦИОНАЛЬНАЯ%20СТРАТЕГИЯ.pdf>. (дата обращения: 26.02.2024).
4. The current approaches in tourism / A. Ates [et al.]. Turkey: IKSAD international publishing house, 2020. 230 p.

5. Zhang W., Fukami S. Ecotourism and environmental education: Significance and status quo in Japan // *The Joint Journal of the National Universities in Kyushu. Education and Humanities*. 2023. Vol. 1, no. 1. P. 1–5.
6. Астанин Д. М. Эволюционное развитие моделей экологического туризма (на примере аспектов управления туристическими потоками) // *Центр инновационных технологий и социальной экспертизы*. 2021. № 4 (30). С. 65–76.
7. Шаройкина А. В., Решетникова А. Н. Опыт развития экологического туризма в странах Европейского союза // *Агротуризм в период современных вызовов: национальный опыт: материалы XIII Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 24 нояб. 2022 г. Минск, 2022. С. 138–144.*
8. Пономарева И. Ю., Комкова А. А. Предпосылки развития новых видов туризма в Тульской области (на примере ботанических туров) // *Российские регионы: взгляд в будущее*. 2019. Вып. 6, № 1. С. 24–34.
9. Слащев Д. Н., Гиляшова А. В. Территории высокой природоохранной ценности Березовского района Пермского края // *Географический вестник*. 2010. № 3. С. 60–66.
10. Артемов И. А. Ключевые ботанические территории в Республике Тыва // *Растительный мир Азиатской России*. 2012. № 1 (9). С. 60–71.
11. Масловский О. М. Туристический конструктор для новых маршрутов // *Наука и инновации*. 2013. Т. 7, № 125. С. 17–19.
12. Коротков О. И. Ключевые ботанические территории Волгоградской области как основной элемент региональной сети ООПТ // *Сохранение биологического разнообразия и заповедное дело в Крыму: материалы научно-практической конференции с международным участием, Ялта, 23–26 окт. 2018 г. Ялта, 2018. Вып. 9. С. 90–91.*
13. Spatio-Temporal Changes and Habitats of Rare and Endangered Species in Yunnan Province Based on MaxEnt Model / Y. Lian [et al.] // *Land*. 2024. No. 13 (2). P. 1–19. DOI: 10.3390/land13020240.
14. Important Plant Areas (IPA) Ein internationales Konzept zum Schutz der Wildpflanzen der Erde / V. C. Berg [et al.] // *Naturschutz und Landschaftsplanung*. 2008. Vol. 40 (4). P. 101–105.
15. Красная книга Республики Беларусь // *Растения Беларуси*. URL: [http://hbc.bas-net.by/plantae/rus/default.php?otdel=eNortjI0sFI69\\_XDg7f\\_n775\\_VTJGllwwW6wK-A,,&type=ras](http://hbc.bas-net.by/plantae/rus/default.php?otdel=eNortjI0sFI69_XDg7f_n775_VTJGllwwW6wK-A,,&type=ras) (дата обращения: 02.03.2024).
16. Пространственное распределение и структура региональных популяций редких и исчезающих видов растений Беларуси / О. М. Масловский [и др.] // *Ботаника (исследования)*. 2022. Вып. 51. С. 11–28.
17. Вознячук И. П., Грищенко Н. Д., Вознячук Н. Л. Практика сохранения редких и находящихся под угрозой уничтожения видов растений в условиях естественного произрастания (in situ) на территории Республики Беларусь // *Исследования живой природы Кыргызстана*. 2023. № 2. С. 201–206.
18. Андерсон Ш. Идентификация ключевых ботанических территорий: руководство по выбору КБТ в Европе и основы развития этих правил для других регионов мира. М.: Изд-во Представительства Всемирного союза охраны природы (IUCN) для России и стран СНГ, 2003. 39 с.
19. Ключевые ботанические территории Беларуси / О. М. Масловский [и др.] // М.; Минск: Бестуор, 2005. 80 с.
20. Вознячук И. П. Прогноз сохранения редких видов дикорастущих растений по результатам мониторинга состояния их популяций и эколого-фитоценотической приуроченности в границах белорусского ареала // *Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы VI Міжнар. навук. канф., Мінск – Ляскавічы, 9–13 кастр. 2023 г. Мінск, 2023. С. 267–269.*
21. Устин В. В. Особая роль Ольманских болот // *Родная прырода*. 2023. № 2. С. 2–5.
22. Старинные парки Белорусского Полесья как объекты туризма / И. М. Гаранович [и др.] // *Научные труды Чебоксарского филиала ГБС РАН*. 2019. Вып. 13. С. 11–17.
23. Федорук А. Т. Старинные усадьбы Берестейщины. Минск: БелЭн, 2006. 576 с.
24. Вознячук И. П., Нестюк А. М. Вопросы сохранения, ухода, содержания и восстановления садово-паркового наследия Беларуси // *Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы VI Міжнар. навук. канф. Мінск – Ляскавічы, 9–13 кастр. 2023 г. Мінск, 2023. С. 151–153.*
25. Редкие и исчезающие виды евразийской флоры в коллекциях центрального ботанического сада НАН Беларуси / Н. Л. Белоусова [и др.] // *Новости наук в АПК*. 2019. № 1 (12). С. 17–22.
26. Мальцева А. А., Дивакова М. Н. Научно-образовательная функция ботанических садов // *Новые идеи нового века: материалы междунар. науч. конф. ФАД ТОГУ. Ростов-на-Дону, 14–21 апр. 2020 г. Ростов н/Д, 2020: в 2 т. Т. 1. С. 278–281.*
27. Бурганская Т. М., Климчик Г. Я., Макознак Н. А. Ботанический сад // *Лесное и охотничье хозяйство*. 2018. № 2. С. 10–19.
28. Клімчык Г. Я., Гуняжанка І. У. Дэндрарый батанічнага саду БДТУ. Мінск: БДТУ, 1999. 67 с.
29. Ботанический сад НУОЛХ / Негорельский учебно-опытный лесхоз. URL: [https://ngrlleshov.belstu.by/?page\\_id=417](https://ngrlleshov.belstu.by/?page_id=417) (дата обращения: 26.02.2024).

30. Лаврова Т. В. Опыт Ботанического сада МГУ в поддержке эколого-ботанического образования в вузах // Жизнь Земли. 2019. Т. 41, № 4. С. 449–456.
31. Гамаюнов О. А. Концепция реставрации экосистем искусственных лесонасаждений Керченского полуострова // Вестник Керченского государственного морского технологического университета. 2023. № 4. С. 100–107.
32. Qi L., Zhang Y., Zhang X. Protecting Heritage Trees in Weifang City, Shandong Province, Northern China // Applied Science and Innovative Research. 2023. Vol. 7, no. 2. P. 1–17. DOI: 10.22158/asir.v7n2p1.
33. Редкие, уникальные деревья и насаждения Беларуси: результаты кампании по выявлению и критериям выделения / И. П. Вознячук [и др.] // Маніторынг і ацэнка стану расліннага свету: матэрыялы V Міжнар. навук. канф., Мінск – Белавежская пушча, 8–12 кастр. 2018 г. Мінск, 2018. С. 211–215.
34. Derya S. A method to determine the potential for flora tourism in mountainous regions: a case study of the Kaçkar Mountains National Park, Turkey // Eco. mont. 2019. Vol. 11, no. 2. P. 27–35. DOI: 10.1553/eco.mont-11-2s27.

### References

1. Bogatyreva D. S. Ekologicheskiy turizm: komparativnyy analiz opredeleniy. *Izvestiya Volgogradskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta* [News of the Volgograd State Pedagogical University], 2015, no. 9–10 (104), pp. 78–83 (In Russian).
2. Fennell D. A. A content analysis of ecotourism definitions. *Current Issues in Tourism*, 2001, no. 4 (5), pp. 403–421. DOI: 10.1080/13683500108667896.
3. National strategy for the development of tourism in the Republic of Belarus until 2035: minutes of the meeting of the Interdepartmental Expert Coordination Council for Tourism under the Council of Ministers of the Republic of Belarus, 7.10.2020, no. 05/34. Available at: <https://www.belarustourism.by/news/НАЦИОНАЛЬНАЯ%20СТРАТЕГИЯ.pdf> (accessed 26.02.2024) (In Russian).
4. Ates A., Akmese K. A., Buyuksalvarci A., Ates A., Kilinc C. C., Akmese H., Tuncez H. A., Turkeri I., Kuzu O. H., Erer B., Sahin M., Keles A., Sunar H., Keles H., Gazi Y., Coskuner M. The current approaches in tourism. Turkey, IKSAD international publishing house, 2020. 230 p.
5. Zhang W., Fukami S. Ecotourism and environmental education: Significance and status quo in Japan. *The Joint Journal of the National Universities in Kyushu. Education and Humanities*, 2023, vol. 1, no. 1, pp. 1–5.
6. Astanin D. M. Evolutionary development of models of ecological tourism (on the example of aspects of managing tourist flows). *Tsentr innovatsionnykh tekhnologiy i sotsial'noy ekspertizy* [Center for Innovative Technologies and Social Expertise], 2021, no. 4 (30), pp. 65–76 (In Russian).
7. Sharoykina A. V., Reshetnikova A. N. Experience in the development of ecological tourism in the countries of the European Union. *Agroekoturizm v period sovremennykh vyzovov: natsional'nyy opyt: materialy XIII Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Agroecotourism in the period of modern challenges: national experience: materials of the XIII International scientific-practical conference]. Minsk, 2022, pp. 138–144 (In Russian).
8. Ponomareva I. Yu., Komkova A. A. Prerequisites for the development of new types of tourism in the Tula region (using the example of botanical tours). *Rossiyskiye regiony: vzglyad v budushcheye* [Russian regions: a look into the future], 2019, vol. 6, no. 1, pp. 24–34 (In Russian).
9. Slashchev D. N., Gilyashova A. V. Territories of high environmental value in the Berezovsky district of the Perm Territory. *Geograficheskiy vestnik* [Geographical Bulletin], 2010, no. 3, pp. 60–66 (In Russian).
10. Artemov I. A. Key botanical territories in the Republic of Tyva. *Rastitel'nyy mir Aziatskoy Rossii* [Flora of Asian Russia], 2012, no. 1 (9), pp. 60–71 (In Russian).
11. Maslovskiy O. M. Tourist designer for new routes. *Nauka i innovatsii* [Science and Innovation], 2013, vol. 7, no. 125, pp. 17–19 (In Russian).
12. Korotkov O. I. Key botanical territories of the Volgograd region as the main element of the regional network of protected areas. *Sokhraneniye biologicheskogo raznoobraziya i zapovednoye delo v Krymu: materialy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Conservation of biological diversity and conservation in the Crimea: materials of the scientific-practical conference with international participation]. Yalta, 2018, issue. 9, pp. 90–91 (In Russian).
13. Lian Y., Bai Y., Huang Z., Ali M., Wang J., Chen H. Spatio-Temporal Changes and Habitats of Rare and Endangered Species in Yunnan Province Based on MaxEnt Model. *Land*, 2024, no. 13 (2), pp. 1–19. DOI: 10.3390/land13020240.
14. Berg V. C., Bilr M., Ristow M., Raab B. Important Plant Areas (IPA) Ein internationales Konzept zum Schutz der Wildpflanzen der Erde. *Naturschutz und Landschaftsplanung*, 2008, vol. 40 (4), pp. 101–105.
15. Red Data Book of the Republic of Belarus. Available at: [http://hbc.bas-net.by/plantae/rus/default.php?otdel=eNortjI0sFI69\\_XDg7f\\_n775\\_VTJGlwwW6wK-A,,&type=ras](http://hbc.bas-net.by/plantae/rus/default.php?otdel=eNortjI0sFI69_XDg7f_n775_VTJGlwwW6wK-A,,&type=ras) (accessed 02.03.2024).

16. Maslovskiy O. M., Levkovich A. V., Sysoy I. P., Chumakov L. S., Rybko N. G., Shimanovich R. V., Lazar' M. A., Khristyuk-Makarova Ya. A. Spatial distribution and structure of regional populations of rare and endangered plant species in Belarus. *Botanika (issledovaniya)* [Botany (research)], 2022, vol. 51, pp. 11–28 (In Russian).
17. Voznyachuk I. P., Grishchenkova N. D., Voznyachuk N. L. Practice of conservation of rare and endangered plant species in conditions of natural growth (in situ) on the territory of the Republic of Belarus. *Issledovaniya zhivoy prirody Kyrgyzstana* [Research of the living nature of Kyrgyzstan], 2023, no. 2, pp. 201–206 (In Russian).
18. Anderson S.H. *Identifikatsiya klyuchevykh botanicheskikh territoriy: Rukovodstvo po vyboru KBT v Yevrope i osnovy razvitiya etikh pravil dlya drugikh regionov mira* [Identification of key botanical areas: Guidelines for the selection of IPAs in Europe and the basis for the development of these rules for other regions of the world]. Moscow, Predstavitel'stva Vsemirnogo Soyuza Okhrany Prirody (IUCN) dlya Rossii i stran Sodruzhestvo nezavisimyykh gosudarstv Publ., 2003. 39 p.
19. Maslovskiy, O. M., Pron'kina G. A., Parfenov V. I., Pugachevskiy A. V., Tretyakov D. I., Stepanovich I. M., Gapienko O. S., Savchenko V. V., Sobolevskaya T. A., Hunger D. S., Yarosevich E. N., Rodionov P. A., Kolesnikova M. P. *Klyuchevyye botanicheskiye territorii Belarusi* [Key botanical territories of Belarus]. Moscow; Minsk, Bestior Publ., 2005. 80 p. (In Russian).
20. Voznyachuk I. P. Forecast of the conservation of rare species of wild plants based on the results of monitoring the state of their populations and ecological-phytocenotic location within the boundaries of the Belarusian range. *Manitoryng i atsenka stanu raslinnaga svetu: materyaly VI Mizhnarodnay navukovay kanferentsyi* [Monitoring and assessment of the world: materials of the VI international scientific conference]. Minsk, 2023, pp. 267–269 (In Russian).
21. Ustin V. V. The special role of the Olmansky swamps. *Rodnaya pryroda* [Native nature], 2023, no. 2, pp. 2–5 (In Russian).
22. Garanovich I. M., Rudevich M. N., Grinkevich V. G., Arkharov A. V., Blinkovskiy Ye. D. Ancient parks of Belarusian Polesie as objects of tourism. *Nauchnyye trudy Cheboksarskogo filiala glavnogo botanicheskogo sada rossiyskoy akademii nauk* [Scientific works of the Cheboksary branch of the Main Botanical Garden of the Russian Academy of Sciences], 2019, issue 13, pp. 11–17 (In Russian).
23. Fedoruk A. T. *Starinnyye usad'by Beresteyskhiny* [Ancient estates of Beresteyskhyna]. Minsk, BelEn Publ., 2006. 576 p. (In Russian).
24. Voznyachuk I. P., Nestyuk A. M. Issues of preservation, care, maintenance and restoration of the gardening and park heritage of Belarus. *Manitoryng i atsenka stanu raslinnaga svetu: materyaly VI Mizhnarodnay navukovay kanferentsyi* [Monitoring and assessment of the world: materials of the VI international scientific conference]. Minsk, 2023, pp. 301–304 (In Russian).
25. Belousova N. L., Borodich G. S., Gayshun V. V., Zavadskaya L. V., Lunina N. M., Svitkovskaya O. I. Rare and endangered species of Eurasian flora in the collections of the Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus. *Novosti nauk v agropromyshlennom komplekse* [News of sciences in the agro-industrial complex], 2019, no. 1 (12), pp. 17–22 (In Russian).
26. Mal'tseva A. A., Divakova M. N. Scientific and educational function of botanical gardens. *Novyye idei novogo veka: materialy mezhdunarodnoy nauchnoy konferentsii FAD TOGU* [New ideas of the new century: materials of the international scientific conference FAD TOGU]. Rostov-na-Donu, 2020, vol. 1, pp. 278–281 (In Russian).
27. Burganskaya T. M., Klimchik G. Ya., Makoznak N. A. Botanical Garden. *Lesnoye i okhotnich'ye khozyaystvo* [Forestry and hunting], 2018, no. 2, pp. 10–19 (In Russian).
28. Klimchik G. Ya., Gunyazhanka I. U. *Dendraryy batanichnaga sadu BDTU* [Arboretum of the Botanic Garden of BSTU]. Minsk, BSTU Publ., 1999. 67 p. (In Russian).
29. Botanical Garden NUOLH. Available at: [https://ngrlleshoz.belstu.by/?page\\_id=417](https://ngrlleshoz.belstu.by/?page_id=417) (accessed 02.03.2024) (In Russian).
30. Lavrova T. V. Experience of the Botanical Garden of Moscow State University in supporting environmental and botanical education in universities. *Zhizn' Zemli* [Life of the Earth], vol. 41, no. 4, pp. 449–456 (In Russian).
31. Gamayunov O. A. Concept of restoration of ecosystems of artificial forest plantations of the Kerch Peninsula. *Vestnik Kerchenskogo gosudarstvennogo morskogo tekhnologicheskogo universiteta* [Bulletin of the Kerch State Marine Technological University], 2023, no. 4, pp. 100–107 (In Russian).
32. Qi L., Zhang Y., Zhang X. Protecting Heritage Trees in Weifang City, Shandong Province, Northern China. *Applied Science and Innovative Research*, 2023, vol. 7, no. 2, pp. 1–17. DOI: 10.22158/asir.v7n2p1.
33. Voznyachuk I. P., Cudnik A. V., Yefimova O. Ye., Voznyachuk N. L., Golushko R. M. Rare, unique trees and plantings of Belarus: results of a campaign for identification and selection criteria. *Manitoryng i atsenka stanu raslinnaga svetu: materyaly V Mizhnarodnay navukovay kanferentsyi* [Monitoring and assessment

of the state of vegetation: materials of the V international scientific conference], Minsk, 2018, pp. 211–215 (In Russian).

34. Derya S. A method to determine the potential for flora tourism in mountainous regions: a case study of the Kackar Mountains National Park, Turkey. *Eco. mont*, 2019, vol. 11, no. 2, pp. 27–35. DOI: 10.1553/eco.mont-11-2s27.

### **Информация об авторах**

**Андреева Виктория Леонидовна** – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, доцент кафедры географии и методики преподавания географии. Белорусский государственный университет имени Максима Танка (220089, г. Минск, ул. Советская, 18, Республика Беларусь). E-mail: diversity75@mail.ru

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

### **Information about the authors**

**Andreeva Victoriya Leonidovna** – PhD (Agriculture), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Geography and Methods of Teaching Geography. Belarusian State Pedagogical University named after Maxim Tank (18, Sovetskaya str., 220089, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: diversity75@mail.ru

**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: urenya@belstu.by

*Поступила 15.03.2024*

УДК 338.482

**Д. А. Бессараб**

Белорусский государственный технологический университет

**ВОЗМОЖНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ НАЦИОНАЛЬНЫХ  
КУЛИНАРНЫХ ТРАДИЦИЙ КАК СУЩЕСТВЕННОГО УСЛОВИЯ  
ЭФФЕКТИВНОГО ПРОДВИЖЕНИЯ ТУРИСТИЧЕСКОЙ ДЕСТИНАЦИИ**

В статье приводятся взгляды автора на возможности использования в маркетинге туристического продукта аутентичного гастрономического бренда, являющегося одним из индикаторов туристической дестинации. В этой связи в качестве необходимого условия для устойчивого развития последнего может выступать экологическое и культурно-историческое наследие нашей страны. 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. Особо ценятся те из них, которые либо стихийно, либо целенаправленно сложились как кулинарные бренды. В данном случае они становятся проводником функции идентификации дестинации для потребителя, а именно доносят до него существенные отличия или уникальность данной структурной единицы туризма.

Констатируется, что экономическую систему следует рассматривать как совокупность механизмов и институтов для принятия и реализации решений, касающихся производства, распределения доходов и потребления в рамках определенной географической территории. В данном случае она является объектом управления, и ключевыми моментами этого процесса будет принятие решений по поводу того, что, сколько и как следует производить, кто должен получить эту продукцию и способна ли система адаптироваться к изменениям. Иными словами, необходимо произвести оценку ее потенциальной конкурентоспособности, а значит, представить маркетинговую стратегию, позволяющую прогнозировать ее будущее развитие.

Подчеркивается, что в основе маркетинга туристического продукта и создания аутентичного гастрономического бренда, являющегося одним из индикаторов дестинации, должен использоваться исторический элемент национальной литвинско-белорусской кухни, имидж которого включает узнаваемый ряд ретросоставляющих. Важную роль играет оценка привлекательности культуры страны и ее национального мифа в представлениях зарубежного путешественника, что потенциально ведет к увеличению экспорта туристических услуг. В то же время сочетание вышеназванных факторов потенциально активизирует возможности для развития и внутреннего туризма.

**Ключевые слова:** туризм, этнокультурный туризм, туристическая дестинация, туристический бренд, развитие туризма в Беларуси, национальная кухня, быт и ментальная организация населения.

**Для цитирования:** 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.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-16.

**D. A. Bessarab**

Belarusian State Technological University

**POSSIBILITY OF USING NATIONAL  
CULINARY TRADITIONS AS AN ESSENTIAL CONDITION EFFECTIVE  
PROMOTION OF A TOURIST DESTINATION**

The article presents the author's views on the possibilities of using an authentic gastronomic brand in the marketing of a tourist product, which is one of the indicators of a tourist destination. In this regard, the ecological and cultural-historical heritage of our country can act as a necessary condition for the sustainable development of the latter. In recent decades, there has been a pronounced increase in consumer interest in gastronomy, which is confirmed by the presence in the information space of a large number of materials presented on various media devoted to this topic. Those of them that either spontaneously or purposefully developed as culinary brands are especially appreciated. In this case, they often become the conductor of the function of identifying the destination for the consumer, namely, communicating to him the significant differences or uniqueness of this structural unit of tourism.

It is stated that the economic system should be considered as a set of mechanisms and institutions for making and implementing decisions related to production, income distribution and consumption within

a certain geographical area. In this case, it is an object of management, and the key points of this process will be making decisions about what, how much and how to produce, who should receive these products and whether the system is able to adapt to changes. That is, it is necessary to assess its potential competitiveness, which means to present a marketing strategy that allows you to predict its future development.

It is emphasized that the marketing of a tourist product and the creation of an authentic gastronomic brand, which is one of the indicators of the destination, should be based on the use of the historical element of the national Lithuanian-Belarusian cuisine, the image of which includes a recognizable number of retro components. An important role is played by assessing the attractiveness of the country's culture and its national myth in the views of a foreign traveler, which potentially leads to an increase in the export of tourist services. At the same time, the combination of the above-mentioned factors potentially activates opportunities for the development of domestic tourism.

**Keywords:** tourism, ethnocultural tourism, tourist destination, tourism brand, tourism development in Belarus, national cuisine, life and mental organization of the population.

**For citation:** Bessarab D. A. Possibility of using national culinary traditions as an essential condition effective promotion of a tourist destination. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 132–140 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-16.

**Введение.** В Государственной программе «Беларусь гостеприимная» на 2021–2025 гг. [1] особо отмечено, что в качестве приоритетов в сфере туризма определены развитие въездного и внутреннего туризма, повышение конкурентоспособности туристических услуг и продвижение национальных туристических брендов на мировом рынке. В этой связи в качестве необходимого условия для устойчивого развития туристических дестинаций может выступать экологическое и культурно-историческое наследие нашей страны.

Историческая память (кулинарная является важной составной ее частью) является весьма и весьма устойчивым элементом национального самосознания. Первичный консерватизм кухни прежде всего обусловлен повторением от поколения к поколению процесса приготовления и потребления пищи и от набора тех исходных продуктов, которые определяются местоположением территории. Следует отметить, что исторически кухня развивалась под воздействием в первую очередь двух основополагающих факторов, являющих основу ментального опыта: характерные черты базового сельскохозяйственного цикла и система ограничений, связанных с традиционно-религиозным пониманием окружающей действительности. Значит традиционно-исторические особенности термической обработки исходных продуктов создали акцентированно-национальное восприятие кулинарных традиций нашего народа. Видится целесообразным сосредоточить усилия на привлечении внимания к своей исторической индивидуальности, которая позволяет выделить аутентичность страны и нации. В данном случае это сложно осуществить без оценки потенциала экологического и культурно-исторического наследия как необходимого условия для устойчивого развития туристических дестинаций в отдельных регионах Беларуси.

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, т. е. доносят до него существенные отличия или уникальность данной структурной единицы туризма [2].

**Основная часть.** Известно [3], что в настоящее время существуют два основных подхода к определению сути понятия «дестинация». Один, географический, базируется на представлениях о том, что данная территория обладает туристско-рекреационными ресурсами. Второй, клиентоориентированный, постулирует о том, что искомая территория является целью путешествия. Тогда можно прийти к выводу, что понятие «дестинация» следует рассматривать преимущественно как географический объект, что получило достаточно широкое распространение в научной литературе. В этом случае пространство, относимое к дестинации, должно иметь четкие границы, определенные географическим положением объекта.

Таким образом, если понятие туристическая дестинация рассматривать в таком аспекте, то оно практически соответствует понятию «туристическая зона», принятому в нашей стране. Закон «О туризме» в редакции от 11.11.2021 № 129-З [4]

определяет его как часть территории Республики Беларусь с точно определенными границами, на которой расположены один или несколько туристических ресурсов и которая создана в целях поддержки туристической индустрии, развития внутреннего туризма и международного въездного туризма, одного или нескольких видов туризма, охраны и рационального использования туристических ресурсов. В данном случае важной составляющей являются именно границы территории, что еще раз подчеркивает преобладание географического подхода к формированию названной территории.

Однако существует и иная точка зрения [5]. Согласно ей дестинацию следует рассматривать как географическое пространство, составляющее цель путешествия, обладающее необходимой инфраструктурой для размещения, питания, развлечений, познавательной и оздоровительной деятельности и представляющее собой субъект конкуренции на рынке въездного туризма и стратегический объект предпринимательства. А это определяет дестинацию прежде всего как экономическую систему, потому что географическим в ней является только пространство, остальные четыре элемента имеют четко выраженный экономический генезис. Так, цель вполне можно определять как тот вид путешествия (т. е. вид туризма), на которое физическое лицо готово тратить деньги. Они представляют собой экономическую категорию, универсальный эквивалент обмена. Инфраструктура, конкуренция и предпринимательство – важные элементы, относящиеся к той же сфере.

Если экономическую систему рассматривать как совокупность механизмов и институтов для принятия и реализации решений, касающихся производства, распределения доходов и потребления в рамках определенной географической территории, то согласно [6] она является объектом управления, и ключевыми моментами этого процесса будет принятие решений по поводу того, что, сколько и как следует производить, кто должен получить эту продукцию и способна ли система адаптироваться к изменениям. Иначе говоря, необходимо произвести оценку ее потенциальной конкурентоспособности, а значит, представить маркетинговую стратегию, позволяющую прогнозировать ее будущее развитие.

Если дестинацию представлять в виде экономической системы, то можно прийти к выводу, что границы данной территориальной единицы определяются не столько географическим положением, сколько целью путешествия. Так, например, ярко выраженной и одной из самых известных дестинаций мира является Лазурный берег. Если целью путешествия является пляжно-купальный отдых, то это вся полоса побережья Лигурийского моря от Тулона до Ментоны – около

300 км. Если кинофестиваль – то границы данной дестинации сужаются до окрестностей Канн и т. д. Такой подход позволяет согласиться с существующим мнением [6], что каждому из таких уровней таксации будет соответствовать разномасштабный тип экономической системы, что является определяющим при стратегическом планировании технологии продвижения туристического продукта или комплекса туристических услуг.

В этой связи одним из эффективных методов продвижения дестинации является формирование туристического бренда, локализованного в ее пределах, что в первую очередь является определяющим фактором в обеспечении устойчивого туристического потока, так как бренд реализует функции идентификации (выделение дестинации для потребителя среди аналогичных туристических территорий) и дифференциации (донесение до посетителя существенных отличий или уникальности конкретной дестинации) [7].

Следует отметить, что важной составной частью практически любого знаменитого туристического бренда является национальная кухня. Например, если вернуться к Лазурному берегу как туристической дестинации, то одним из самых узнаваемых и востребованных ее брендов является кухня Прованса, известная практически по всему миру: салат нисуаз, рататуй, соусы айоли и писту и пр. И самый известный из кулинарных брендов Прованса – буйабес, впервые созданный как дешевый суп марсельских рыбаков, приготовленный из рыбы, не проданной к вечеру. Но сейчас он очень популярен, в том числе и благодаря многочисленным туристам, приезжающим в Средиземноморье. В его современную рецептуру включают и дорогие виды рыб, вводят омаров и пр. Существует легенда о том, что Афродита ежедневно кормила буйабесом своего мужа Гефеста, так как море было ей родным. Превращению прованской кухни в полноценный бренд способствовали и внешние обстоятельства. Например, не последнюю роль в этом сыграли произведения П. Мейла [8, 9] – английского писателя, известного своей серией книг о жизни в Провансе.

Следует констатировать, что национальная кухня является одной из наиболее привлекательных черт дестинации. Это дает возможность использовать ее (кухню) в качестве одного из брендов, делающих дестинацию узнаваемой и востребованной. В Национальной стратегии развития туризма в Республике Беларусь до 2035 г. [10] продвижение гастрономического туризма рассматривается в качестве эффективной инновационной технологии, в том числе формирующей уникальную идентичность дестинации, так как кухня является одной из важнейших составляющих

национального культурного опыта, пожалуй, наиболее консервативной и наименее подверженной резким изменениям привычной вкусовой гаммы. Клод Гельвеций (1715–1771) – французский литератор и философ утилитарно-материалистического толка заметил, что хорошая пища представляет собой в первую очередь привычную пищу. А привычки народа формируются в том числе и ментальным опытом.

Другое дело, что тот канон, который считается белорусским и к которому все привыкли, имеет весьма сомнительный потенциал для того, чтобы стать брендом в классическом его понимании с развитым внешним атрибутивом, ассоциативным рядом, эмоциональной насыщенностью, парадигмой ценностных характеристик и пр. Известно, что он появился в 1955 г. по инициативе Совета Министров СССР в виде обязательного к исполнению всеми учреждениями общественного питания «Сборника рецептов белорусских национальных блюд». В 1978 г. на основе этого сборника, а также трудов Н. Я. Никифоровского [11] и П. В. Шейна [12] по Восточной Беларуси, В. В. Похлебкин [13] развил этот канон в своей книге «Национальные кухни наших народов». В результате автор, например, утверждает, что «...грибы только отваривают и тушат, а блюдо из жареных грибов белорусская кухня не знает (так же, как не знала она маринования и засола грибов до начала XX в.)». Далее автор замечает, что чисто овощные блюда слабо разработаны в белорусской кухне, хотя и признает присутствие различных не смешанных предварительно овощей в сыром и отваренном виде в качестве добавок к мясным блюдам, а иногда и употребляемым самостоятельно. И далее перечисляет изблюбленные овощи белорусов: «капуста, морковь, горох, брюква и редька и, конечно, картофель – последнему принадлежит особое место». И это не единичные необоснованные утверждения, но они повсеместно тиражируются в различных изданиях, как электронных, так и на бумажных носителях.

Если же обратиться к достоверным, но малоизвестным для большинства источников [14, 15], то появляется совершенно иная «база», которая вполне пригодна для формирования действительно привлекательного, узнаваемого и продаваемого бренда.

Известно, что белорусов в обиходе часто зовут бульбашами. Но до того как стать «бульбашами», по мнению жителей «коронных» земель Речи Посполитой, «кресовому» населению вполне подходило прозвище «boświniarze» или «ботвиняжи», «ботвинники». Так пренебрежительно-покровительственно нас называли на протяжении чуть ли не двухсот лет (XVII–XVIII вв.) поляки потому, что литвины употребляли в пищу свекольную ботву, которую наши западные соседи

использовали только на корм для свиней. Это прозвище как раз походило на устойчивый бренд со всеми присущими атрибутами, богатым смысловым фольклорным обрамлением и пр. Однако широко употребляли в пищу и широко культивировали не ботву свеклы обыкновенной (*Beta vulgaris*), а ее близкую родственницу – листовую свеклу (*Beta vulgaris subsp.*), или мангольд. Несомненно, и обыкновенную свеклу высаживали, без нее борщ или холодник не сварить, но на ботву выращивали мангольд. Он родом из Средиземноморья и является одним из самых древних культурных растений, которое культивировали и употребляли в пищу еще вавилоняне, древние греки, римляне, и знали его как римский салат. У мангольда съедобен не сам корнеплод, а листья и стебли. Он довольно неприхотлив к условиям, хорошо переносит низкие температуры, дает обильные урожаи и отличается ценным сочетанием сладковатого вкуса, присущего стеблям, оттененного кислоткой листьев. Настоящий сарматский вкус. Со временем ботвой, «націнай» по-беларуски [16], стали называть не только сам мангольд, но и всю огородную зелень, что употребляется в пищу. Зелень выращивали и собирали в большом количестве и разнообразии. Молодая крапива, лебеда, шпинат, укроп, зеленый лук на перо, щавель, петрушка, эстрагон, или тархун, лук-порей, салат-латук и пр. Но кроме того, буймину, или сердечник, широко употреблявшийся для салатов и в качестве приправы, эндивий, или цикорий салатный, морковник, который добавляли в овощные салаты, овощные и мясные супы, бедронец, кервель (купырь) и пр. Специально летом у недоразвитых вилок белокачанной капусты удаляли середину, чтобы вместо кочанов вырос пучок белых мелких листьев повышенной нежности. «Націну» заготавливали для длительного потребления, последовательно складывая в стеклянную банку или обливной горшок слоями, пересыпая солью. После того как первая порция осядет и уплотнится, добавляли новую, пока весь горшок не заполнится. А стебли мангольда связывали пучками и помещали в какую-нибудь емкость. Отдельно кипятили сильносоленую воду с добавлением селитры, которую наши предки широко использовали в качестве консерванта (пищевая добавка Е 250), затем полученный раствор остужали и заливали стебли мангольда, предназначенные для консервирования. Из листьев мангольда делалось очень популярное жидкое блюдо – ботвинья. Теперь она включена в канон старопольской кухни [17], в Беларуси ее практически забыли. А поляки забыли прозвище, которое пренебрежительно когда-то дали нам.

На самом деле исторической национальной литвинско-белорусской кухне было присуще широкое использование и в больших количествах

овощных культур и самой разнообразной зелени. Нередко одно и то же растение использовалось в качестве основы отдельного блюда, а в ином выступало в качестве приправы, что составляло отличительную черту кулинарной традиции. Потребление большого количества зелени сопровождается еще и тем, что в данной кухне широко представлены салаты, в которых овощи потребляются в смеси между собой и иными ингредиентами с применением разнообразных приправ и заправок. Салат считается одним из самых старых способов сочетания ингредиентов и приготовления из них законченных, цельных и самодостаточных яств. Историки кухни находят салаты практически у всех народов. Например, древние римляне смешивали зелень (петрушку, латук, лук), добавляли зерновую субстанцию (рис или иные культуры), сдабривали солью с перцем и заправляли чаще всего уксусом. Но можно предположить, что использовался и гарум, так как его вводили практически во все блюда.

Салаты были широко представлены в литвинско-белорусской национальной кухне. Так, в издании [14] отмечается, что грузди (белые) и рыжики солятся, в том числе для употребления их в салатах. Свежий барбарис или варенье из него, наряду с другими ягодами, используется для приготовления десертных салатов, а в соленом виде – в качестве основы соуса к мясу или же одного из салатных компонентов.

Как салатную основу широко использовали пикули, которые либо входили в состав различных блюд или гарниров к ним, либо использовались в качестве холодной закуски или салатной основы. Пикули, представляющие собой смесь различных маринованных вместе овощей, впервые придумали британцы. Изобретение оказалось удачным, быстро разошлось по миру, но в каждой кухне, как правило, существует свой канон сочетаемых овощей. Так, в Великобритании в качестве основных компонентов используют мелкие целые головки лука в сочетании с корншоном и цветной капустой. В Америке – огурцы, цветную капусту, резанный репчатый лук, болгарский перец, чеснок, укроп, душистый перец и перец чили заправляют горчицей с сахаром. В Индии и Китае часто сочетают овощи с фруктами.

Но похоже, что у нас было предложено самое сложное сочетание компонентов для пикулей: молодые морковь, корншоны, латук, цветная капуста, кукуруза, завязи дыни и тыквы, спаржа, маленькие головки лука, стручки гороха и фасоли. Кроме того, добавляются стручки плодов редьки, зеленые сливы и рыжики. Трудно представить, что такая сложная комбинация возникла случайно. В этом соединении свежий, но относи-

тельно нейтральный вкус ингредиентов первой группы осложняется пикантностью, дополненной легкой остротой стручков редьки и кислинкой зеленых слив. А уже это базовое сочетание подчеркивается чувственной прохладой эталонного грибного вкуса рыжиков. Добавляются семена настурции (из-за формы ее цветков, напоминающей монашеский капюшон, это растение еще называют капуцином) и очищенные стебли портулака. Настурция ценится за пряный вкус семян, придающий блюдам пикантность, дополнительную остроту, но более тонкой, чем у черного перца. Зелень портулака является важным салатным ингредиентом, а также его солят и маринуют как заменитель каперсов. И это все делается для достижения оригинального и сложного кисло-соленого вкуса со сладковатым оттенком, что является отличительной вкусовой гаммой, присущей исторической литвинско-белорусской кухне.

Далее подготовленная овощная смесь бланшируется. В кулинарии под этим понимают процесс кратковременной обработки продукта кипятком или паром, с последующим мгновенным охлаждением в ледяной воде. В результате отбланшированные овощи сохраняют свои естественные цвета, а кроме того, этот процесс замедляет работу ферментов, разрушающих структуру, цвет и аромат продукта, и предотвращает потерю питательных веществ и витаминов в процессе дальнейшего приготовления. После полного высушивания овощи заливаются разведенным холодным уксусом, предварительно прокипяченным. Через две недели отработанный уксус сливается, а будущие пикули заливаются свежим, более насыщенным, остуженным, но предварительно кипевшим с острыми приправами (эстрагон, перец-горошек, английский и турецкий перцы).

В этой связи можно с большой долей уверенности заявить, что это оригинальное блюдо имеет аутентичные, собственно литвинско-белорусские черты, а сам процесс его приготовления имеет высокую степень аттракции, пригодную для формирования кулинарного бренда.

Кроме того, семена капуста хорошо подходят для приготовления каперсов. Под ними принято понимать маринованные (могут быть солеными) нераспустившиеся цветочные бутоны, а также созревшие плоды растения каперсника колючего, которые в Средиземноморье употребляли в пищу еще с античных времен. Литвины, ошибочно считавшие себя наследниками римлян [18], старались уподобляться им во всем, в том числе и во вкусовой гамме, солили либо мариновали семена настурции, и называли их «хатнія каперсы». Ели в соленом виде – семена капуста моются, сушатся, помещаются в стеклянную банку либо обливной горшок с достаточно широким горлышком, заливаются остывшей сильносоленой

прокипяченной водой. Или в маринованном – семена кипятят в соленой воде, которую затем сливают, дают им время обсохнуть. Перекладывают в посуду, заливают разведенным остывшим уксусом. Недели через две настой сливают, вместо него заливают крепкий, кипяченый с острыми приправами, новый уксус. Дают постоять какое-то время.

Стоит отметить и еще одну важную особенность, которая вполне могла внести путаницу в вопрос о присутствии или отсутствии салатов в литвинско-белорусской кухне. По существующей традиции, многие блюда назывались по главному ингредиенту, который составляет его суть. Так, например, до сих пор считается, что среди первых блюд, т. е. супов, в национальной кухне отсутствуют щи. Все верно, суп из капусты у нас обычно называли «капуста», встречается, как вариант, «капустник», причем различали просто капусту, которая готовилась из свежей, и так называемую «кислую капусту», – из квашеной. В бигосе же соединяли, предварительно тушеную свежую капусту с кислой, которые, обретая свои собственные вкусовые оттенки, впоследствии составляли целостный букет основного блюда, затем часами томившегося до полной готовности.

Так и салаты практически всегда называли по основному ингредиенту и относили к овощным блюдам. Салатно-закусочный стол в литвинско-белорусской кухне несомненно присутствовал, имел широкий ассортимент и свои уникальные вкусовые особенности. И отрицать этот факт либо пренебрегать им никак не возможно.

Как известно, большинство салатов подается холодными и как отдельное самостоятельное блюдо, не требующее гарнира. Однако наряду с холодными, достаточно широкое распространение во многих кухнях мира получили и так называемые теплые салаты. Их главным отличительным признаком является то, что в качестве первичных исходных компонентов, как правило, выступают высококалорийные продукты, которые предварительно проходят термическую обработку и в состав салата вводятся в горячем виде. В этом случае в качестве заправки используется растительное масло с добавлением, например, лимонного сока, уксуса, соевого соуса, перца, чеснока и пр., но ни в коем случае не майонез, сметана или йогурт. Гарнир также полностью исключается.

Среди наиболее известных теплых салатов можно назвать, например, испанский пататас бравас. В его составе обжаренный кубиками в масле картофель, политый острым соусом. Но популярность блюда столь высока, что его часто включают в тапас, т. е. обязательную закуску, подаваемую к вину или пиву и чаще всего входящую в стоимость напитка.

Или же бельгийский льежский салат, в состав которого входят всего три компонента: обжаренные в масле картофель, зеленая стручковая фасоль и бекон, заправленные уксусом с луком, солью и черным перцем. Этот салат является визитной карточкой всего главного оружейного района Бельгии – региона Льеж.

Сложно сказать, можно ли вот так просто, назвать какой-либо теплый салат, входящий в общеполорусский канон кухонного компонента. Но салаты в теплом исполнении имеют достаточно четкую региональную привязку, широко распространены и представляют собой самостоятельные блюда, которые, быть может, и не дотягивают до признания в качестве общенационального канона, но, безусловно, заслуживают внимания в качестве, например, регионального или местного бренда ввиду своей оригинальности и подчеркнуто-целостного соответствия основной вкусовой гамме литвинов-белорусов.

Не так давно в окрестных местах, близ современных деревень Котяги и Чуриловичи Михоновского сельсовета, что находятся несколько южнее Минска, был популярен салат, который не имел собственного наименования, а назывался по-разному: просто «салат», «салат из салата» или «зашкваренный салат». Его ели исключительно свежеприготовленным и только в горячем виде. Самой любопытной и необычной чертой этой салатной смеси является ее нагрев, который достигается не за счет термической обработки основных компонентов, они-то как раз вводятся в сыром виде, а за счет финального сдобривания их кипящей заливкой, которая, взаимодействуя с холодными соками основных ингредиентов, образует оригинальный соус, придающий непередаваемый вкус всему блюду.

Когда-то «зашкваренный салат» готовила Надежда Федоровна Клишевич, уроженка этих мест. И даже после переезда в Минск она часто подавала его в качестве своего необычного эксклюзива. Рецепт достался ей от бабушки. А учитывая, что сама Надежда Федоровна родилась в 1912 г., то такой салат здесь готовили еще более ста лет назад.

Он достаточно прост по составу: количество ингредиентов не превышает их количество в ставшем культовым картофельном. Его основой является листовая салат-латук, содержащий щавелевую кислоту, которая придает чуть заметную кислинку зеленой массе, добавляются нашинкованные перья зеленого лука. Заливка делается из соленого сала или грудинки путем вытапливания жира. Получаются шкварки, которые плавают в раскаленном жиру. Им заливаются предварительно посоленные и слегка помятые ложкой листья латука и перья лука. Должно сильно зашипеть («заскварца»). Салат сразу начнет оседать, и

листья станут очень нежными. Быстро перемешивают и подают сразу: он быстро остывает, и становится уже совсем не тем.

В итоге можно констатировать, что при должном внимании к исторической национальной кулинарной традиции имеется репрезентативный первичный фактический материал. Он может лечь в основу формирования туристического бренда, локализованного в пределах дестинации, что в первую очередь является определяющим фактором в обеспечении устойчивого туристического потока, так как бренд реализует функции идентификации (выделение дестинации для потребителя среди аналогичных туристических территорий) и дифференциации (донесение до посетителя существенных отличий или уникальности конкретной дестинации). Искусственно же созданные и оторванные от исторических корней «новообразование» никак не подходит на роль фундамента для будущего бренда.

**Заключение.** Таким образом, можно констатировать, что в данном случае в основе маркетинга туристического продукта и создания аутентичного гастрономического бренда, являющегося одним из индикаторов дестинации, лежит использование исторического элемента национальной литвинско-белорусской кухни, имидж которого включает узнаваемый ряд ретро-составляющих. Более того, мы имеем здесь дело с оценкой привлекательности своей культуры и своего национального мифа в представлениях зарубежного

путешественника, что потенциально ведет к увеличению экспорта туристических услуг. В то же время, сочетание вышеназванных факторов потенциально активизирует возможности для развития внутреннего туризма. Следует отметить существующую закономерность. Как правило, страны с хорошо развитым внутренним туризмом становятся востребованными в этом отношении и на международном рынке. Обратная же тенденция не типична для последнего. Отсутствие интереса внутреннего потребителя к местному туристическому рынку, как правило, негативно сказывается на динамике международных прибытий.

Ранее отмечалось [19], что наличие национального мифа, основанного на внятно очерченной исторической и аутентичной составляющей со всем его атрибутивом, является решающим условием устойчивого развития как внутреннего, так и международного туризма. Как, впрочем, не только их одних. Но любое, как нечто искусственно созданное, как некий суррогат, оно не вызывает ни положительных, ни отрицательных эмоций и непригодно для мифологизации, что и отражается в отсутствии интереса к нему как у внутреннего, так и внешнего потребителя. Традиции питания белорусов как наследников литвинов имеют гораздо большую историю, нежели представляется в настоящее время, и, кроме того, располагают многочисленными многовековыми сведениями, позволяющими формировать национальный миф.

### Список литературы

1. Об утверждении государственной программы «Беларусь гостеприимная» на 2021–2025 годы: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 29 янв. 2021 г., № 58 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. URL: <http://www.pravo.by/document> (дата обращения: 11.03.2024).
2. Кузьмина К. А., Матецкая М. В. Бренддинг территорий и бренддинг дестинаций: общее и особенное // Гастрономические бренды дестинаций: подходы и применение. СПб.: Левша, 2014. С. 6–23.
3. Тарасёнок А. И. Геоэкономика туризма. М.: ИНФРА-М; Минск: Новое знание, 2011. 272 с.
4. О туризме: Закон Респ. Беларусь, 25 нояб. 1999 г., № 326-3 // Нац. центр правовой информ. Респ. Беларусь. URL: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=N12100129&p1=1&p5=0> (дата обращения: 01.12.2023).
5. Bieger T. Management von Destinationen. München; Wien: Oldenbourg, 2002. 386 s.
6. Макконнелл К. Р., Брю С., Флинн Ш. М. Экономикс: принципы, проблемы и политика / пер. с англ. М.: ИНФРА-М, 2011. 1010 с.
7. Тарасёнок А. И. Оценка конкурентоспособности национальной туристической дестинации Республики Беларусь // Белорусский экономический журнал. 2018. № 2. С. 139–151.
8. Мейл Питер. Год в Провансе. М.: Азбука, 2023. 288 с.
9. Мейл Питер. Еще один год в Провансе. М.: Азбука, 2015. 320 с.
10. Национальная стратегии развития туризма в Республике Беларусь до 2035 г. // Официал. портал Нац. агентства по туризму. URL: <http://www.belarustourism.by/newsНАЦИОНАЛЬНАЯ%20СТРАТЕГИЯ.pdf> (дата обращения: 01.12.2023).
11. Никифоровский Н. Я. Очерки простонародного життя-быття в Витебской Белоруссии и описание предметов обиходности // Этнографические данные. URL: [http://by.ethnology.ru/by\\_lib/nkfrvsk\\_01/graf/nkfrvsk\\_01\\_cont.html](http://by.ethnology.ru/by_lib/nkfrvsk_01/graf/nkfrvsk_01_cont.html) (дата обращения: 01.12.2023).
12. Шейн П. В. Материалы для изучения быта и языка русского населения Северо-Западного края, собранных и приведенные в порядок П. В. Шейном // Сборник Отделения русского языка и словесности императорской Академии наук: в 3 т. СПб.: Тип. Императ. Акад. наук, 1887–1902. Т. 3: Описание

жилища, одежды, пищи, занятий; препровождение времени, игры, верования, обычное право; чародейство, колдовство, знахарство, лечение болезней, средства от напастей, поверья, суеверия, приметы и т. д. 1902. Ч. 4. 535 с.

13. Похлебкин В. В. Национальные кухни наших народов. М.: Центрполиграф, 2004. 329 с.

14. Літоўская гаспадыня, ці Навука аб ўтрыманні ў добрым стане хаты... / пер. з пол. мовы П. Р. Казлоўскага, В. В. Нядзвецкай. Мінск: Польша, 1993. 366 с.

15. Литовская кухарка: первая белорусская кулинарная книга / пер. с пол. Н. Бабиной. Минск: Харвест, 2013. 414 с.

16. Некрашевіч С. М., Байкоў М. Я. Беларуска-расійскі слоўнік: факсім. выд. Мінск: Народная асвета, 1993. 362 с.

17. Мария Лемнис, Генрих Витри. В старопольской кухне и за польским столом // Электрон. б-ка RoyalLib.com. URL: [https://royallib.com/book/lemnis\\_mariya/v\\_staropolskoy\\_kuhne\\_i\\_za\\_polskim\\_stolom.html](https://royallib.com/book/lemnis_mariya/v_staropolskoy_kuhne_i_za_polskim_stolom.html) (дата обращения: 30.11.2023).

18. Михалон Литвин. О нравах татар, литовцев и москвитян / пер. В. И. Матузовой. М.: Изд-во МГУ, 1994. 151 с.

19. Бессараб Д. А. О возможности использования потенциала литвинско-белорусской кухни в туристических целях // Традыцыі і сучасны стан культуры і мастацтваў: зб. навук. арт. Мінск, 2023. Вып. 4. С. 678–683.

### References

1. 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 11.03.2022).

2. Kuz'mina K. A., Matetskaya M. V. Territory branding and destination branding: general and special. *Gastronomicheskiye brendy destinatsiy: podkhody i primeneniye* [Gastronomic destination brands: approaches and application]. St. Petersburg, Levsha Publ., 2014, pp. 6–23 (In Russian).

3. Tarasenok A. I. *Geoekonomika turizma* [Geoeconomics of tourism]. Moscow, INFRA-M Publ.; Minsk, Novoye znaniye Publ., 2011. 272 p. (In Russian).

4. On tourism: Law of the Republic of Belarus, 25.11.1999, no 326-Z. Available at: <https://pravo.by/document/?guid=12551&p0=H12100129&p1=1&p5=0> (accessed 01.12.2023) (In Russian).

5. Bieger T. Management von Destinationen. München; Wien, Oldenbourg Publ. 2002. 386 p. (In German).

6. McConnell K. R., Brew C., Flynn S. M. *Ekonomiks: printsipy, problemy i politika* [Economics: principles, problems and politics]. Moscow, INFRA-M Publ., 2011. 1010 p. (In Russian).

7. Tarasenok A. I. Assessing the competitiveness of the national tourist destination of the Republic of Belarus. *Belorusskiy ekonomicheskiy zhurnal* [Belarusian Economic Journal], 2018, no. 2, pp. 139–151 (In Russian).

8. Mail Peter. *God v Provance* [A year in Provence]. Moscow, Azbuka Publ., 2023. 288 p. (In Russian).

9. Mail Peter. *Eshche odin god v Provance* [Another year in Provence]. Moscow, Azbuka Publ., 2015. 320 p. (In Russian).

10. National strategy for the development of tourism in the Republic of Belarus until 2035. Available at: <http://www.belarustourism.by/news/НАЦИОНАЛЬНАЯ%20СТРАТЕГИЯ.pdf> (accessed 01.12.2023) (In Russian).

11. Nikiforovsky N. Ya. Essays on common people's life in Vitebsk Belarus and descriptions of household items. Available at: [http://by.ethnology.ru/by\\_lib/nkfrvsk\\_01/graf/nkfrvsk\\_01\\_cont.html](http://by.ethnology.ru/by_lib/nkfrvsk_01/graf/nkfrvsk_01_cont.html) (access 12.01.2023) (In Russian).

12. Shein P. V. Materials for studying the life and language of the Russian population of the North-West Territory collection and put in order by P. V. Shein. *Sbornik Ordeleniya russkogo yazyka i slovesnosti imperatorskoy Akademii nauk* [Collection of the Department of Russian Language and Literature of the Imperial Academy of Sciences]. St. Petersburg, Tipografiya Imperatorskoy akademii nauk Publ., 1887–1902. Vol. 3: Description of housing, clothing, food, activities; pastime, games, beliefs, customary law; sorcery, witchcraft, witchcraft, treatment of diseases, remedies for misfortunes, beliefs, superstitions, omens, etc. 1902. P. 4. 535 p. (In Russian).

13. Pokhlebin V. V. *Natsional'nyye kukhni nashikh narodov* [National cuisines of our peoples]. Moscow, Tsentrpoligraf Publ., 2004. 329 p. (In Russian).

14. *Litouskaya gaspadynya, tsi Navuka ab utrymanni u dobrym stane khaty...* [Lithuanian housewife, or Science of keeping the house in good condition...]. Minsk, Polymya Publ., 1993. 366 p. (In Russian).

15. *Litovskaya kukharka: pervaya belorusskaya kulinarnaya kniga* [Lithuanian cook: the first Belarusian cookbook]. Minsk, Harvest Publ., 2013. 414 p. (In Russian).

16. Nekrashevich S. M., Baykov M. Ya. *Belaruska-rasiyski slounik* [Belarusian-Russian dictionary]. Minsk, Narodnaya asveta Publ., 1993. 362 p. (In Belarusian).

17. Maria Lemnis, Heinrich Vitry. 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](https://royallib.com/book/lemnis_mariya/v_staropolskoy_kuhne_i_za_polskim_stolom.html) (accessed 30.11.2023) (In Russian).

18. Mikhalon Litvin. *O nrvakh tatar, litovtsev i moskvityan* [About the morals of the Tatars, Lithuanians and Muscovites]. Moscow, Moscow State University Publ., 1994. 151 p. (In Russian).

19. Bessarab D. A. On the possibility of using the potential of Lithuanian-Belarusian cuisine for tourism purposes. *Tradytyi i suchasny stan kul'tury i mastatstvau: zbornik navukovykh artykulau* [Traditions and daily culture and culture: collection of scientific articles]. Minsk, 2023, issue 4, pp. 678–683 (In Russian).

#### **Информация об авторе**

**Бессараб Дмитрий Александрович** – кандидат географических наук, доцент, доцент кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, 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 13.03.2024*

УДК 631.543.1:634.73:57.06

**А. Н. Юхимук<sup>1</sup>, Д. В. Гордей<sup>2</sup>, В. Н. Решетников<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет**ИДЕНТИФИКАЦИЯ СОРТОВ И ВНУТРИВИДОВЫХ  
ТАКСОНОВ ГОЛУБИКИ УЗКОЛИСТНОЙ (*VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT.)  
НА ОСНОВЕ АНАЛИЗА МИКРОСАТЕЛЛИТНЫХ ЛОКУСОВ  
(SSR-МАРКЕРОВ). ПЕРСПЕКТИВЫ ПРАКТИЧЕСКОГО  
ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ДАННЫХ**

ДНК-идентификация на основе анализа аллельного состава восьми микросателлитных локусов позволила составить уникальные генетические профили для одиннадцати генотипов голубики узколистной. Наибольшую разрешающую способность продемонстрировали локусы CA421F, Pr031818819a, NA1040 и GVC-C179a, информационный индекс полиморфизма которых составил от 0,80 до 0,88. Наименее информативным оказался локус KAN262 с информационным индексом полиморфизма 0,66.

Данные о совокупном аллельном состоянии локусов и размере аллелей нашли практическое применение для подтверждения подлинности трех сортов голубики узколистной белорусской селекции. Высказано теоретическое предположение о возможности использования генетической информации для оценки эффективности скрещивания гибридов уже на ранних этапах их онтогенеза путем анализа комбинативной изменчивости семейной группы или по уникальным аллелям родительских генотипов, унаследованных потомством.

Для практического использования данных ДНК-идентификации требуется незамедлительное усовершенствование законодательной базы в Республике Беларусь, которая на уровне нормативно-правовых актов закрепит представления о «генетической информации» и определит широту юридического поля ее использования. Прежде всего речь идет об утверждении единой формы генетического паспорта растения (формально результата ДНК-идентификации) и предоставлении возможности получения патента на сорт на основе его уникального генетического профиля.

**Ключевые слова:** голубика узколистная, патент на сорт, UPOV, генетический паспорт, ДНК-идентификация, микросателлитные локусы, ДНК-маркеры, маркер-опосредованная селекция.

**Для цитирования:** Юхимук А. Н., Гордей Д. В., Решетников В. Н. Идентификация сортов и внутривидовых таксонов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) на основе анализа микросателлитных локусов (SSR-маркеров). Перспективы практического использования данных // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 141–151.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-17.

**A. N. Yukhimuk<sup>1</sup>, D. V. Gordey<sup>2</sup>, V. N. Reshetnikov<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Central Botanical Garden of National Academy of Sciences of Belarus<sup>2</sup>Belarusian State Technological University**IDENTIFICATION OF VARIETIES AND INTRASPECIFIC TAXONS  
OF LOW BUSH BLUEBERRY (*VACCINIUM ANGUSTIFOLIUM* AIT.)  
BASED ON ANALYSIS OF MICROSATELLITE LOCUSES (SSR-MARKERS).  
PROSPECTS FOR THE PRACTICAL USE OF DATA**

DNA identification based on analysis of the allelic composition of eight microsatellite loci made it possible to compile unique genetic profiles for eleven genotypes of blueberry. The highest resolving power was demonstrated by the primers CA421F, Pr031818819a, NA1040 and GVC-C179a, the information polymorphism index of which was 0.80–0.88. The least informative primer was KAN262 with an information polymorphism index of 0.66.

Data on the total allelic state of loci and the size of alleles have found practical application to confirm the authenticity of three varieties of low bush blueberry of Belarusian selection. A theoretical assumption has been made about the possibility of using genetic information to assess the effectiveness of crossing hybrids already at the early stages of their ontogenesis by analyzing the combinative variability of a family group or by unique alleles of parental genotypes inherited by the offspring.

For the practical use of DNA identification data, immediate improvement of the law in the Republic of Belarus is required, which at the level of regulatory legal acts will consolidate views about “genetic

information” and determine the width of the legal field of its use. First of all, we are talking about the approval of a single form of a plant’s genetic passport (formally the result of DNA identification) and the provision of the opportunity to obtain a patent for a variety based on its unique genetic profile.

**Keywords:** low bush blueberry, variety patent, UPOV, genetic passport, DNA identification, microsatellite loci, DNA markers, marker-assisted selection.

**For citation:** Yukhimuk A. N., Gordey D. V., Reshetnikov V. N. Identification of varieties and intraspecific taxons of low bush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) based on analysis of microsatellite locuses (SSR-markers). Prospects for the practical use of data. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 141–151 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-17.

**Введение.** В 1990-х гг. Т. В. Курлович и В. Н. Босак на основании сопоставления и анализа климатических показателей основных районов возделывания голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в США и Канаде с аналогичными данными областных центров Беларуси сделали теоретическое предположение о возможности успешного культивирования данного североамериканского ягодного вида в Республике Беларусь [1]. Практическую работу по интродукции голубики узколистной на Ганцевичской экспериментальной базе ЦБС «Журавінка» начал О. В. Морозов. Благодаря усилиям ученого в 2002 г. из общей совокупности в 300 семян, выращенных из семян от свободного опыления лучших канадских клонов К70-62, К508, К510 и МЕЗ, были выделены 26 перспективных растений для дальнейших исследований [2]. Весной 2009 г. в ходе практической реализации идеи развития в стране северного голубиководства селекционная работа с вышеупомянутыми экземплярами была продолжена на площади верхового торфяника в Белорусском Поозерье (Шарковщинский район Витебской области). В 2014 г. на основании результатов комплексной оценки хозяйственно-биологических показателей и свойств растений три формы *V. angustifolium* были включены в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений под названиями «Мотего» (рег. № 2012312), «Янка» (рег. № 2012313) и «Половчанка» (рег. № 2012314) [3]. Внесение сортов голубики узколистной белорусской селекции в единый банк данных сортов сельскохозяйственных растений Государственной инспекции по испытанию и охране сортов растений дало право официального производства посадочного материала культуры, коммерческой реализации саженцев и их использования для создания промышленных плантаций в Республике Беларусь.

В свою очередь, решение вопросов обеспечения защиты авторских прав на сорта растений в Республике Беларусь находится в исключительной компетенции Национального центра интеллектуальной собственности. В соответствии с законодательством нашей страны организация удостоверяет результат селекционных достижений и предоставляет правовую охрану сорта растения

путем выдачи на него патента [4]. Административная процедура получения охранного документа призвана подтвердить новизну, отличимость, однородность и стабильность нового сорта. Оценку его соответствия вышевыдвинутым требованиям проводят на основании анкеты сорта растения – документа, в котором приводятся поддающиеся точному описанию существенные признаки объекта культурной флоры, позволяющие определить его характерные и отличительные особенности: морфологические, физиологические и др.

Алгоритм проведения проверки представителями рода *Vaccinium* с нюансами оформления анкеты сорта подробно изложен в рекомендациях по проведению испытаний на соответствие критериям отличимости, однородности и стабильности, подготовленных Международным союзом по охране новых сортов растений (UPOV) [5].

Сложность патентования сортов голубики узколистной в рамках установленной «классической» процедуры обусловлена отсутствием каких-либо четких внешних отличительных признаков между селекционными растениями и многочисленными несортными представителями данного вида. С большой долей вероятности даже в имеющейся сейчас в республике немногочисленной семенной популяции *V. angustifolium* можно найти растения очень схожие с сортами белорусской селекции по габитусу куста, способности к формированию сплошного покрова ягодника, окраске коры побегов, форме и линейным параметрам листьев, а также массе, длине и ширине ягод. Риск существования или появления в будущем внешне трудноотличимых от сортов экземпляров делает нецелесообразным проведение трудоемкой и дорогостоящей работы по составлению их анкет.

Усугубляет и без того сложную ситуацию сильная изменчивость ряда признаков растений под влиянием погодно-климатических, эдафических, гидрологических и других факторов живой и неживой природы. Так, например, средняя масса 100 г ягод одной и той же формы голубики узколистной в разные годы может отличаться в 1,2–2,3 раза [6]. Соотношение между площадью ассимиляционных органов растений, произрастающих в условиях естественного

агрофона верховых торфяников и возделываемых с внесением минеральных удобрений, составляет 1 : 1,7–2,9 [7].

В нашем случае, когда подтверждение отличимости, однородности и стабильности новых сортов голубики узколистной путем качественной или количественной оценки фенотипических признаков представляется крайне затруднительным, очевидна необходимость поиска альтернативных способов диагностики исключительного своеобразия растений. Подобного рода проблема не является уникальной в мировой практике, так как с ней уже неоднократно сталкивались ряд исследователей в области селекции растений.

Оценка полиморфизма на генетическом уровне – вполне реальная альтернатива практике строгого документирования фенотипа сорта. В 1996 г. Powell W. с коллегами на основании результатов тестирования зародышевой плазмы сортов культурной (*Glycine max* (L.) Merr.) и линий дикорастущей (*Glycine soja* Siebold & Zucc.) сои дали рекомендации по выбору молекулярно-генетических маркеров RFLP, RAPD, AFLP, SSR в зависимости от объектов и целей исследований [8].

С начала 2000-х гг. ДНК-маркеры, разработанные на основе микросателлитных локусов, начали широко использоваться для изучения генетического разнообразия представителей рода *Vaccinium*. Благодаря их применению удалось установить происхождение, а также провести идентификацию сортов голубики высокорослой (*Vaccinium corymbosum* L.) и гибридов на их основе [9–12]. Есть подтверждения того, что область применения молекулярно-генетических маркеров, разработанных для голубики высокорослой, не ограничена исключительно целевым объектом исследований, а в полной мере включает в себя голубику узколистую, голубику Эша (*Vaccinium virgatum* Ait.) и, вполне возможно, другие родственные виды [13, 14].

Бурное развитие молекулярно-генетических методов требует, с одной стороны, унификации подходов при планировании работ с учетом их специфики, а с другой – единообразия способов обработки полученных данных для последующей правильной интерпретации результатов и их объективного сравнения. Рекомендации UPOV вносят ясность по вопросам выбора молекулярных маркеров и построения баз данных. Согласно тексту документа ДНК-маркеры должны быть информативными – обеспечивать достаточный для установления фактов отличимости, однородности и стабильности уровень генетического полиморфизма, а также воспроизводимыми – аналогичные данные, полученные в разных лабораториях, должны быть сопоставимы. Рекомендации содержат указания по обработке первичной генетической информации и формированию баз

высококачественных молекулярных данных для последующего широкого практического применения в различных областях биологической науки, в том числе и для профилирования ДНК новых сортов с целью защиты авторских прав селекционера [15].

В ряде стран уникальный молекулярно-генетический профиль нового сорта служит официальным основанием для выдачи генетического паспорта установленной формы. Например, законодательством Российской Федерации предусмотрено обязательное оформление данного документа при проведении испытаний и оценке сортов и гибридов сельскохозяйственных растений [16]. В Республике Беларусь юридическая ситуация складывается не в пользу селекционера, поскольку в стране отсутствуют какие-либо нормативные акты, допускающие возникновение права собственности на сорт исходя из результатов успешной генетической идентификации растения. В данной ситуации прямо встает вопрос о необходимости усовершенствования правового регулирования в сфере патентования сортов растений в нашей стране с целью упрощения и ускорения процедуры получения охранного документа. Без сомнения реальные возможности изменений в законодательстве во многом зависят от уровня научных знаний в области генотипирования сортов сельскохозяйственных растений, а также наличия материально-технической базы и квалифицированных кадров для проведения подобного рода исследований. Поэтому ситуацию с культиварами голубики узколистной следует рассматривать как, вероятно, первый случай реальной оценки перспектив нового подхода в области охраны прав на объекты культурной флоры в Республике Беларусь.

Кроме того, использование молекулярно-генетических методов становится одним из основных стандартов в современной селекции культурных растений [17]. При маркер-опосредованной селекции (Marker-Assisted Selection, MAS) отбор растений ведут по ДНК-маркерам, ассоциированным с конкретными хозяйственно ценными признаками. Геномная селекция (Genomic Selection, GS) делает возможным всецелую оценку генетического потенциала индивидуума на основе его полного генома. Оба подхода позволяют селекционерам точно и быстро оценивать исходное генетическое разнообразие таксонов растений, включенных в селекционную работу, а также отбирать растения с желаемыми характеристиками на более ранних стадиях онтогенеза после проведения контролируемых скрещиваний. Внедрение инновационных методик в селекционный процесс обеспечивает многократное сокращение времени и ресурсов, необходимых для создания новых сортов.

Актуальность селекционного улучшения голубики узколистной обусловлена тем, что при всех явных преимуществах полученных культурваров над остальными представителями своей исходной группы им не удалось совместить в себе все востребованные в интенсивном ягодоводстве положительные качества. В 2021 г. общие представления о совокупности характеристик, которыми должен обладать «идеальный» сорт голубики узколистной, предназначенный для возделывания на промышленных плантациях в условиях культивирования на верховых торфяниках Белорусского Поозерья, нашли свое отражение в концепции дальнейшего селекционного улучшения вида. Суть положения сводится к идее выведения сортов, максимально адаптированных к механизированной заготовке ягод: с высотой куста в пределах 25–30 см; маловетвистыми и упругими побегами формирования; высокой урожайностью; одновременным созреванием плодов; крепкими, крупными, сладкими и ароматными ягодами на длинных черешках [3].

Практическая реализация плана предполагает усовершенствование уже имеющихся сортов голубики узколистной путем проведения серий контролируемых скрещиваний между культурами в различных комбинациях, а также вовлечения в селекционный процесс специально подобранных форм, выступающих носителями целевых хозяйственно ценных признаков. Поставленной цели селекционной работы вполне реально добиться благодаря использованию имеющегося генетического потенциала формового разнообразия вида. Речь прежде всего идет о привлечении форм, у которых интересующие нас количественные и качественные показатели растений максимально выражены в фенотипе. Согласно результатам многолетних интродукционных исследований интерес в качестве источников высокой урожайности представляют формы 1, 2, 4, 7, 9, 12, 13; крупноплодности – формы 4, 6, 7, 17, 26; одновременности созревания плодов – формы 6, 11, 14, 18, 19, 22, 25; высоких вкусовых качеств ягод – формы 4, 8, 15, 16, 19, 20, 22; способности к быстрому формированию покрова – формы 2, 9, 12, 22, 25; высокой зимостойкости – формы 2, 6, 8, 9, 11, 14, 15, 16, 17, 20, 21, 22, 25; высокой устойчивости к болезням – формы 3, 16, 19, 20, 23, 26 [6]. Сорта «Мотега», «Половчанка» и «Янка» упоминаются в приведенном выше перечне под идентификационными номерами 4, 22 и 20 соответственно. Для проведения внутривидовых скрещиваний выбор пал на семь форм, обладающих максимальным набором целевых хозяйственно ценных признаков: 2, 7, 9, 13, 16, 19 и 25.

Первый рекогносцировочный шаг в селекции голубики узколистной на основе генетических данных предусматривает составление и анализ

ДНК-профилей растений, выделенных в группу наиболее перспективных потенциальных носителей ценной наследственной информации. Выбор такого пути продиктован стремлением приблизиться к маркерной технологии селекции, имеющей большие шансы на воплощение в жизнь по сравнению с геномной, так как является менее ресурсоемкой и экономически более доступной.

Осуществление молекулярно-генетических исследований голубики узколистной в Республике Беларусь стало возможно во многом благодаря ранее накопленному опыту в области ДНК-тестирования родственного вида – голубики высокорослой. Изучение генетического полиморфизма микросателлитных локусов *V. corymbosum* в нашей стране начал в 2012 г. Центральный ботанический сад при сотрудничестве с Институтом леса Национальной академии наук Беларуси [18]. С 2016 г. отдел биохимии и биотехнологии растений ЦБС сосредоточил свое основное внимание на работе по верификации генотипов голубики высокорослой на соответствие референсным сортам, в первую очередь включенным в Государственный реестр сортов сельскохозяйственных растений Республики Беларусь [19].

В настоящее время перед научным учреждением поставлена новая задача: провести ДНК-идентификацию голубики узколистной. Положительное решение вопроса позволит оценить перспективы практического использования данных генетической дактилоскопии *V. angustifolium* как для подготовки основания на выдачу патента на сорт, так и для осуществления селекционной работы с культурой.

**Основная часть.** План исследований предполагал определение уровня молекулярно-генетической изменчивости трех сортов и семи перспективных форм *V. angustifolium* путем проведения ДНК-паспортизации с помощью микросателлитных маркеров. Отбор 16 листовых проб осуществили непосредственно в посадках ягодника в Половском лесничестве Поставского лесхоза 26.07.2023 г. Каждый образец из трех повторностей сортовых растений промаркировали путем указания на этикетке полиэтиленового контейнера русского названия культурвара в латинской транскрипции с добавлением после нижнего подчеркивания его порядкового номера. Три образца сорта «Мотега» поместили как Motego\_1, Motego\_2, Motego\_3, сорта «Половчанка» – Polovchanka\_1, Polovchanka\_2, Polovchanka\_3 и сорта «Янка» – Yanka\_1, Yanka\_2, Yanka\_3. Пробам перспективных форм 2, 7, 9, 13, 16, 19 и 25 присвоили следующие наименования Form 2, Form 7, Form 9, Form 13, Form 16, Form 16, Form 19 и Form 25 соответственно. Еще 8 образцов листьев заготовили 03.09.2023 г. с двухлетних саженцев сортовых

растений, для производства которых использовали дочерние парциальные кусты из посадок, размещенных на площади верхового торфяника вышеупомянутого лесохозяйственного учреждения. Две пробы сорта «Мотега» обозначили как Motego\_4, Motego\_5, две пробы сорта «Половчанка» – как Polovchanka\_4, Polovchanka\_5, а за четыре пробы сорта «Янка» закрепили названия Yanka\_4, Yanka\_5, Yanka\_6 и Yanka\_7. Общее количество образцов составило 24 шт. Фиксацию листовых тканей осуществляли в течение 1–2 мес. в герметичных контейнерах с силикагелем, предварительно поместив в них конверты из фильтровальной бумаги с ассимилирующими органами.

Источником тотальной ДНК служила обезвоженная листовая ткань. Препараты ДНК получали методом СТАВ-экстракции с модификациями [20]. Для ДНК-фингерпринтинга таксонов голубики узколистной из двух библиотек [10, 12], содержащих в общей сложности информацию о 59 микросателлитных локусах, мы отобрали восемь: CA344F, CA421F, NA1040, VCC\_I2, GVC-C179a, GVC-C428, KAN262, Pr031818819a. Выбор данных локусов был продиктован комбинацией их высокого генетического полиморфизма, а соответственно, и высокой разрешающей способности на уровне генотипов, а также нашим стремлением оптимизировать процесс фрагментарного разделения аллельных частей ДНК в генетическом анализаторе с четырехканальной системой флуоресцентной детекции. Локусы с неперекрывающимися размерными рядами аллелей были распределены по парам и помечены одной и той же флуоресцентной меткой. Маркирование микросателлитных локусов провели методом стандартной ПЦР в амплификаторе SureCycler 8800 (Agilent). Для приготовления амплификационной

смеси объемом 25 мкл использовали следующие компоненты: ×1 Taq Turbo буфер (Евроген), ×1 dNTP (0,2 мМ каждого) (Евроген), по 20 пмоль прямого и обратного праймеров (ПраймТех), 1 ед. HS Taq ДНК-полимеразы (Евроген), 30 нг тотальной ДНК. Режим ПЦР: начальная денатурация – 3 мин при 95°C; 10 циклов, состоящих из 30 с при 95°C, 30 с при 62°C (–1°C/цикл) и 40 с при 72°C; 25 циклов, состоящих из 30 с при 95°C, 30 с при 52°C и 40 с при 72°C; финальная элонгация – 5 мин при 72°C. Для визуализации продуктов амплификации прямой праймер каждого локуса модифицировали флуоресцентной меткой (FAM, R6G, TAMRA, ROX). Фрагментный анализ провели на генетическом анализаторе Applied Biosystems 3500, в качестве размерного стандарта использован GeneScan 600 LIZ Size Standard v 2.0 (Applied Biosystems). Амплификационные смеси всех локусов каждого образца разделяли в одном капилляре. Для обработки файлов данных использовали программное обеспечение GeneMarker V 2.7.0. С целью согласования полученных данных об относительном размере аллелей с данными Информационной сети по ресурсам зародышевой плазмы (GRIN) Службы сельскохозяйственных исследований (ARS) Министерства сельского хозяйства США (USDA) исследования проводили на фоне репортерных сортов голубики высокорослой с уже известным размером маркированных микросателлитных локусов: Sierra, Nelson, Bluegold, Northblue, Duke, Hardyblue.

В табл. 1 приведены полученные в ходе лабораторных анализов ДНК-профили 11 исследованных генотипов голубики узколистной: локусы обозначены по названию праймера, а аллели (маркеры) – по размерам ДНК-фрагментов в парах нуклеотидов (п. н.).

Таблица 1

**Совокупное аллельное состояние микросателлитных локусов (ДНК-профиль) и размер аллелей в парах нуклеотидов (п. н.) 11 генотипов голубики узколистной**

Локус (праймер)	Размер аллелей в парах нуклеотидов форм голубики узколистной (образец)					
	2 (Form 2)	4 (Motego_1, Motego_2, Motego_3, Motego_4, Motego_5)	7 (Form 7)	9 (Form 9)	13 (Form 13)	16 (Form 16)
CA421F	164, 186*, 198, 202	164, 178, 202, 216*	178, 192*, 202	178, 182*, 198	164, 190*, 202	196, 202, 206*, 212*
Pr031818819a	321, 325, 327, 329	319, 321, 325, 327	315, 321, 325	321, 325, 327, 329	319, 323, 325, 327	321, 323, 325, 335*
NA1040	188, 190, 196	188, 190, 192	200, 212	188, 192, 200	188, 202	192, 200, 202
KAN262	246	235, 246	246, 258*	246, 263	233*, 246, 248*, 251	246, 263
VCC_I2	217, 219, 223	211, 217, 219, 223	211, 213, 217	211, 213, 217, 219	211, 213, 219	211, 213, 219
GVC-C428	251, 257	251, 254, 257, 266	260, 263	251, 254, 257	257, 260	257, 260, 263
CA344F	162, 165, 168, 171*	162, 168	153, 159, 162	153, 159, 165	159, 162, 165	162
GVC-C179a	211	208, 211, 218*	221	223	211, 223	208, 224
Всего уникальных аллелей	2	2	2	1	3	3

Окончание табл. 1

Локус (праймер)	Размер аллелей в парах нуклеотидов форм голубики узколистной (образец)				
	19 (Form 19)	20 (Yanka_2, Yanka_3, Yanka_4, Yanka_5, Yanka_6 и Yanka_7, Polovchanka_5)	22 (Polovchanka_1, Polovchanka_2, Polovchanka_3, Polovchanka_4)	25 (Form 25)	Безымянная (Yanka_1)
CA421F	196, 200, 204*	168*, 194*, 200, 202	164, 198, 200	164, 188*, 198, 200	164, 178, 202
Pr031818819a	323	319, 321, 325, 327	315, 327, 329	321, 323, 325	321, 325, 327, 329
NA1040	186*, 190, 212	188, 200, 212	190, 192	182*, 184*, 196	190, 192
KAN262	246, 251, 255*, 278*	235, 246	235, 246	246, 250*	246
VCC_I2	217, 219, 221*, 223	217, 219	211, 213, 217, 219	211, 213, 217	211, 213, 217
GVC-C428	257, 263	257, 263	257, 260	251, 257, 263, 266	257, 266
CA344F	162, 165, 174*	162	165, 168	159, 162, 168	156*, 168
GVC-C179a	208, 221, 224	211, 224	206*, 211, 221	208, 221	211, 223
Всего уникаль- ных аллелей	6	2	1	4	1

\* Уникальный аллель микросателлитного локуса.

Согласно данным табл. 2, число аллелей варьировало от 17 в локусе CA421F до 6 в локусах VCC\_I2 и GVC-C428. Всего выявлено 72 аллели. Максимальное количество аллелей в локусе – 4, что соответствует полной гетерозиготе, выявлено у всех локусов за исключением NA1040 и GVC-C179a. Минимальное количество аллелей – 1, что соответствует полной гомозиготе, обнаружено в локусах Pr031818819a, KAN262, CA344F, GVC-C179a. Из всего пула 71 аллель являлся полиморфным. Только одна аллель – 246 п. н. в локусе KAN262 была мономорфной и встречалась у всех проанализированных генотипов.

В локусах CA421F, Pr031818819a, NA1040, KAN262, VCC\_I2 и CA344F всего выявлено 27 уникальных аллелей (табл. 1). Наибольшее их количество присутствует в локусе CA421F – 11 шт., минимальное – в локусах Pr031818819a и VCC\_I2 – по 1 шт.

Исследованные локусы характеризовались достаточно высоким уровнем полиморфизма – в

среднем 98,6%. Минимальным полиморфизмом характеризуется локус KAN262 – 90,0%. Изменчивость всех остальных амплифицированных зон достигает максимальных 100,0%.

Для каждого локуса также был рассчитан PIC (Polymorphism Information Content) – информационный индекс полиморфизма, который является мерой вклада маркера в общий уровень полиморфизма и может быть использован для оценки способности локуса различать генотипы [21]. Значения PIC находились в диапазоне от 0,66 для локуса KAN262 до 0,88 для локуса CA421F, что свидетельствует о высокой разрешающей способности локусов (табл. 2).

Согласно данным табл. 1 совокупное аллельное состояние восьми микросателлитных локусов для каждого таксона, включенного в исследование, характеризовалось уникальностью, что позволило использовать эти данные для тестирования на отличимость, однородность и стабильность всех растений *V. angustifolium* и прежде всего сорта и хозяйственно ценные формы вида.

Таблица 2

## Характеристика микросателлитных локусов 11 генотипов голубики узколистной

Локус	bp	N(A)	N(A <sub>p</sub> )	N(A <sub>u</sub> )	P, %	N(A <sub>G</sub> )			PIC
						max	avr	min	
CA421F	164–216	17	17	11	100	4	3,6	3	0,88
Pr031818819a	315–335	8	8	1	100	4	3,6	1	0,82
NA1040	182–212	10	10	3	100	3	2,7	2	0,83
KAN262	233–278	10	9	6	90	4	2,1	1	0,66
VCC_I2	211–223	6	6	1	100	4	3,2	2	0,77
GVC-C428	251–266	6	6	–	100	4	2,6	2	0,78
CA344F	153–174	8	8	3	100	4	2,0	1	0,75
GVC-C179a	206–224	7	7	2	100	3	2,3	1	0,80
Всего	–	72	71	27	98,6	–	–	–	–

Примечание. bp – размерный диапазон аллелей локуса в п. н.; N(A) – количество аллелей на локус; N(A<sub>p</sub>) – количество полиморфных аллелей на локус; N(A<sub>u</sub>) – количество уникальных аллелей; P – уровень полиморфизма; N(A<sub>G</sub>) – количество аллелей на генотип (max – максимальное, avr – среднее, min – минимальное); PIC (Polymorphism Information Content) – информационный индекс полиморфизма.

Все пять образцов сорта «Мотега» оказались генетически однородными. Из пяти проб сорта «Половчанка» только одна Polovchanka\_5 имела отличный от остальных аллельный состав локусов, который в полной мере соответствовал сорту «Янка». Оставшиеся четыре образца сорта «Половчанка» были полностью генетически однородны. Из семи проб сорта «Янка» одна Yanka\_1 имела генетический профиль, который не совпал ни с одной из форм, отобранных для исследований. По этой причине данный генотип обозначили как «безымянный». Генетические профили растений, полученные при анализе шести оставшихся образцов сорта «Янка» и уже упомянутого образца Polovchanka\_5, совпали полностью, что подтверждает их идентичность.

Описанная выше ситуация наглядно показывает, как с помощью молекулярно-генетического метода идентификации растений голубики узколистной можно безошибочно определить подлинность любого интересующего нас сорта или экземпляра вида. Провести проверку чистоты культивара можно как в процессе производства его посадочного материала, так и уже после высадки растения на плантацию. Метод обеспечивает гарантированный результат независимо от причин, которые обусловили ошибку идентификации: неправильное обозначение сорта, утрата идентификационного номера, нарушение транспортно-логистических регламентов, умышленное искажение данных и т. д.

Данные об аллельном состоянии микросателлитных локусов являются вариантом индивидуальной характеристики конкретного растения голубики узколистной и их можно использовать для создания уникального генетического паспорта сорта или формы вида, а также считать основанием для выдачи патента, обеспечивающего защиту авторских прав селекционера.

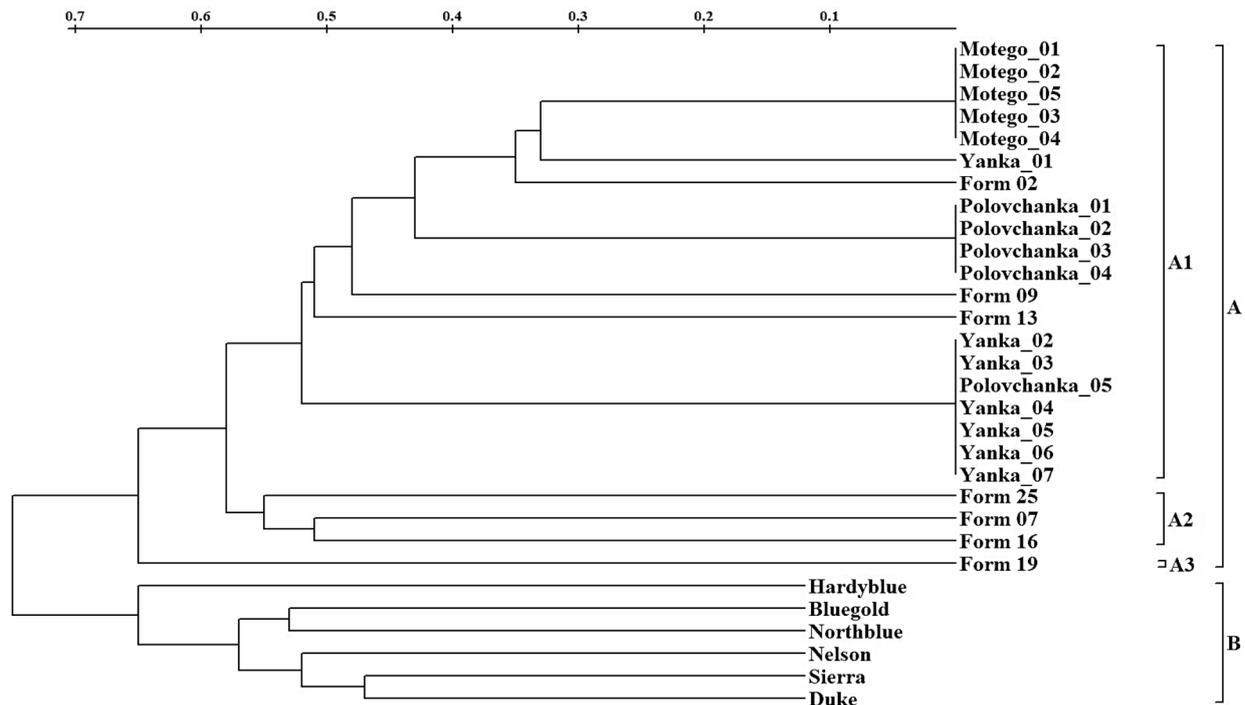
Ключом к проведению селекционной работы на основе данных ДНК-идентификации являются уникальные аллели, распределенные среди генотипов. Их максимальное количество выявлено у формы 19 (6 аллелей в 5 локусах), минимальное – у формы 9 (1 аллель в локусе CA421F). Наличие таких уникальных аллелей в генотипах перспективных форм совместно с анализом комбинативной изменчивости теоретически может ускорить и удешевить проведение селекционного процесса, так как позволяет молекулярно-генетическими способами подтверждать успешность проведенных скрещиваний на ранних этапах онтогенеза гибридов, не дожидаясь проявления морфофизиологических признаков.

Организовать полноценную маркер-сопутствующую селекцию в нашем конкретном случае не представляется возможным ввиду того, что выбранные для анализа локусы не кодируют

последовательности белков, а соответственно, не связаны прямо с конкретными качественными или количественными хозяйственно ценными признаками растений. Тем не менее есть вероятность того, что данные локусы могут быть сцеплены с кодирующими генами и тогда присутствие маркера вполне реально укажет на характерные и отличительные особенности экземпляра голубики узколистной: морфологические, физиологические и др. Для реализации такого подхода необходимо многократно увеличить размер выборки растений и провести глубокий анализ взаимосвязи генетического профиля со всеми внешними и внутренними признаками фитоорганизма, поддающимся оценке.

Для установления генетического сходства сортов и форм голубики узколистной использовали частоты аллелей микросателлитных локусов. Для этого рассчитали генетические дистанции между исследуемыми таксонами по методу Nei M. [22] и провели кластеризацию по методу UPGMA с использованием программного обеспечения Treecon© [23]. Для повышения разрешающей способности кластеризации таксонов голубики узколистной осуществили совместно с сортами голубики высокорослой, использованными для нормализации относительных размеров аллельных вариантов. Визуализированная посредством дендрограммы кластеризация представлена на рисунке.

На дендрограмме выделяются два кластера А и В, в которые сгруппированы таксоны видов *Vaccinium angustifolium* Ait. и *Vaccinium corymbosum* L. соответственно, что согласуется с данными о больших межвидовых генетических различиях по сравнению с внутривидовыми. Кластер А в свою очередь можно подразделить на три субкластера по признаку генетических отличий перспективных форм голубики узколистной от сортовых форм. Так, в субкластер А1, помимо сортов голубики узколистной, включены формы 2, 9 и 13, что свидетельствует об их большем генетическом сходстве с сортовыми формами по сравнению с другими перспективными формами. В субкластер А2 входят формы 7, 16 и 25, генетически более отдаленные от сортовых форм *V. angustifolium*. Третий субкластер А3 представлен единственной формой 19, которая имеет минимальное сходство с сортами голубики узколистной в сравнении с другими перспективными формами. Наблюдаемая картина в полной мере подтверждает результаты наших предыдущих исследований, в которых высказывалось предположение о потенциальном родстве формы 19 с *V. myrtilloides* Michx. в силу присущего ей характерного именно для данного вида голубик морфологического признака – опушения побегов [24].



Кластеризация UPGMA по степени генетического сходства сортов и форм голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.)

На рисунке хорошо видно, как образец Polovchanka\_5 кластеризуется в одну группу с пробами сорта «Янка», что говорит об их генетической идентичности и позволяет идентифицировать его как сорт «Янка». Образец Yanka\_1 наиболее близок генетически к сорту «Мотега», однако не кластеризуется в одну группу ни с образцами этого сорта, ни с какими-либо другими таксонами голубики узколистной.

**Заключение.** В ходе ДНК-идентификации, проведенной на основе анализа восьми микросателлитных локусов 11 генотипов голубики узколистной, удалось получить уникальную молекулярно-генетическую характеристику всех изучавшихся представителей вида. Информация о совокупном аллельном состоянии локусов позволила проверить подлинность сортовых экземпляров *V. angustifolium*, а также теоретически дала

возможность оценить эффективность скрещивания гибридов уже на ранних этапах их онтогенеза путем анализа комбинативной изменчивости семейной группы или по уникальным аллелям родительских генотипов, унаследованных потомством. Для практического использования данных ДНК-идентификации требуется незамедлительное усовершенствование законодательной базы в Республике Беларусь, которая на уровне нормативно-правовых актов закрепит представления о «генетической информации» и определит широту юридического поля ее использования. Прежде всего речь касается утверждения единой формы генетического паспорта растения (формально результата ДНК-идентификации) и предоставления возможности получения патента на сорт на основе его уникального генетического профиля.

### Список литературы

1. Курлович Т. В., Босак В. Н. Голубика высокорослая в Беларуси. Минск: Беларус. навука, 1998. 174 с.
2. Морозов О. В., Яковлев А. П. Цветение и плодоношение голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) при интродукции в условиях Беларуси // Проблемы лесоведения и лесоводства: сб. науч. тр. 2008. Вып. 68. С. 642–650.
3. Гордей Д. В., Морозов О. В. Характеристика сортов *Vaccinium angustifolium* Ait. белорусской селекции и концепция дальнейшего селекционного улучшения вида в условиях культивирования на верховых торфяниках Белорусского Поозерья // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобн. ресурсов. 2021. № 2 (246). С. 179–187.
4. О патентах на сорта растений: Закон Респ. Беларусь, 13 апр. 1995 г., № 3725-XII // Нац. центр интеллектуал. собственности Респ. Беларусь. URL: <https://www.ncip.by/upload/doc/2020/Sorta/1.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).

5. TG/137/5 Rev. Blueberry, 2019-06-14 + 2022-10-25 // UPOV. URL: <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg137.pdf> (дата обращения: 04.03.2024).
6. Культивирование голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в Белорусском Поозерье / О. В. Морозов [и др.]. Минск: БГТУ, 2016. 195 с.
7. Влияние комплексного минерального удобрения на рост и развитие вегетативных органов голубики узколистной (*Vaccinium angustifolium* Ait.) в молодых посадках при возделывании на выработанных верховых торфяниках в Белорусском Поозерье / Д. В. Гордей [и др.] // Труды БГТУ. 2011. № 1: Лесное хоз-во. С. 79–82.
8. The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis / W. Powell [et al.] // Molecular Breeding. 1996. Vol. 2, no. 3. P. 225–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00564200>.
9. Development of EST-PCR Markers for DNA Fingerprinting and Genetic Relationship Studies in Blueberry (*Vaccinium*, section *Cyanococcus*) / L. J. Rowland [et al.] // Journal of the American Society for Horticultural Science. 2003. Vol. 128, issue 5. P. 682–690. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.5.0682>.
10. Boches P. S., Rowland L. J., Bassil N. V. Microsatellite markers for *Vaccinium* from EST and genomic libraries // Mol. Ecol. Notes. 2005. Vol. 5. P. 657–660. DOI: 10.1111/j.1471-8286.2005.01025.x.
11. Development of an efficient DNA test for genetic identity confirmation in blueberry / A. Bidani [et al.] // Acta Hort. 2017. Vol. 1180. P. 363–368. DOI: 10.17660/ActaHortic.2017.1180.49.
12. Microsatellite markers confirm identity of blueberry (*Vaccinium* spp.) plants in the USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository collection / N. Bassil [et al.] // Genetic Resources and Crop Evolution. 2020. Vol. 67. P. 393–409. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00873-8>.
13. Suitability of EST-PCR markers developed in highbush blueberry for genetic fingerprinting and relationship studies in lowbush blueberry and related species / D. J. Bell. [et al.] // J. Amer. Soc. Hort. Sci. 2008. Vol. 133 (5). P. 701–707. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.5.701>.
14. Rowland L. J., Ogden E. L., Ehlenfeldt M. K. EST-PCR markers developed for highbush blueberry are also useful for genetic fingerprinting and relationship studies in rabbiteye blueberry // Sci. Hortic. 2010. Vol. 125. P. 779–784.
15. UPOV/INF/17/2, September 21, 2021 // UPOV. URL: [https://www.upov.int/edocs/infdocs/en/upov\\_inf\\_17.pdf](https://www.upov.int/edocs/infdocs/en/upov_inf_17.pdf) (дата обращения: 15.03.2024).
16. О семеноводстве: Федер. закон, 30.12.2021, № 454-ФЗ // Собрание законодательства Рос. Федерации. URL: <https://www.szrf.ru/api/issues/image?volid=1002022001010#zoom=100&page=114> (дата обращения: 15.03.2024).
17. Алтухов Ю. П., Салменкова Е. А. Полиморфизм ДНК в популяционной генетике // Генетика. 2002. Т. 38, № 9. С. 1173–1195.
18. Использование молекулярно-генетических методов для решения проблем выращивания голубики высокой / Л. В. Гончарова [и др.] // Голубиководство в Беларуси: итоги и перспективы: материалы Респ. науч.-практ. конф., Минск, 17 авг. 2012 г., Минск, 2012. С. 18–23.
19. Генотипическая и фенотипическая верификация растительных коллекций для создания генетического банка и генофонда интродуцированных сортов голубики высокой (*Vaccinium corymbosum* L.) методом микрклонального размножения / В. Л. Филипеня [и др.] // Садоводство и виноградарство. 2018. № 2. С. 54–57.
20. Rapid DNA extraction from ferns for PCR-based analyses / E. L. Dempster [et al.] // Biotechniques. 1999. Vol. 27 (1). P. 66–68. DOI: 10.2144/99271bm13.
21. PICcalc: an online program to calculate polymorphic information content for molecular genetic studies / S. Nagy [et al.] // Biochem. Genet. 2012. Vol. 50. P. 670–672. DOI: 10.1007/s10528-012-9509-1.
22. Nei M. Molecular population genetics and evolution. Amsterdam: North-Holland, 1975. 278 p.
23. Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment // CABIOS. 1994. Vol. 10 (5). P. 569–570. DOI: 10.1093/bioinformatics/10.5.569.
24. Гордей Д. В., Морозов О. В., Терешкина Н. В. Вариабельность форм голубики узколистной по высоте и диаметру горизонтальной проекции кроны кустов, максимальной длине, окраске и опушению побегов в Белорусском Поозерье // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2 (222). С. 138–143.

#### References

1. Kurlovich T. V., Bosak V. N. *Golubika vysokoroslava v Belarusi* [Highbush blueberry in Belarus]. Minsk, Belaruskaya navuka Publ., 1998. 174 p. (In Russian).

2. Morozov O. V., Yakovlev A. P. Flowering and fruiting of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) during introduction in the conditions of Belarus. *Problemy lesovedeniya i lesovodstva* [Problems of forestry and forest management], 2007, no. 68, pp. 642–650 (In Russian).
3. Gordey D. V., Morozov O. V. The characteristics of *Vaccinium angustifolium* Ait. varieties of belarusian selection and conception of further selection improvement of species under cultivation in conditions of a developed riding peat bogs in Belarusian Poozerye. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2 (246), pp. 179–187 (In Russian).
4. On patents for plant varieties: law of the Republic of Belarus, 13.04.1995, no. 3725-XII. Available at: <https://www.ncip.by/upload/doc/2020/Sorta/1.pdf> (accessed 04.03.2024) (In Russian).
5. TG/137/5 Rev. Blueberry, 2019-06-14 + 2022-10-25. Available at: <https://www.upov.int/edocs/tgdocs/en/tg137.pdf> (accessed 04.03.2024).
6. Morozov O. V., Gordey D. V., Sautkin F. V., Buga S. V., Yarmolovich V. A. *Kul'tivirovaniye golubiki uzkolistnoy (Vaccinium angustifolium Ait.) v Belorusskom Poozer'ye* [Cultivation of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in the Belarusian Lakeland]. Minsk, BGTU Publ., 2016. 195 p. (In Russian).
7. Gordey D. V., Morozov O. V., Filanchuk L. P., Kosobutskaya O. N. The influence of complex mineral fertilizer on the growth and development of vegetative organs of lowbush blueberry (*Vaccinium angustifolium* Ait.) in young plantings when cultivated on depleted high-moor peatlands in the Belarusian Lakeland. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2011, no. 1: Forestry, pp. 79–82 (In Russian).
8. Powell W., Morgante M., Andre C., Hanafey M., Vogel J., Tingey S., Rafalski A. The comparison of RFLP, RAPD, AFLP and SSR (microsatellite) markers for germplasm analysis. *Molecular Breeding*, 1996, vol. 2, no. 3, pp. 225–238. DOI: <https://doi.org/10.1007/BF00564200>.
9. Rowland L. J., Mehra S., Dhanaraj A. L., Ogden E. L., Slovin J. P., Ehlenfeldt M. K. Development of EST-PCR Markers for DNA Fingerprinting and Genetic Relationship Studies in Blueberry (*Vaccinium*, section *Cyanococcus*). *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2003, vol. 128, no. 5, pp. 682–690. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.128.5.0682>.
10. Boches P. S., Rowland L. J., Bassil N. V. Microsatellite markers for *Vaccinium* from EST and genomic libraries. *Molecular Ecology Notes*, 2005, vol. 5, pp. 657–660. DOI: [10.1111/j.1471-8286.2005.01025.x](https://doi.org/10.1111/j.1471-8286.2005.01025.x).
11. Bidani A., Hummer K. E., Rowland L. J., Bassil N. V. Development of an efficient DNA test for genetic identity confirmation in blueberry. *Acta Hort.*, 2017, vol. 1180, pp. 363–368. DOI: [10.17660/ActaHortic.2017.1180.49](https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2017.1180.49).
12. Bassil N., Bidani A., Nyberg A., Hummer K., Rowland L. J. Microsatellite markers confirm identity of blueberry (*Vaccinium* spp.) plants in the USDA-ARS National Clonal Germplasm Repository collection. *Genetic Resources and Crop Evolution*, 2020, vol. 67, pp. 393–409. DOI: <https://doi.org/10.1007/s10722-019-00873-8>.
13. Bell D. J., Rowland L. J., Polashock J. J., Drummond F. A. Suitability of EST-PCR markers developed in highbush blueberry for genetic fingerprinting and relationship studies in lowbush blueberry and related species. *Journal of the American Society for Horticultural Science*, 2008, vol. 133(5), pp. 701–707. DOI: <https://doi.org/10.21273/JASHS.133.5.701>.
14. Rowland L. J., Ogden E. L., Ehlenfeldt M. K. EST-PCR markers developed for highbush blueberry are also useful for genetic fingerprinting and relationship studies in rabbiteye blueberry. *Sci. Hort.*, 2010, vol. 125, pp. 779–784.
15. UPOV/INF/17/2, September 21, 2021. Available at: [https://www.upov.int/edocs/infdocs/en/upov\\_inf\\_17.pdf](https://www.upov.int/edocs/infdocs/en/upov_inf_17.pdf) (accessed 15.03.2024).
16. About seed production: the Federal Law, 30.01.2021, no. 454-FZ. Available at: <https://www.szrf.ru/api/issues/image?valid=1002022001010#zoom=100&page=114> (accessed 04.03.2024) (In Russian).
17. Altukhov Yu. P., Salmenkova E. A. DNA polymorphism in population genetics. *Genetika* [Genetics], 2002, vol. 38, no. 9, pp. 1173–1195 (In Russian).
18. Goncharova L. V., Spiridovich E. V., Baranov O. Yu., Makhovik I. V. The use of molecular genetic methods to solve the problems of growing high bush blueberries. *Golubikovodstvo v Belarusi: itogi i perspektivy* [Blueberry growing in Belarus: results and prospects]. Minsk, 2012, pp. 18–23 (In Russian).
19. Filipenya V. L., Yukhimuk A. N., Kurlovich T. V., Chizhik O. V. Genotypic and phenotypic verification of plant collections to create a genetic bank and gene pool of introduced varieties of high bush blueberry (*Vaccinium corymbosum* L.) using the method of microclonal propagation. *Sadovodstvo i vinogradarstvo* [Horticulture and viticulture], 2018, no. 2, pp. 54–57 (In Russian).
20. Dempster E. L., Pryor K. V., Francis D., Young J. E., Rogers H. J. Rapid DNA extraction from ferns for PCR-based analyses. *Biotechniques*, 1999, vol. 27, no. 1, pp. 66–68. DOI: [10.2144/99271bm13](https://doi.org/10.2144/99271bm13).
21. Nagy S., Poczai P., Cerna'k I., Mousapour G. A., Hegedus G., Taller J. PICcalc: an online program to calculate polymorphic information content for molecular genetic studies. *Biochem. Genet.*, 2012, vol. 50, pp. 670–672. DOI: [10.1007/s10528-012-9509-1](https://doi.org/10.1007/s10528-012-9509-1).

22. Nei M. Molecular population genetics and evolution. Amsterdam, North-Holland Publ., 1975. 278 p.

23. Van de Peer Y., De Wachter R. TREECON for Windows: a software package for the construction and drawing of evolutionary trees for the Microsoft Windows environment. *Computer applications in the biosciences*, 1994, vol. 10, no. 5, pp. 569–570. DOI: 10.1093/bioinformatics/10.5.569.

24. Gordey D. V., Morozov O. V., Tereshkina N. V. Variability of the forms of sweet lowbush blueberry on height and diameter of the horizontal projection of the bush crown, maximum length, color and glabrous of stems in the Belarusian Lakeland. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2 (222), pp. 138–143 (In Russian).

#### Информация об авторах

**Юхимук Андрей Николаевич** – научный сотрудник отдела биохимии и биотехнологии растений. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2в, Республика Беларусь). E-mail: yukhimuk@cbg.org.by

**Гордей Дмитрий Васильевич** – кандидат биологических наук, старший преподаватель кафедры туризма, природопользования и охотоведения. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gordey@belstu.by

**Решетников Владимир Николаевич** – академик, профессор, заведующий отделом биохимии и биотехнологии растений. Центральный ботанический сад Национальной академии наук Беларуси (220012, г. Минск, ул. Сурганова, 2в, Республика Беларусь). E-mail: reshetnikov@cbg.org.by

#### Information about the authors

**Yukhimuk Andrei Nikolaevich** – Researcher, the Department of the Biochemistry and Biotechnology of Plants. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: yukhimuk@cbg.org.by

**Gordey Dmitriy Vasil'yevich** – PhD (Biology), Senior Lecturer, the Department of Tourism, Nature Management and Game Management. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gordey@belstu.by

**Reshetnikov Vladimir Nikolaevich** – Academician, Professor, Head of the Department of the Biochemistry and Biotechnology of Plants. Central Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Belarus (2v, Surganova str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: reshetnikov@cbg.org.by

Поступила 15.03.2024

# ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ

## TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS

---

УДК 630\*363.7

**А. В. Вавилов**

Белорусский государственный технологический университет

### О ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАБОТАХ В СВЯЗИ С ПРИМЕНЕНИЕМ ВЫСОКОПРОИЗВОДИТЕЛЬНОЙ ЛЕСОЗАГОТОВИТЕЛЬНОЙ ТЕХНИКИ

За последние годы в Республике Беларусь существенно изменилась технология лесозаготовок. На смену бензопиле и трелевочному трактору пришла высокопроизводительная лесозаготовительная техника в виде харвестеров и форвардеров.

Внедрение современной техники в лесозаготовительный процесс позволило резко увеличить объемы лесозаготовок. В то же время обозначились проблемы в лесу, которые необходимо решать: это образование глубокой колеи на лесных грунтовых дорогах от прохождения груженых форвардеров, что затрудняет проезжаемость по ним; появление куч неубранных лесосечных отходов, которые являются благоприятной средой для размножения вредителей леса. В больших объемах лесосечные отходы уничтожаются, однако известны технологии и оборудование, с помощью которого можно производить полезные востребованные продукты, в частности топливо.

Топливом является дробленка, получаемая из лесосечных отходов путем измельчения их на рубильных машинах. Такая дробленка уже сегодня подается в котельные и эффективно сжигается без предварительной подсушки. Для этого в Республике Беларусь выпускаются специальные котельные, которые не лимитируют процент коры и зеленой массы: хвой и листья. Дробленка может быть подвергнута подсушке до влажности 10–12% и измельчению до размеров частиц 1–2 мм. В результате на грануляторе получают древесные гранулы, или пеллеты. Пеллеты высококалорийное и экологически чистое топливо, востребованное не только на внутреннем, но и на внешних рынках.

**Ключевые слова:** дробленка, харвестеры, форвардеры, механизация, дополнительные работы, лесосека, глубокая колея, ремонт, пеллеты, инфраструктура.

**Для цитирования:** Вавилов А. В. О дополнительных работах в связи с применением высокопроизводительной лесозаготовительной техники // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 152–156.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-18.

**A. V. Vavilov**

Belarusian State Technological University

### ABOUT ADDITIONAL WORK IN CONNECTION WITH THE APPLICATION OF HIGH-PERFORMANCE FORESTRY EQUIPMENT

In recent years, logging technology has changed significantly in the Republic of Belarus. The chainsaw and skidder have been replaced by high-performance forestry equipment, such as harvesters and forwarders.

The introduction of modern technology into the logging process made it possible to drastically increase the production of logging process. At the same time, some problems have been revealed that need to be solved: deep ruts on forest roads forming because of the passage of loaded forwarders, which makes these roads difficult to drive along them; heaps of uncollected logging waste being a favorable breeding ground for forest pests. Large volumes of logging waste are destroyed nowadays; however, there are technologies and equipment that can be used to work this waste into useful, commercially demanded product, especially fuel.

A fuel of that kind is a crushed wood obtained from logging waste by grinding it on chippers. This material has already been supplied to boiler houses, and it can be effectively burned even without preliminary drying. For this purpose, special boiler house equipment is produced in the Republic of Belarus. It does not limit the percentage of bark and green mass (pine needles and foliage). The crushed pulp can be dried to a moisture content of 10–12% and crushed to a particle of 1–2 mm size. As a result, the granulator produces wood pellets. It is a high-calorie and environmentally friendly fuel, that is in demand not only in the domestic but also in a foreign market.

**Keywords:** crushing, harvesters, forwarders, mechanization, additional work, cutting area, deep gauge, repairer, pellets, infrastructure.

**For citation:** Vavilov A. V. About additional work in connection with the application of high-performance forestry equipment. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 152–156 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-18.

**Введение.** В статье рассмотрены проблемы, возникшие с резким увеличением объемов лесозаготовок в связи с применением высокопроизводительной техники: харвестеров и форвардеров. Даются предложения по механизации работ для устранения глубокой колеи на лесных лесовозных дорогах, образуемой в результате перемещения груженых сортиментами форвардеров. Предлагается собранные на лесосеке в кучи древесные отходы переработать в щепу и подавать ее в качестве топлива на многочисленные котельные или подвергнуть более глубокой переработке на pelletных заводах и использовать полученные пеллеты на внутреннем рынке, создав для этого необходимую инфраструктуру.

**Основная часть.** Применение высокопроизводительной лесозаготовительной техники привело к существенному изменению сложившейся технологии лесозаготовок [1–5], увеличению их объемов, и вместе с тем возник ряд проблем, требующих решения. В частности, на лесных дорогах стала образовываться глубокая колея из-за прохождения груженых лесом форвардеров, что создало трудности с проезжаемостью малотоннажных и легковых машин.

Для устранения глубокой колеи предлагается задействовать ремонтер – базовую машину, спереди которой устанавливается 2-отвалный стреловидный рабочий орган, перемещающий грунт из междукорейного пространства в левую и правую колеи, засыпая их. С тыльной части ремонтера устанавливается каток, который уплотняет отсыпанный в колею грунт.

Также для устранения глубокой колеи можно использовать кусторез (рис. 1).

Кусторезы предназначаются для расчистки объектов мелиорации от кустарника и мелкокося. Их используют при прокладке трассы дороги, а также при устройстве просек в лесных массивах, освоении новых земель и мелиоративных работах.

Кусторез является передним навесным оборудованием гусеничного трактора. Оборудование

кустореза состоит из универсальной рамы, рабочего органа, ограждения трактора (рис. 1).

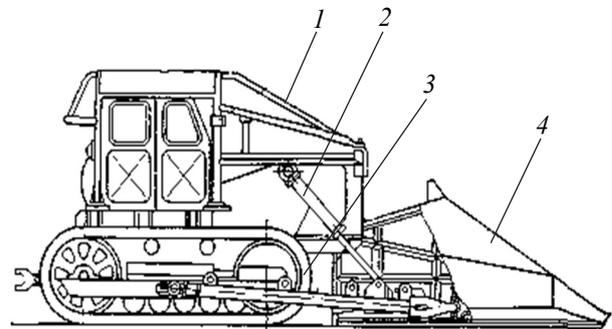


Рис. 1. Кусторез:

- 1 – ограждение трактора;
- 2 – гидроцилиндр подъема рабочего органа;
- 3 – универсальная рама; 4 – рабочий орган

Такой кусторез, проходя по грунтовой дороге с глубокой колеей, рабочим органом срезает грунт в междукорейном пространстве и перемещает его в стороны, засыпая колею.

Увеличение объемов лесозаготовок привело к увеличению количества лесосек и, соответственно, росту объема лесосечных отходов, которые складывают в кучи для хранения. При этом создается благоприятная среда для размножения вредителей леса, а их большое количество приводит к усыханию древостоев на больших площадях. Предлагается перерабатывать лесосечные отходы в топливную щепу с помощью комплекта машин, включающего отечественную мобильную рубильную машину (рис. 2) типа МР-25 (табл. 1), которая обеспечивает захват отходов из кучи, их подачу к измельчителю и далее в собственный бункер-перегрузатель. При заполнении такого бункера щепы из него перегружается в большой съемный контейнер к топливовозу (рис. 3), оборудованному системой «мультилифт» (табл. 2). Топливозов доставляет щепу на котельную или к заводу по производству пеллет [6, 7].



Рис. 2. Мобильная рубильная машина МР-25

Таблица 1

### Техническая характеристика рубильной машины МР-25

Энергетическое средство	Трактор лесохозяйственный «Беларус» Л1221
Дробилка	Барabanная многорезцовая, с автоматическим реверсом подающего ролика и конвейерной ленты
Модель	HEM 360 Z (фирма JENZ)
Производительность, м <sup>3</sup> /ч	25–60
Размеры загрузочного окна, мм	790×360
Объем бункера-накопителя, м <sup>3</sup>	10
Эксплуатационная масса, кг	17 300
Габаритные размеры, мм:	
длина	11 000
ширина	2420
высота	3850
Шасси	Полуприцеп многофункциональный, одноосный 4-колесный с гидроуправляемым дышлом
Колея, мм	1935
Дорожный просвет, мм	320
Манипулятор	ГМ-42Т/ГМ-50
Грузовой момент манипулятора, кНм	31/45
Вылет стрелы манипулятора, м	6,5/7,2



Рис. 3. Механизм погрузочно-разгрузочный для погрузки и разгрузки сменных кузовов

Таблица 2

### Технические характеристики топливозовозов для погрузки и разгрузки сменных кузовов

Показатели, технические характеристики МПР	Марки		
	МПР-1	МПР-2	МПР-3
Грузоподъемность, кг	14 000	18 000	20 000
Время установки грузовой платформы, с	200	200	200
Время подъема/опускания	200	200	200
Максимальный угол подъема платформы, град	45	45	45
Габаритная длина, мм	5100	5700	6250
Габаритная ширина, мм	1400	1400	1500
Габаритная высота, мм	2200	2200	2200

В связи с санкциями востребованные за рубежом пеллеты в больших количествах оказались нереализованными, а недавно построенные в Беларуси пеллетные заводы – незагруженными. Предлагается создать инфраструктуру для потребления пеллет в качестве топлива на внутреннем рынке [8–13]. Для этого необходимо оснастить потребителей древесного топлива специальными котлами (рис. 4–5).



Рис. 4. Печь на пеллетах

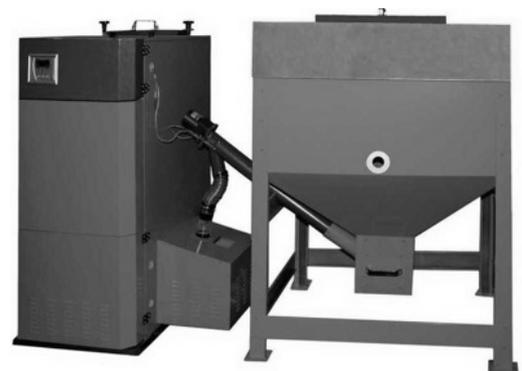


Рис. 5. Общий вид котла «Альфа-Калор» на пеллетах

Предприятие «Альфа-Калор» (Республика Беларусь) реализует котлы твердотопливные на древесных пеллетах КОП-23/КОП-58 «Альфа-Калор».

Система отопления пеллетами гарантирует полную пожаробезопасность и высокий коэффициент полезного действия (не менее 90%).

Таблица 3

## Расход топлива энергетическим оборудованием ООО «Бел-Изолит-Сервис», кг/ч

Мощность, МВт	0,5	0,75	1,0	1,5	2,0	3,0	5,0	6,0	8,0	10,0
Опилки, щепа, $W = 50\%$	250	375	500	750	1000	1500	2500	3000	4000	5000
Пеллеты, брикеты, $W = 10\%$	120	185	245	370	490	735	1230	1475	1970	2460
Кора, $W = 60\%$	340	510	685	1025	1370	2050	3420	4100	5470	6840
Торфобрикеты, $W = 15\%$	130	195	260	365	515	775	1290	1550	2065	2580
Торф фрезерный, $W = 50\%$	225	340	450	675	900	1350	2260	2700	3600	4500

ООО «Бел-Изолит-Сервис» представляет большую гамму энергетического оборудования (табл. 3), которое называют «всеядным», так как работает на различных видах топлива (опилки, щепа, пеллеты, брикеты, кора, торфобрикеты, торф фрезерный влажностью до 65% и зольностью до 25%).

Создаваемая инфраструктура должна предусматривать доставку на склад по заявке потребителя пеллет с помощью специального большегрузного автомобиля. Пеллеты должны размещаться в сухом помещении вблизи от котельной [6].

#### Заключение.

1. Внедрение в лесной комплекс Беларуси высокопроизводительной лесозаготовительной техники породило необходимость выполнения ряда работ, требующих механизации.

2. Для ликвидации коллейности на лесных дорогах, образуемой после прохода груженых

форвардеров, предлагается задействовать ремонтер, спереди которого устанавливается 2-отвальный стреловидный рабочий орган, а с тыльной стороны – каток.

3. Образующиеся в больших объемах на многочисленных лесосеках складываемые в кучи лесосечные отходы предлагается перерабатывать в дробленку (топливную щепу) с помощью комплекта машин, состоящего из мобильной рубильной машины, оборудованной собственным бункером-перегрузателем, и топливоза со съемными контейнерами, оборудованного системой «мультилифт».

4. Предлагается создать в Беларуси инфраструктуру для использования в качестве топлива пеллет на внутреннем рынке, включающую применение специальных пеллетных котлов, а также складов для пеллет и средств их доставки.

#### Список литературы

1. Матвейко А. П. Технология и оборудование лесозаготовительного производства. Минск: Техноперспектива, 2006. 448 с.
2. Таубер Б. А. Грейдерные механизмы. М.: Машиностроение, 1985. 267 с.
3. Хайновский В. В. Тенденции развития конструкций погрузочно-транспортных машин // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревообработ. пром-сть. 2001. Вып. IX. С. 37–42.
4. Тихонов А. Ф., Жуков А. В. Лесные машины. Минск: Выш. шк., 1984. 275 с.
5. Калинин Н. П., Писаренко А. И., Смирнов Н. А. Лесовосстановление на вырубках. М.: Лесная пром-сть, 1973. 326 с.
6. Вавилов А. В. Топливо из нетрадиционных энергоресурсов: монография. Минск: СтройМедиа-Проект, 2014. 89 с.
7. Вавилов А. В. Технологические аспекты и оборудование для получения энергии из биотоплива // Вестник БНТУ. 2004. № 1. С. 68–73.
8. Вавилов А. В. Необходим эффективный механизм топливообеспечения энергоустановок на биомассе // Энергоэффективность. 2005. № 3. С. 7.
9. Вавилов А. В. Производство топливной щепы на объектах Минскзеленстроя // Городское хозяйство. 2008. № 6. С. 15–16.
10. Вавилов А. В., Пашковский М. Н., Соколовский Ю. В. Современная технология и техника для производства топливной щепы // Лесопромышленник. 2008. № 8. С. 22–23.
11. Вавилов А. В. Технология производства топливной щепы и системы машин для их реализации // Строительные и дорожные машины. 2008. № 9. С. 20–23.
12. Вавилов А. В. Еще раз об эффективности использования местного древесного топлива // Энергоэффективность. 2008. № 4. С. 17–18.
13. Вавилов А. В. Дополнительные резервы топливной древесины и пути их использования в Беларуси // Энергоэффективность. 2009. № 5. С. 12–13.

#### References

1. Matveyko A. P. *Tekhnologiya i oborudovaniye lesozagotovitel'nogo proizvodstva* [Technology and equipment of logging production]. Minsk, Tekhnoperspektiva Publ., 2006. 448 p. (In Russian).

2. Tauber B. A. *Greydernyye mekhanizmy* [Grader mechanisms]. Moscow, Mashinostroyeniye Publ., 1985. 267 p. (In Russian).
3. Khaynovskiy V. V. Trends in the development of designs of loading and transport machines. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forestry and Woodworking Industry, 2001, issue IX, pp. 37–42 (In Russian).
4. Tikhonov A. F., Zhukov A. V. *Lesnyye mashiny* [Forestry machines]. Minsk, Vysheyschaya shkola Publ., 1984. 275 p. (In Russian).
5. Kalinichenko N. P., Pisarenko A. I., Smirnov N. A. *Lesovosstanovleniye na vyrubkakh* [Reforestation in felled areas]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1973. 326 p. (In Russian).
6. Vavilov A. V. *Toplivo iz netraditsionnykh energoresursov: monografiya* [Fuel from non-traditional energy resources: monograph]. Minsk, StroyMediaProyekt Publ., 2014. 89 p. (In Russian).
7. Vavilov A. V. Technological aspects and equipment for obtaining energy from biofuels. *Vestnik BNTU*. [Bulletin of BNTU], 2004, no. 1, pp. 68–73 (In Russian).
8. Vavilov A. V. An effective fuel supply mechanism for biomass power plants is needed. *Energoeffektivnost'* [Energy efficiency], 2005, no. 3, p. 7 (In Russian).
9. Vavilov A. V. Production of fuel chips at Minskzelenstroy facilities. *Gorodskoye khozyaystvo* [Municipal economy], 2008, no. 6, pp.15–16 (In Russian).
10. Vavilov A. V., Pashkovskiy M. N., Sokolovskiy Yu. V. Modern technology and equipment for the production of fuel chips. *Lesopromyshlennik* [Timber], 2008, no. 8, pp. 22–23 (In Russian).
11. Vavilov A. V. Technology for the production of fuel chips and systems of machines for their implementation. *Stroitel'nyye i dorozhnyye mashiny* [Construction and road machines], 2008, no. 9, pp. 20–23 (In Russian).
12. Vavilov A. V. Once again about the efficiency of using local wood fuel. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2008, no. 4, pp. 17–18 (In Russian).
13. Vavilov A. V. Additional reserves of fuel wood and ways of their use in Belarus. *Energoeffektivnost'* [Energy Efficiency], 2009, no. 5, pp.12–13 (In Russian).

#### Информация об авторе

**Вавилов Антон Владимирович** – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ftkcdm@bntu.by

#### Information about the author

**Vavilov Anton Vladimirovich** – DSc (Engineering), Professor, Professor, the Department of Logging Machinery Forest, Roads Timber Production Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ftkcdm@bntu.by

Поступила 01.11.2023

УДК 038.742.046.73

**О. К. Леонович, С. А. Дупанов**  
Белорусский государственный технологический университет  
**ИССЛЕДОВАНИЯ МОРЕНОГО ДУБА И ЕГО СВОЙСТВ  
ПРИ ДОБЫЧЕ И ПЕРЕРАБОТКЕ**

Мореный дуб – ценный невозполнимый природный ресурс. Мореный дуб по своей структуре, химическим, физико-механическим и видовым свойствам значительно отличается от древесины обычного дуба. В процессе тысячелетнего нахождения во влажной среде без доступа кислорода он преобразуется, проявляя изумительные видовые свойства и текстурные особенности поверхности при распиловке его на пиломатериалы. В зависимости от места залегания мореного дуба и продолжительности цикла нахождения в новой среде, содержащиеся в нем дубильные вещества реагируют с солями железа, придают экзотический вариативный окрас. Мягкая тональность цвета годичных слоев, особенно на тангенциальном срезе, создает изумительную картину, что в значительной степени способствует созданию эксклюзивных изделий из древесины мореного дуба.

В данной публикации проанализированы результаты исследований мореной древесины учеными различных стран мира и Республики Беларусь за последнее 100-летие, рассмотрены ведущие работы по добыче мореного дуба на предприятии ГОДО «Транс-Центр» в пойме реки Сож. Показаны результаты исследований, проведенные в Белорусском государственном технологическом университете по разработке методологии добычи, сушки и хранения мореной древесины, определению свойств мореного дуба. Рассмотрены методические материалы по добыче, сушке и хранению круглых сортиментов мореного дуба, установлена его возрастная и видовая дифференциация, а также методы защиты мореного дуба от биоповреждения.

**Ключевые слова:** мореный дуб, деградация, физико-химические свойства, прочность, сушка, консервирование.

**Для цитирования:** Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследования мореного дуба и его свойств при добыче и переработке // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 157–166.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-19.

**O. K. Leonovich, S. A. Dupanov**  
Belarusian State Technological University  
**RESEARCH OF BOG OAK AND ITS PROPERTIES DURING MINING  
AND PROCESSING**

Bog oak is a valuable irreplaceable natural resource. Bog oak in its structure, chemical, physical-mechanical and species properties differs significantly from ordinary oak wood. In the process of being in a humid environment for thousands of years without access to oxygen, it is transformed into, exhibiting amazing species properties and texture features of the surface when sawing it into lumber. Depending on the location of the bog oak and the duration of the cycle of being in a new environment, the tannins contained in it react with iron salts and give an exotic, variable color. The soft tonality of the color of the annual layers, especially on the tangential cut, creates an amazing picture, which greatly contributes to the creation of exclusive products from bog oak wood.

This publication analyzes the results of research on bog wood by scientists from around the world and the Republic of Belarus over the last 100 years, and examines the leading work on the extraction of bog oak at the Trans-Center enterprise in the floodplain of the Sozh river. The results of research conducted at the Belarusian State Technological University on the development of a methodology for the extraction, drying and storage of bog wood, and the determination of the properties of bog oak are shown. Methodological materials on the extraction, drying and storage of round assortments of bog oak are considered, the age and species differentiation of bog oak is determined, as well as methods for protecting bog oak from bio-damage.

**Keywords:** bog oak, degradation, physical and chemical properties, strength, drying, canning.

**For citation:** Leonovich O. K., Dupanov S. A. Research on bog oak and its properties during mining and processing. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 157–166 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-19.

**Введение.** Мореная древесина, ценный природный ресурс. На территории Республики Беларусь ориентировочный объем придонного залегающего составляет 25 000 м<sup>3</sup>. В настоящее время отрабатывается технология промышленной добычи данного природного ресурса на базе предприятия ГОДО «Транс-Центр». С учетом опыта данного предприятия и возможности добычи древесины с различными реологическими свойствами, в зависимости от возраста мореного дуба, можно сделать качественную оценку данного материала. Эти данные также актуальны для сохранения и консервации археологической древесины. Исследования в области свойств мореной и археологической древесины тесно связаны и не имеют достаточной теоретической базы для проведения консервационно-восстановительных работ, а также придания древесине качественных и потребительских характеристик. Этот процесс требует индивидуального подхода в связи с изменениями реологических свойств мореной и археологической древесины в зависимости от возраста и места залегания. В рамках изучения вопроса сохранения мореного дуба от деформаций при предварительной сушке и последующей биозащите от повреждения дереворазрушающими грибами в процессе переработки и хранения выявлены следующие закономерности:

1) цвет мореной древесины изменяется в зависимости от содержания оксида железа в среде залегания;

2) минеральный состав древесины зависит от времени залегания в безвоздушно-водной среде;

3) на физико-механические характеристики мореной, а также археологической древесины непосредственно влияет способ сушки [1–3].

Эти зависимости еще нуждаются в качественном анализе с целью создания классификации и разработки инструментария пооперационных работ после извлечения мореной древесины из ее среды обитания, а также для сохранения формы при удалении влаги и последующей биозащите от разрушения.

Научно-исследовательские работы по мореной древесине, которые существуют на сегодняшний день, можно использовать лишь частично, поскольку имеется большой диапазон свойств древесины, зависящих от нескольких переменных величин. Так, в предыдущих работах не учитывалась продолжительность сушки древесины мореного дуба, которая влияет на изменение предела насыщения клеточных стенок, не исследовалось состояние мореной древесины, добытой из водной среды или иловых отложений, не рассматривались характеристики пиломатериалов и их качество по возрастным и видовым показателям.

Основной задачей для проведения качественных научно-исследовательских работ является

получение образцов в необходимом количестве с нужными качественно-технологическими параметрами. Данное требование самое важное, так как работы, проведенные над одним или несколькими образцами с одного ствола мореного дерева, являются не объективными и узконаправленными, а подходят конкретно для данного ствола заданного возраста, места залегания и способа сушки. Эти переменные данные возможно исследовать только при достаточном количестве необходимых образцов, для того чтобы была наглядная зависимость в изменении реологических свойств мореной или аналогичного возрастного периода археологической древесины.

**Основная часть.** Основные свойства натуральной древесины по прочности и химическим свойствам исследовались учеными Уголевым Б. Н., Расевым А. И., Фенгелом Д., Венегером Г. [4, 5]. Исследования свойств мореного дуба велись отдельными учеными в узком диапазоне и касались в основном характеристик пиломатериалов из этой древесины [6].

Многочисленные работы посвящены исследованию проблем, связанных с переувлажнением мореной древесины, когда в первую очередь происходит потеря полисахаридного компонента. Разложение целлюлозы в переувлажненной древесине приводит к снижению относительной кристалличности, хотя ширина кристаллов, по-видимому, не изменяется [7]. Было обнаружено, что ксилан в дубовой древесине корабля «Ваза» деполимеризовался с образованием водорастворимых фрагментов [8, 9]. Сообщалось о потере карбоксильных групп, связанных с остатками глюконовой кислоты в гемицеллюлозах, а также о некоторой потере сложноэфирных связей в лигнин-углеводном комплексе (ЛУК) [7]. Дегградация лигнина протекает гораздо менее интенсивно по сравнению с углеводными компонентами, но включает некоторую потерю  $\beta$ -О-4 связей и дегградацию сиригильных фрагментов [7], а также незначительное окисление, которое, вероятно, происходит после раскопок или до потребления кислорода после захоронения или погружения в воду [9–11], но может указывать на кислородную фазу в истории образца [12]. Значительное увеличение фона флуоресценции в спектре комбинационного рассеяния света было связано с большей подвижностью структуры лигнина из-за разрушения связей ЛУК, а также с более высокой относительной долей лигнина в древесине [7]. Лигнин, извлеченный из переувлажненной древесины, характеризовали методом масс-спектрометрии прямого воздействия и сравнивали с лигнином, извлеченным из свежей древесины или [13]. Сделан вывод, что данный метод является перспективным для изучения дегградации лигнина в археологической древесине. Древесина

натурального мореного дуба, поднятая с водной среды или илистых отложений в поймах рек, имеет начальную влажность от 200 до 300% и выше. На поверхности такой древесины имеется ослабленный, а в отдельных случаях и деградированный слой различной толщины. Крайне высокая влажность внутри образца и высокая скорость высыхания ослабленной древесины на поверхности и способствуют появлению растягивающих напряжений, вызывающих мгновенное образование трещин поперечного и продольного направлений. Для исследования скорости продвижения влаги в натуральной мореной древесине производился отбор необходимого количества образцов непосредственно во время подъема из водной среды и в последующие периоды сушки. Возникающие деформации и трещины определялись визуально.

Интерес представляют исследования по изменению физических параметров при деградации мореной древесины. Увеличение пористости разложившейся древесины вследствие микробиологического разрушения приводит к более высокому максимальному содержанию воды (МСВ) и снижению остаточной базовой плотности (ОБП) по сравнению со свежей древесиной той же породы. МСВ (также называемое влажностью или максимальным содержанием влаги) – это отношение массы сухой древесины к общему весу влажной древесины, выраженное в процентах. ОБП – это отношение плотности археологического образца древесины по сравнению с типичным значением для образца свежей древесины той же породы, также выраженное в процентах. Переувлажненная древесина считается деградированной, когда МСВ превышает 150% (в зависимости от породы), и сильно деградированной, когда МСВ превышает 400%, а ОБП составляет менее 40% [14]. Были некоторые споры относительно наилучшего метода определения МСВ, например, А. Zisi и J. K. Dix отмечают, что некоторые работники выступали за вакуумную обработку древесины давлением, чтобы гарантировать удаление всех пузырьков воздуха, но это сопряжено с риском повреждения древесины. Предварительные исследования показали, что в вакуумной обработке нет необходимости, однако переувлажненная древесина должна храниться полностью в воде и погружаться в водонепроницаемые контейнеры перед любыми консервационными мероприятиями, измерения МСВ должны проводиться в течение нескольких дней после отбора проб [15]. Изменения плотности древесины в какой-то мере определяют степень ее разрушения при сушке из переувлажненного состояния, а зная степень разрушения древесины, несложно выбрать наиболее подходящий метод консервации. Вес затопленной древесины обычно легко определяется,

но измерение объема не является простым, если только объекты не имеют правильной геометрической формы. В других случаях прибегают к пикнометрическим методам или методам выталкивания [16]. Несмотря на то, что Р. Jensen, D. J. Gregory использовали в качестве показателя степень разложения древесины, было обнаружено отсутствие корреляции между МСВ и содержанием холоцеллюлозы, несмотря на наличие более четкой взаимосвязи между соотношением холоцеллюлоза / лигнин, хотя и со значительным разбросом [17]. Вода в переувлажненной древесине находится в различных средах: в макропорах древесины или в клеточных стенках, и для учета этого может потребоваться коррекция плотности. Часто можно обнаружить, что деревянные изделия демонстрируют градиенты деградации между поверхностью и внутренней частью, верхней и нижней областями или между сердцевинной и заболонью. Следовательно, средние значения не настолько информативны, чтобы использовать их при определении степени разложения всего образца и соответствующего метода консервации.

Для сохранения археологических находок предлагаются различные способы и методы защиты от капиллярной пропитки до пропитки под давлением, консервирования, химической защиты, модификации и др. Характер защиты переувлажненной мореной древесины значительно различается в зависимости от породы, аномалий роста, степени разложения, проницаемости или истории использования. Следовательно, невозможно применить одну универсальную обработку ко всем деревянным предметам. На сегодняшний день для уплотнения и стабилизации древесины используются различные методы и химикаты, а также множество видов обработки (например, наполнение, пропитка, полимеризация) и различные методы сушки (медленная сушка на воздухе, сублимационная сушка, сушка полярным растворителем) [18].

Назначение уплотняющего средства – предотвратить разрушение обработанной древесины во время консервации и сушки и обеспечить достаточную структурную целостность древесины, чтобы она могла выдерживать манипуляции и демонстрацию. В ранних попытках сохранить переувлажненную древесину использовались растворители, масла или воски, но они не смогли обеспечить достаточную поддержку разрушенным деревянным предметам [19]. Исторические химические методы включают обработку квасцами [20] и более поздние обработки полиэтиленгликолями (ПЭГ) и сахарами [21]. С середины 1800-х до 1950-х гг. многие заболоченные находки (особенно в Скандинавии) обрабатывались алюмокалиевыми квасцами ( $KAl(SO_4)_2 \cdot 12H_2O$ ).

Это подтверждают артефакты Осебергского погребения, датированного 834 г. н. э., раскопанные в 1904 г. [22]. Со временем обнаружились серьезные проблемы с сохранением из-за присутствия серной кислоты, которая сильно разрушала древесину. К большому счастью, древесина корабля «Ваза» не подвергалась такой обработке. Обработка квасцами включала замачивание деревянных изделий в концентрированных растворах квасцов при температуре 90°C на срок до 36 ч [23]. В результате у крупных деревянных предметов появилось 2 зоны: твердая внешняя, богатая квасцами, и более мягкая внутренняя, содержащая небольшое количество квасцов. Древесина артефактов на данный момент имеет высокую кислотность (рН 1–2,5), и в ней отсутствует углеводный компонент, а лигнин сильно окислен. Помимо квасцов присутствуют и другие неорганические компоненты, среди которых железо, по предположениям оказывающее каталитическое действие на процесс разложения [24] (но в этом еще нет уверенности). Например, во время реконструкции найденных в Осеберге предметов было обнаружено, что для укрепления салазок использовался железный прут, а на других предметах сохранились остатки оригинальных железных гвоздей. Другие неорганические компоненты включают цинк и ртуть, образующиеся при обработке деревянных предметов в цинковых контейнерах, содержащих в качестве биоцида раствор хлорида ртути. Многие предметы, обработанные квасцами, впоследствии были пропитаны льняным маслом путем погружения либо чистки щеткой до полного насыщения. Затем реконструированные предметы были покрыты матовым лаком, чтобы убрать блеск, вызванный обработкой льняным маслом. В 1950-х гг. активно использовалось покрытие на основе эпоксидной смолы. Область, пропитанная льняным маслом, обеспечивает единственную оставшуюся структурную целостность для многих находок и, по-видимому, ограничивает диффузию сульфата в обработанные участки [25]. Хотя глицерин не использовался для обработки осебергских находок, после 1910 г. его часто добавляли в раствор квасцов, а это означает, что обработанные таким образом предметы теперь чрезвычайно чувствительны к относительной влажности окружающей среды. Зоны, обработанные квасцами на объектах Осеберга, показывают значения рН от 1 до 4,5, при этом источником кислотности являются квасцы. Если в процессе пропитки нагреть раствор квасцов до 90°C, то рН раствора снизится с 3,5 до 2 из-за выпадения в осадок alunита ( $KAl_3(SO_4)_2(OH)_6$ ), что происходит только в нагретых растворах. В результате этой реакции образуются избыточные сульфат-ионы, которые проникают в структуру древесины [22]. Использование квасцов являлось

стандартным методом обработки археологической древесины в Датском национальном музее в Копенгагене в течение столетия [26]. Лодка Hjortspring обработана смесью квасцов и глицерина в 1920-х г., но гигроскопические свойства этой смеси вызвали проблемы с устойчивостью, и между 1966 и 1979 г. она была повторно покрыта раствором ПЭГ. Квасцы также использовались для обработки римского корабля из ратуши графства, который найден в Лондоне в 1910 г., но сейчас от этого артефакта сохранилось очень мало.

В настоящее время ПЭГ является наиболее распространенным консервантом. ПЭГ – это линейные полиэфиры с концевыми гидроксильными группами, свободно растворимые в воде или спиртах и в зависимости от концентрации используемые в широком диапазоне молекулярных масс от 300–600 (жидкости комнатной температуры) через 1000–1500 (полужидкости) до 3250–6000 (воскоподобные вещества) [27–31].

Особое значение авторы уделяли определению возрастных и качественных характеристик мореной древесины, а также классификационному подходу к определению качества древесины и методов сохранения от добычи древесины до ее переработки в изделия. В своих работах на скорость продвижения жидкости к поверхности авторы считают необходимым обращать внимание на химический состав добытой древесины и его влияние на скорость продвижения жидкости к поверхности [32, 33]. Также ими определено пропорциональное увеличение содержания химических элементов в мореной древесине в зависимости от места и периода залегания.

Предложено использовать спектральный анализ для определения возраста находок [34, 35]. Проблемы, возникающие в процессе сушки мореной древесины, обсуждались в работах авторов Дупанова С. А. и Леоновича О. К., однако методического решения найдено не было. Известна пропитка сырых пиломатериалов в гидрофильных жидкостях, которая меняет цвет древесины и снижает физико-механические свойства. Установлено, что при защите археологической древесины фенольными смолами с этиленгликолем, проводимой в музее «Берестье», она меняет цвет, структуру и выделяет вредные вещества в атмосферу [36, 37]. Модификация не рекомендуется для защиты натурального мореного дуба.

В. Курдюмов предлагал для снижения влажности круглых лесоматериалов от 30–70, до 10–20% использовать паровакуумную сушку [38].

Направления защиты археологической древесины натурального мореного дуба различных периодов роста впервые были рассмотрены в работах [39–44], авторы которых предлагают метод консервации мореной древесины, рассматривают классификационный подход к оценке

качественных характеристик натурального мореного дуба. Подтверждение результатов исследований, касающихся определения возраста мореной древесины, проводили по радиоуглеродному анализу [45]. Учитывая сложности отбора образцов, особенно у археологической древесины, предложено исследования реологических свойств мореной и археологической древесины дуба вести по методике ЦНИИСК им В. А. Кучеренко на малых образцах – 10×10×150 мм [46]. В последних работах авторов [47–49] рассмотрены проблемы сохранения археологических объектов из натурального мореного дуба и сосны, описан методологический подход к бездеформативной сушке и защите мореной древесины и археологических находок из нее.

В результате проведенных исследований авторы добились следующих результатов: на основании анализа научных и практических результатов исследований в мировой практике и своих научно-исследовательских работ установлена закономерность изменения процентного содержания химических элементов в структуре мореного дуба в зависимости от возраста. Особенно заметно изменение процентного содержания железа. Так, в возрасте 1000 лет его содержание 0,58%, в 1500 лет – 2,07%, в 2000 лет – 5,04%, в 3000 лет – 11,46%, в 4000 лет – 16,28%. Предложено использовать анализ спектроскопии как альтернативу радиоуглеродному анализу. Рассмотрен классификационный подход к анализу мореной древесины, многоступенчатая бездеформативная сушка от стадии заготовки до готового изделия, методология двухступенчатой консервации и гидрофобизации мореной древесины и археологических находок из нее.

Мореный дуб является ценным и невосполнимым природным ресурсом, который за период залегания в безвоздушно-водной среде проходит ряд деформационных изменений, а также подвержен обогащению минеральными соединениями, которые содержатся в месте залегания. Химический состав мореной древесины аналогичен химическому составу места залегания. Химические вещества из окружающей среды места залегания мореной древесины под действием диффузионных сил проникают в нее и увеличивают свое содержание в процессе хранения. Максимальный

процент замещения органических соединений обнаружен в мореной древесине возрастом 6650 лет и составляет 30%.

Археологические находки из древесины мореного дуба отличаются более высокой степенью деградации структурных древесных соединений, так как они зачастую проходили несколько стадий сушки – вымачивания за цикл эксплуатации данных находок. Неравномерность увлажненности и наличие дефектов эксплуатации приводят к усложнению процессов сушки и консервации.

Натуральный мореный дуб и находки из него являются ценным природным ресурсом Республики Беларусь и требуют особого внимания для увеличения делового выхода мореной древесины и сохранению культурно-исторического наследия нашей страны.

**Заключение.** Приведенные данные могут быть использованы при разработке методики сушки и защиты, консервации археологических объектов такого же возрастного периода залегания. Выявленные зависимости в рамках выполнения диссертации «Исследование реологических свойств натурального мореного дуба и технологии его эффективного использования» могут быть использованы в нескольких направлениях, а именно:

- 1) для создания классификации древесины мореного дуба, оценки степени деградации и утраты потребительских свойств;
- 2) для расчета и нормирования выхода деловой древесины натурального мореного дуба;
- 3) для оценки возраста мореной древесины в зависимости от ее цвета и минерального состава места залегания по методу, предложенному в статье [44] (это может быть альтернативой использованию радиоуглеродного анализа [45]), а также для определения возраста археологических находок из древесины дуба;
- 4) для разработки методологии сохранения и консервации мореной и археологической древесины и способов глубокой пропитки антисептическими средствами древесины мореного дуба различных периодов залегания и состояния реологических свойств древесины;
- 5) для получения качественных пиломатериалов и изделий, при использовании методики бездеформативной сушки массивной мореной древесины.

### Список литературы

1. Леонович О. К., Дупанов С. А. Определение качества натурального мореного дуба в зависимости от различных физических, возрастных и видовых характеристик // Лес – 2023: тез. докл. XXII междунар. науч.-техн. интернет-конф. 1–30 мая 2023 г. Брянск, 2023. URL: [http://science-bsea.bgita.ru/2023/les\\_2023/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm) (дата обращения: 28.05.2023).
2. Дупанов С. А., Леонович О. К. Реологические свойства мореного дуба по поперечному срезу ствола // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 236.

3. Дупанов С. А., Леонович О. К. Методология бездеформативной сушки и консервации археологической древесины // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 244–246.*
4. Фенгел Д., Венегер Г. *Древесина (химия, ультраструктура, реакция). М.: Лесная пром-сть, 1988. 512 с.*
5. Ванин С. И. О физико-механических свойствах древесины мореного дуба. Л., 1940. Вып. 5–6. С. 63–79.
6. Уголев Б. Н. *Древесиноведение и лесное товароведение. М.: МГУЛ, 2007. 351 с.*
7. Even visually intact cell walls in waterlogged archaeological wood are chemically degraded and mechanically brittle: a 170-year-old case. Old shipwreck / L. Khan [et al.] // *Molecules*. 2020. Vol. 25. P. 1113.
8. Almkvist G., Persson I. Degradation of Polyethylene Glycol and Hemicellulose in the Vasa // *Holzforschung*. 2008. No. 62. P. 64–70.
9. Lignin Distribution in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst Degraded by Erosion Bacteria / N. B. Pedersen [et al.] // *Holzforschung*. 2014. No. 68. P. 791–798.
10. Pedersen N. B., Gierlinger N., Thygesen L. G. Bacterial and Abiotic Decay in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Studied by Confocal Raman Imaging and ATR-FTIR Spectroscopy // *Holzforschung*. 2015. No. 69. P. 103–112.
11. Characterization of Waterlogged Wood by NMR and GPC Techniques / A. Salanti [et al.] // *Microchem. J.* 2010. No. 95. P. 345–352.
12. Deterioration of the Hanson Logboat: Chemical and Imaging Assessment with Removal of Polyethylene Glycol Conserving Agent / A. P. Pinder [et al.] // *Sci. Rep.* 2017. No. 7. P. 13697.
13. Analysis of Lignin from Archaeological Waterlogged Wood by Direct Exposure Mass Spectrometry (DE-MS) and PCA Evaluation of Mass Spectral Data / F. Modugno [et al.] // *Microchem. J.* 2008. No. 88. P. 186–193.
14. Chemical Characterisation of Wood of Roman Ships Brought to Light in the Recently Discovered Ancient Harbour of Pisa (Tuscany, Italy) / F. Bettazzi [et al.] // *Holzforschung*. 2003. No. 57. P. 373–376.
15. Zisi A., Dix J. K. Simulating Mass Loss of Decaying Waterlogged Wood: A Technique for Studying Ultrasound Propagation Velocity in Waterlogged Archaeological Wood // *J. Cult. Herit.* 2018. No. 33. P. 39–47.
16. Macchioni N., Pecoraro E., Pizzo B. The Measurement of Maximum Water Content (MWC) on Waterlogged Archaeological Wood: A Comparison between Three Different Methodologies // *J. Cult. Herit.* 2018. No. 30. P. 51–56.
17. Jensen P., Gregory D. J. Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for Their Determination // *J. Archaeol. Sci.* 2006. No. 33. P. 551–559.
18. Florian M.-L. E. Scope and History of Archaeological Wood // *Archaeological Wood: Advances in Chemistry*. Washington, DC, USA, 1989. Vol. 225. P. 3–32.
19. Navigating Conservation Strategies: Linking Material Research on Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection to Conservation Decisions / S. Braovac [et al.] // *Herit. Sci.* 2018. No. 6. P. 77.
20. Braovac S., Kutzke H. The Presence of Sulfuric Acid in Alum-Conserved Wood-Origin and Consequences // *J. Cult. Herit.* 2012. No. 13. P. 203–208.
21. Morgós A., Imazu S., Ito K. Sugar Conservation of Waterlogged Archaeological Finds in the Last 30 Years // *Proceedings of the Conservation and Digitalization Conference*. Gdańsk, Poland, 19–22 May 2015. Gdansk, 2015. P. 15–20.
22. Chemical Characterisation of the Whole Plant Cell Wall of Archaeological Wood / L. Zoia [et al.] // *An Integrated Approach. Anal. Bioanal. Chem.* 2017. No. 409. P. 4233–4245.
23. New Insights into the Degradation Processes and Influence of the Conservation Treatment in Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection / C. M. A. McQueen [et al.] // *Microchem. J.* 2017. No. 132. P. 119–129.
24. McQueen C. M. A., Tamburini D., Braovac S. Identification of Inorganic Compounds in Composite Alum-Treated Wooden Artefacts from the Oseberg Collection // *Sci. Rep.* 2018. No. 8. P. 2901.
25. Protective Effect of Linseed Oil Varnish on Archaeological Wood Treated with Alum / J. J. Łucejko [et al.] // *Microchem. J.* 2018. No. 139. P. 50–61.
26. Waterlogged Archaeological Wood-Chemical Changes by Conservation and Degradation / M. Christensen [et al.] // *J. Raman Spectrosc.* 2006. No. 37. P. 1171–1178.
27. Grattan D.W. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood // *Stud. Conserv.* 1982. No. 27. P. 124–136.
28. Hocker E., Almkvist G., Sahlstedt M. The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator's Perspective // *J. Cult. Herit.* 2012. No. 13. P. 175–182.

29. Hoffmann P. On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG. II. Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers // *Stud. Conserv.* 1986. No. 31. P. 103–113.
30. Jensen P., Jensen J. B. Dynamic Model for Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wooden Artefacts // *J. Cult Herit.* 2006. No. 7. P. 156–165.
31. Purdy B. A. *Wet Site Archaeology*. Boca Raton, FL, USA: CRC Press, 2018. 351 p.
32. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование зольных остатков мореного дуба различных возрастных периодов залегания в поймах рек // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. докл. 71-й науч.-техн. конф., Минск, 20–25 апр. 2020 г. Минск, 2023*. С. 137–138.
33. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование физико-химических свойств натурального мореного дуба, используемого для производства эксклюзивных изделий и мебели // *Лес – 2020: тез. докл. XIX Междунар. науч.-техн. интернет-конф., 1–30 мая 2020 г. Брянск, 2020*. URL: [http://science-bsea.bgita.ru/2020/les\\_2020/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2020/les_2020/leonovich_komp.htm) (дата обращения: 28.05.2023).
34. Дупанов С. А., Леонович О. К. Исследование физико-химических и прочностных свойств мореного дуба различных возрастных групп для изготовления изделий // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 85-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 1–13 февр. 2021 г. Минск, 2021*. С. 144–147.
35. Леонович О. К., Дупанов С. А. Исследование химических и структурных свойств натурального мореного дуба методом сканирующей микроскопии // *Труды БГТУ. Сер. 1. Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2021. № 2 (240)*. С. 150–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-240-20-150-155.
36. Леонович О. К., Дупанов С. А. Перспективные направления переработки натурального мореного дуба // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: тез. 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. 80–81.
37. Леонович О. К., Божелко И. К. Консервация археологических и деревянных строений в Беларуси // *Каласавины: материалы XXXIV науч. конф., Минск, 2 окт. 2020 г. Минск, 2020*. С. 8–10.
38. Леонович О. К., Мазало Н. А. Исследование долговечности археологической древесины, обработанной защитными составами // *Музейныя здабыткі: материалы II Междунар. науч.-практ. конф., Брест, 12–13 нояб. 2020 г. Брест, 2020*. С. 30–35.
39. Курдюмов В. *Материалы для курса строительных работ. Вып. 1. Дерево*. СПб.: Типография Эрлиха Ю. Н., 1903. 143 с.
40. Дупанов С. А., Леонович О. К. Проблемы защиты древесины сосны и дуба в Республике Беларусь // *Лес – Наука – Инновации – 2022. 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. 238–241. URL: <https://www.belstu.by/nauka/ob-inf/konferenczii-v-bgtu-v-2022-godu/mezhhdunarodnyij-molodezhnyij-lesopromyshlennyij-forum-%C2%ABles-nauka-innovaczii-2022%C2%BB-sentyabr-oktyabr-2022> (дата обращения: 10.10.2022).
41. Леонович О. К., Дупанов С. А. Консервация археологических находок из мореного дуба // *Реставрация, консервация и музеефикация археологического дерева и органических материалов: материалы Междунар. конф., Казань, 1–5 нояб. 2022 г. Казань, 2022*. URL: <http://archtat.ru/events/mezhhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeefikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov> (дата обращения: 28.12.2022).
42. Дупанов С. А., Леонович О. К. Классификационный подход к оценке качественных характеристик натурального мореного дуба // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 87-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023*. С. 146–149.
43. Дупанов С. А., Леонович О. К. Возрастная и видовая дифференциация натурального мореного дуба // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270)*. С. 204–209.
44. Леонович О. К., Дупанов С. А. Модифицирование древесины мореного дуба акрилатными соединениями // *Лес – 2022: тез. докл. XXII Междунар. науч.-техн. интернет-конф., Брянск, 1–30 нояб. 2022 г. Брянск, 2022*. URL: [http://science-bsea.bgita.ru/2022/les\\_2022/leonovich\\_pol.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2022/les_2022/leonovich_pol.htm) (дата обращения: 28.12.2022).
45. Чичагова О. А., Заовская Э. П. Радиоуглеродный метод // *Естественно-научные методы исследования культурных слоев древних поселений*. М., 2004. С. 34–46.
46. *Методы физико-механических испытаний модифицированной древесины*. М.: Стройиздат, 1973. 47 с.
47. Дупанов С. А., Леонович О. К. Реологические свойства мореного дуба по поперечному срезу ствола // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: сб. ст. 88-й науч.-техн. конф. с междунар. участием, Минск, 1–13 февр. 2024 г. Минск, 2024*. С. 146–149.

48. Леонович О. К., Дупанов С. А. Бездеформативная сушка натурального мореного дуба // Лес – 2023: тез. докл. XXIII междунар. науч.-техн. интернет-конф. Брянск, 1–30 нояб. 2023 г. Брянск, 2023. URL: [http://science-bsea.bgita.ru/2023/les\\_2023/leonovich\\_pol.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_pol.htm) (дата обращения: 20.10.2023).
49. Дупанов С. А., Леонович О. К. Проблемы сохранения археологических объектов из натурального мореного дуба и сосны // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 165–172. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-1-20.

### References

1. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Determination of the quality of natural bog oak depending on various physical, age and species characteristics. *Les – 2023: tezisy dokladov XXIII mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2023: abstracts of the reports of the XXIII International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2023. Available at: [http://science-bsea.bgita.ru/2023/les\\_2023/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm) (accessed 28.05.2023) (In Russian).
2. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Rheological properties of bog oak along the cross section of the trunk. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 88th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, p. 236 (In Russian).
3. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Methodology of deformation-free drying and conservation of archaeological wood. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 88-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 88th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 244–246 (In Russian).
4. Fengel D., Weneger G. *Drevesina (khimiya, ul'trastruktura, reaktsiya)* [Wood (chemistry, ultrastructure, reaction)]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 512 p. (In Russian).
5. Vanin S. I. *O fiziko-mekhanicheskikh svoystvakh drevesiny morenogo duba* [On the physical and mechanical properties of bog oak wood]. Leningrad, 1940, issue 56, pp. 63–79 (In Russian).
6. Ugolev B. N. *Drevesinovedeniye i lesnoye tovarovedeniye* [Wood science and forest commodity science]. Moscow, MSFU Publ., 2007. 351 p. (In Russian).
7. Khan L., Tian X., Keplinger T., Zhou H., Lee R., Swedstrom K., Burgert I., Yin Y., Guo J. Even visually intact cell walls in waterlogged archaeological wood are chemically degraded and mechanically brittle: a 170-year-old case. Old shipwreck. *Molecules*, 2020, no. 25, p. 1113.
8. Almkvist G., Persson I. Degradation of Polyethylene Glycol and Hemicellulose in the Vasa. *Holzforschung*, 2008, no. 62, pp. 64–70.
9. Pedersen N. B., Schmitt U., Koch G., Felby C., Thygesen L. G. Lignin Distribution in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Degraded by Erosion Bacteria. *Holzforschung*, 2014, no. 68, pp. 791–798.
10. Pedersen N. B., Gierlinger N., Thygesen L. G. Bacterial and Abiotic Decay in Waterlogged Archaeological *Picea Abies* (L.) Karst. Studied by Confocal Raman Imaging and ATR-FTIR Spectroscopy. *Holzforschung*, 2015, no. 69, pp. 103–112.
11. Salanti A., Zoia L., Tolppa E. L., Giachi G., Orlandi M. Characterization of Waterlogged Wood by NMR and GPC Techniques. *Microchem. J.*, 2010, no. 95, pp. 345–352.
12. Pinder A. P., Panter I., Abbott G. D., Keely B. J. Deterioration of the Hanson Logboat: Chemical and Imaging Assessment with Removal of Polyethylene Glycol Preserving Agent. *Sci. Rep.*, 2017, no. 7, p. 13697.
13. Modugno F., Ribechini E., Calderisi M., Giachi G., Colombini M. P. Analysis of Lignin from Archaeological Waterlogged Wood by Direct Exposure Mass Spectrometry (DE-MS) and PCA Evaluation of Mass Spectral Data. *Microchem. J.*, 2008, no. 88, pp. 186–193.
14. Bettazzi F., Giachi G., Staccioli G., Chimichi S. Chemical Characterization of Wood of Roman Ships Brought to Light in the Recently Discovered Ancient Harbor of Pisa (Tuscany, Italy). *Holzforschung*, 2003, no. 57, pp. 373–376.
15. Zisi A., Dix J. K. Simulating Mass Loss of Decaying Waterlogged Wood: A Technique for Studying Ultrasound Propagation Velocity in Waterlogged Archaeological Wood. *J. Cult. Herit.*, 2018, no. 33, pp. 39–47.
16. Macchioni N., Pecoraro E., Pizzo B. The Measurement of Maximum Water Content (MWC) on Waterlogged Archaeological Wood: A Comparison between Three Different Methodologies. *J. Cult. Herit.*, 2018, no. 30, pp. 51–56.
17. Jensen P., Gregory D. J. Selected Physical Parameters to Characterize the State of Preservation of Waterlogged Archaeological Wood: A Practical Guide for Their Determination. *J. Archaeol. Sci.*, 2006, no. 33, pp. 551–559.
18. Florian M.-L. E. Scope and History of Archaeological Wood. *Archaeological Wood: Advances in Chemistry*. Washington, DC, USA, 1989, vol. 225, pp. 3–32.

19. Braovac S., McQueen C. M. A., Sahlstedt M., Kutzke H., Lucejko J. J., Klokkernes T. Navigating Conservation Strategies: Linking Material Research on Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection to Conservation Decisions. *Herit. Sci.*, 2018, no. 6, p. 77.
20. Braovac S., Kutzke H. The Presence of Sulfuric Acid in Alum-Conserved Wood-Origin and Consequences. *J. Cult. Herit.*, 2012, no. 13, pp. 203–208.
21. Morgós A., Imazu S., Ito K. Sugar Conservation of Waterlogged Archaeological Finds in the Last 30 Years. *Proceedings of the Conservation and Digitalization Conference*, Gdańsk, Poland, 2015, pp. 15–20.
22. Zoia L., Tamburini D., Orlandi M., Lucejko J. J., Salanti A., Tolppa E.-L., Modugno F., Colombini M. P. Chemical Characterization of the Whole Plant Cell Wall of Archaeological Wood: An Integrated Approach. *Anal. Bioanal. Chem.*, 2017, no. 409, pp. 4233–4245.
23. McQueen C. M. A., Tamburini D., Lucejko J. J., Braovac S., Gambineri F., Modugno F., Colombini M. P., Kutzke H. New Insights into the Degradation Processes and Influence of the Conservation Treatment in Alum-Treated Wood from the Oseberg Collection. *Microchem. J.*, 2017, no. 132, pp. 119–129.
24. McQueen C. M. A., Tamburini D., Braovac S. Identification of Inorganic Compounds in Composite Alum-Treated Wooden Artefacts from the Oseberg Collection. *Sci. Rep.*, 2018, no. 8, p. 2901.
25. Lucejko J. J., La Nasa J., McQueen C. M. A., Braovac S., Colombini M. P., Modugno F. Protective Effect of Linseed Oil Varnish on Archaeological Wood Treated with Alum. *Microchem. J.*, 2018, no. 139, pp. 50–61.
26. Christensen M., Frosch M., Jensen P., Schnell U., Shashoua Y., Nielsen O. F. Waterlogged Archaeological Wood-Chemical Changes by Conservation and Degradation. *J. Raman Spectrosc.*, 2006, no. 37, pp. 1171–1178.
27. Grattan D. W. A Practical Comparative Study of Several Treatments for Waterlogged Wood. *Stud. Conserv.*, 1982, no. 27, pp. 124–136.
28. Hocker E., Almkvist G., Sahlstedt M. The Vasa Experience with Polyethylene Glycol: A Conservator's Perspective. *J. Cult. Herit.*, 2012, no. 13, pp. 175–182.
29. Hoffmann P. On the Stabilization of Waterlogged Oakwood with PEG. II. Designing a Two-Step Treatment for Multi-Quality Timbers. *Stud. Conserv.*, 1986, no. 31, pp. 103–113.
30. Jensen P., Jensen J. B. Dynamic Model for Vacuum Freeze-Drying of Waterlogged Archaeological Wooden Artefacts. *J. Cult. Herit.*, 2006, no. 7, pp. 156–165.
31. Purdy B. A. Wet Site Archaeology. Boca Raton, FL, USA, CRC Press, 2018. 478 p.
32. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of ash residues of bog oak of various age periods in river floodplains. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 71-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 85th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2020, pp. 8–15 (In Russian).
33. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of the physical and chemical properties of natural bog oak used for the production of exclusive products and furniture. *Les – 2020: tezisy dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2020: abstracts of the report of the XIX International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2020. Available at: [http://science-bsea.bgita.ru/2020/les\\_2020/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2020/les_2020/leonovich_komp.htm) (accessed 28.05.2023) (In Russian).
34. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Study of the physical, chemical and strength properties of bog oak of various age groups for the manufacture of products. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 85-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of the 85th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2021, pp. 144–145 (In Russian).
35. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Study of the chemical and structural properties of natural bog oak using scanning microscopy. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2021, no. 2 (240), pp. 150–155. DOI: 10.52065/2519-402X-2021-240-20-150-155 (In Russian).
36. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Promising directions for processing natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: tezisy dokladov 84-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii, posvyashchennoy 90-letnemy yubileyu BGTU i Dnyu belorusskoy nauki (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forest engineering, materials science and design: abstracts of the reports of the 84th scientific and technical conference, dedicated 90th anniversary of BSTU and the Day of Belarusian Science (with international participation)]. Minsk, 2020, pp. 80–81 (In Russian).
37. Leonovich O. K., Bozhelko I. K. Conservation of archaeological and wooden buildings in Belarus. *Kalasaviny: materialy XXXIV nauchnoy konferentsii* [Kalasaviny: materials of the XXXIV scientific conference]. Minsk, 2020, pp. 8–10 (In Russian).

38. Leonovich O. K., Mazalo N. A. Study of the durability of archaeological wood treated with protective compounds. *Muzeynyya zdabytki: materialy II Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Museum buildings: materials of the II International scientific-practical conference]. Brest, 2020, pp. 30–35 (In Russian).
39. Kurdyumov V. *Materialy dlya kursa stroitel'nykh rabot* [Materials for the course of construction work]. Vol. 1. Tree. St. Petersburg, Tipografiya Erlicha Yu. N. Publ., 1903. 143 p. (In Russian).
40. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Problems of protecting pine and oak wood in the Republic of Belarus. Available at: <https://www.belstu.by/nauka/ob-inf/konferenczii-v-bgtu-v-2022-godu/mezhdunarodnyij-molodezhnyij-lesopromyshlennyij-forum-%C2%ABles-nauka-innovaczii-2022%C2%BB-sentyabr-oktyabr-2022> (accessed 10.09.2023) (In Russian).
41. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Conservation of archaeological finds from bog oak. Available at: <http://archtat.ru/events/mezhdunarodnaya-konferentsiya-restavratsiya-konservatsiya-i-muzeifikatsiya-arheologicheskogo-dereva-i-organicheskikh-materialov/> (accessed 28.12.2022) (In Russian).
42. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Classification approach to assessing the qualitative characteristics of natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of 87th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 146–149 (In Russian).
43. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Age and species differentiation of natural bog oak. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (270), pp. 204–209 (In Russian).
44. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Modification of bog oak wood with acrylate compounds. *Les – 2020: tezis dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2020: abstracts of the report of the XIX International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2020. Available at: [http://science-bsea.bgita.ru/2022/les\\_2022/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2022/les_2022/leonovich_komp.htm) (accessed 28.05.2023) (In Russian).
45. Chichagova O. A., Zazovskaya E. P. Radiocarbon method. *Yestestvenno-nauchnyye metody issledovaniya kul'turnykh sloyov drevnikh poseleniy* [Natural scientific methods for studying the cultural layers of ancient settlements]. Moscow, 2004, pp. 34–46 (In Russian).
46. *Metody fiziko-mekhanicheskikh ispytaniy modifitsirovannoy drevesiny* [Methods of physical and mechanical testing of modified wood]. Moscow, Stroyizdat Publ., 1973. 47 p. (In Russian).
47. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Classification approach to assessing the qualitative characteristics of natural bog oak. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: sbornik statey 87-y nauchno-tehnicheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiyem* [Forest engineering, materials science and design: digest of articles of the 87th scientific and technical conference with international participation]. Minsk, 2023, pp. 146–149 (In Russian).
48. Leonovich O. K., Dupanov S. A. Deformation-free drying of natural bog oak. *Les – 2023: tezis dokladov XXII Mezhdunarodnoy nauchno-tehnicheskoy internet-konferentsii* [Forest – 2023: abstracts of the report of the XXIII International Scientific and Technical Internet Conference]. Bryansk, 2023. Available at: [http://science-bsea.bgita.ru/2023/les\\_2023/leonovich\\_komp.htm](http://science-bsea.bgita.ru/2023/les_2023/leonovich_komp.htm) (accessed 28.05.2023) (In Russian).
49. Dupanov S. A., Leonovich O. K. Problems of preservation of archaeological objects from natural bog oak and pine. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 1 (276), pp. 165–172. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-22 (In Russian).

### Информация об авторах

**Леонovich Олег Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: okl2001@mail.ru

**Дупанов Сергей Александрович** – аспирант, инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

### Information about the authors

**Leonovich Oleg Konstantinovich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okl2001@mail.ru

**Dupanov Sergey Alexandrovich** – PhD student, engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., Minsk, 220006, Republic of Belarus). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

Поступила 20.03.2024

УДК 630\*2:502.174

**И. А. Евкович, П. А. Протас**

Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ МЕТОДОВ ПРЕДИКТИВНОЙ АНАЛИТИКИ И ОБОСНОВАНИЕ  
ИХ ПРИМЕНЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПОСЛЕДСТВИЙ  
СТИХИЙНЫХ БЕДСТВИЙ В ЛЕСНОМ ФОНДЕ**

В данной научной работе проведен анализ методов предиктивной аналитики и обосновано их применение для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде. Исследование показывает, что использование методов предиктивной аналитики позволяет эффективно предсказывать возможные последствия стихийных изменений в лесах, что, в свою очередь, позволяет принять своевременные меры для предотвращения воздействия на лесной фонд. В работе отражены различные подходы к прогнозированию элементарных методов управления и рекомендовано использовать комплексный подход с применением современных технологий в области аналитики и машинного обучения для достижения наилучших результатов.

В статье на основании проведенных исследований рекомендовано для оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде использовать методы математического анализа на основе теории игр с учетом критериев Сэвиджа и Вальда. С помощью данного метода прогнозирования можно, например, изучить исторический опыт предприятия, провести статистическое моделирование и на основании полученной модели спланировать результат его работы.

Проведенный анализ программных методов показал, что применение пакета MatLab является целесообразным и его использование позволяет эффективно решать задачи в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде с учетом множества факторов при построении математической модели в теории игр. Программный пакет позволяет обрабатывать большие массивы данных, строить линии трендов и т. д. Удобство интерфейса, широкие возможности данного программного пакета для обработки результатов научных исследований и их графической иллюстрации позволяют существенно сократить время обработки экспериментальных данных, а также избежать ошибок при осуществлении расчетов.

**Ключевые слова:** лесной фонд, стихийные бедствия, прогнозирование, ликвидация последствий, математические методы, стохастическая теория игр.

**Для цитирования:** Евкович И. А., Протас П. А. Анализ методов предиктивной аналитики и обоснование их применения для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 167–173.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-20.

**I. A. Evkovich, P. A. Protas**

Belarusian State Technological University

**ANALYSIS OF PREDICTIVE ANALYTICS METHODS AND SUBSTANTIATES  
OF THEIR APPLICATION FOR FORECASTING THE CONSEQUENCES  
OF NATURAL DISASTERS IN THE FOREST FUND**

In this scientific work, the analysis of predictive analytics methods is carried out and their application to predict the consequences of natural disasters in the forest fund is justified. The study shows that the use of predictive analytics methods makes it possible to effectively predict the possible consequences of natural changes in forests, which, in turn, makes it possible to take timely measures to prevent impacts on the forest fund. The work examines various approaches to forecasting elementary management methods and recommends using an integrated approach using modern technologies in the field of analytics and machine learning to achieve the best results.

Based on the conducted research, the article recommends using mathematical analysis methods based on game theory, taking into account the Savage and Wald criteria, to assess and predict the consequences of natural disasters in the forest fund. Using this forecasting method, you can, for example, study the historical experience of an enterprise, conduct statistical modeling and plan the result of its work based on the obtained model.

The analysis of software methods has shown that the use of the MatLab package is appropriate and its use makes it possible to effectively solve problems in the field of forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund, taking into account many factors when building a mathematical model in game theory. The software package allows you to process large amounts of data, build trend lines, etc. The convenience of the interface, the extensive capabilities of this software package for processing the

results of scientific research and their graphical illustration can significantly reduce the processing time of experimental data, as well as avoid errors in calculations.

**Keywords:** forest fund, natural disasters, forecasting, liquidation of consequences, mathematical methods, stochastic game theory.

**For citation:** Evkovich I. A., Protas P. A. Analysis of predictive analytics methods and substantiates of their application for forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 167–173 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-20.

**Введение.** В настоящее время активно используется такой метод анализа, как предиктивный, служащий для обработки и интерпретации информации с целью принятия правильных решений. Этот метод базируется на статистических моделях и позволяет находить закономерности в исторических и транзакционных данных, определять потенциальные риски и возможности [1–3]. В качестве основы при выполнении анализа используется опыт аналогичных решений, принятых в прошлом. Главными принципами такой методики являются: классическая стратегия, теория вероятности, функциональная математика, теория игр, корреляционный анализ, экономическая закономерность, экстраполяции трендов и др. [4].

В рамках проводимых исследований и имеющихся исходных данных целесообразно выполнить анализ различных методов предиктивной аналитики с обоснованием применения для решения задач в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

**Основная часть.** Последствия стихийных бедствий могут прогнозироваться с помощью различных методов: математических, экономических и программных [5]. Каждый из методов имеет свои особенности, достоинства и недостатки, алгоритмы проводимых расчетов, применяемый инструментарий и т. д.

**Методы экономической эффективности** являются неотъемлемой частью и одним из основных элементов логики прогнозирования и планирования. Они должны осуществляться как на макро-, так и на мезо- и микроуровнях [6]. При проведении метода экономической эффективности следует использовать системный подход. В качестве системы рассматривается лесное хозяйство (экономика) в целом и его структурные части.

Сущность метода экономической эффективности заключается в том, что экономический процесс или явление подразделяются на составные части и выявляются взаимосвязь и влияние этих частей друг на друга и на ход развития всего процесса. Метод экономической эффективности позволяет раскрыть сущность такого процесса, определить закономерности его изменения в прогнозируемом (плановом) периоде, всесторонне оценить возможности и пути достижения поставленных целей.

Процесс экономического анализа подразделяется на ряд стадий:

- постановка проблемы, определение целей и критериев оценки;
- подготовка информации для анализа; изучение и аналитическая обработка информации;
- разработка рекомендаций о возможных вариантах решения проблемы и достижения целей;
- оформление результатов анализа.

**Методы компьютерного моделирования** в настоящее время имеют наибольшую популярность, так как они применяются для составления самых разнообразных прогнозов – от глобальных до локальных [7]. При создании прогностической модели должны выполняться три основных условия:

- выявление факторов, имеющих существенное значение для предсказания;
- определение действительного отношения факторов к предсказуемому явлению;
- разработка алгоритма и программы [8, 9].

Данные методы изучают применение различных программных пакетов с возможностью использования и решения поставленных задач [10].

**Методы математической статистики** объединяют совокупность методов обработки количественной информации об объекте прогнозирования по принципу выявления содержащихся в ней математических закономерностей развития и математических взаимосвязей характеристик с целью получения прогнозных моделей [11]. Математические методы прогнозирования в зависимости от вида описания объектов подразделяются на следующие методы:

- экстраполяции (статистические методы);
- моделирования процессов (развития);
- решения оптимизационных задач.

Математические методы прогнозирования стихийных бедствий имеют свой алгоритм выполнения [5, 12].

Рассмотрим наиболее широко применяемые методы и выполним их обоснование для решения задач в области лесного хозяйства [13]:

1. Метод скользящего среднего. Данный метод дает возможность выравнять динамический ряд на основе его средних характеристик, позволяет провести прогнозную точечную оценку и более эффективно используется при краткосрочном

прогнозировании. Преимущество метода заключается в том, что он прост в применении и не требует обширной информационной базы.

2. Метод экспоненциального сглаживания. Дает возможность выявить тенденцию, сложившуюся к моменту последнего наблюдения и позволяет оценить параметры модели, описывающей тренд, который сформировался в конце базисного периода.

Этот метод адаптируется к меняющимся во времени условиям, а не просто экстраполирует действующие зависимости в будущее. Он наиболее эффективен при разработке кратко- и среднесрочных прогнозов. Его основное достоинство заключается в простоте вычисления и учете весов исходной информации, т. е. новые данные или данные за последние периоды имеют больший вес, чем данные более отдаленных периодов.

3. Метод наименьших квадратов. Основан на выявлении параметров модели, которые минимизируют суммы квадратичских отклонений между наблюдаемыми величинами и расчетными. Модель, описывающая тренд, в каждом конкретном случае подбирается в соответствии с рядом статистических критериев. На практике наибольшее распространение получили такие функции, как линейная, квадратическая, экспоненциальная, степенная, показательная.

Преимущества метода наименьших квадратов заключаются в том, что он прост в применении и реализуется на ЭВМ.

К недостаткам метода можно отнести жесткую фиксацию тренда моделью, небольшой период упреждения, сложность подбора уравнения регрессии, который осуществляется с помощью использования типовых компьютерных программ, например Excel.

4. Метод выявления линии тренда. Линии тренда представляют собой геометрическое отображение средних значений анализируемых показателей, полученных с помощью какой-либо математической функции. Выбор функции для построения линии тренда обычно определяется характером изменения данных во времени. Наиболее часто тренд представляется линейной зависимостью исследуемой величины. Суть метода состоит в том, что линейная функция «наилучшего соответствия» проходит через точки графика, соответствующие минимуму суммы квадратов отклонений измеряемого параметра.

5. Метод теории игр. Это математическая модель процесса функционирования конфликтных элементов системы, в котором действия происходят по определенным правилам, называемым стратегиями. Теория игр базируется на теории вероятностей, математической статистике и методах оптимизации. В методе теории игр расчеты ведутся по различным критериям: Лапласа, Вальда, Сэвиджа, Гурвица.

6. Метод теории вероятности. Это метод, изучающий закономерности случайных явлений. Знание закономерностей, которым подчиняются массовые случайные события, позволяют предвидеть, как эти события будут протекать.

Вероятность – это явление с неопределенным исходом, происходящее при неоднократном воспроизведении определенного комплекса условий. В каждом явлении присутствует случайность: в спросе на товар, в погодных условиях и пр.

7. Метод решения оптимизационных задач. В настоящее время для решения оптимизационных задач применяют в основном следующие методы:

- методы исследования функций классического анализа;
- методы, основанные на использовании неопределенных множителей Лагранжа;
- вариационное исчисление;
- динамическое программирование;
- принцип максимума;
- линейное программирование;
- нелинейное программирование.

В последнее время для решения оптимизационных задач используются методы математического программирования, позволяющие найти экстремальное значение целевой функции при соотношениях между переменными, устанавливаемых ограничениями в диапазоне изменения переменных, определяемом граничными условиями.

Математическое программирование представляет собой, как правило, многократно повторяющуюся вычислительную процедуру, приводящую к искомому оптимальному решению.

Выбор метода математического программирования для решения оптимизационной задачи определяется видом зависимостей в математической модели, характером искомых переменных, категорией исходных данных и количеством критериев оптимальности.

Если в математической модели имеются только линейные зависимости между переменными, то для решения оптимизационной задачи используются методы линейного программирования.

Если в математической модели имеются нелинейные зависимости между переменными, то для решения оптимизационной задачи используются методы нелинейного программирования.

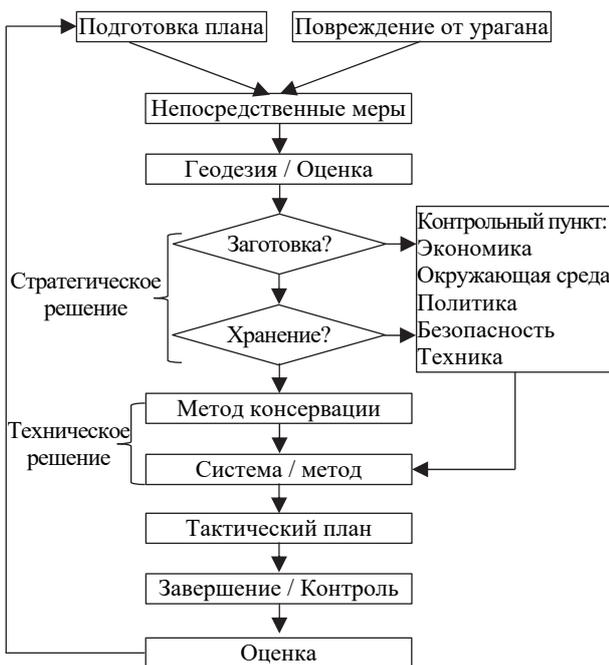
Окончательное решение оптимизационной задачи принимается только по результатам ее анализа. В качестве главного средства анализа используется математическая модель, позволяющая выполнить параметрический, структурный и многокритериальный анализ задачи.

Изучив и выполнив анализ различных методов, установили, что наиболее перспективными и современными с учетом развития информационных технологий являются методы математической

статистики, которые применяются для составления самых разнообразных прогнозов – от глобальных до локальных.

Из вышеперечисленных методов одними из наиболее эффективных и целесообразных могут быть методы математической статистики, а из них – метод *теории игр* по критерию Вальда и Сэвиджа. Такие задачи с большим количеством переменных удобно решать в программе MatLab.

На основании анализа методов прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде разработан алгоритм их оценки с применением теории игр (рисунок).



Алгоритм выполнения исследований

В теории игр используются следующие основные понятия:

*Игра* – это математическая модель конфликтной ситуации.

*Игроки в игре* – стороны, которые участвуют в конфликте.

*Выигрыш* – исход конфликтной ситуации.

*Стратегии игрока* – совокупность правил, которые определяют выбор игрока при личном ходе, зависящем от ситуации.

*Решение игры* – выбор каждым игроком определенной стратегии, которая удовлетворит условие оптимальности. Суть здесь заключается в получении максимальной прибыли.

*Решить игру* – это значит найти цену игры и ее оптимальное решение [14].

В качестве основы при выполнении анализа используется опыт аналогичных решений, принятых в прошлом. Такое прогнозирование ликвидации последствий стихийных бедствий может рассматриваться как один из новых методов к

данной проблеме. В этом методе прогнозирования сочетается с оценкой обстановки и выбором наиболее приемлемых мер и средств по обеспечению ликвидации последствий в лесном фонде [15].

Как известно, теорию игр составляет математическая теория конфликтных ситуаций. Ее задачей является выработка рекомендаций по рациональному образу действий в условиях неопределенности.

При прогнозировании ликвидации последствий стихийных бедствий в лесном фонде неопределенность проявляется в неоднозначности метеоусловий, статистических данных поврежденных участков и т. д. Ситуации, возникающие в процессе прогнозирования стихийного бедствия, условно могут быть отнесены к конфликтным.

Формирование тех или иных условий обстановки здесь связано не с сознательной деятельностью противостоящей стороны, а с некоторыми факторами, имеющими случайный характер. В играх такого рода, наряду с так называемыми личными ходами, имеют место случайные ходы. Для каждого случайного хода правила игры определяются распределением вероятностей возможных исходов.

Стратегии ликвидации последствий стихийных бедствий принимаются в качестве стратегий противостоящей стороны. Стратегии выражаются вариантами мер и действий по обеспечению ликвидации последствий стихийных бедствий. Каждая из стратегий природы содержит набор статистических данных или метеопараметров, принимаемых во внимание при прогнозировании ликвидации стихийного бедствия, и характеризуется вероятностью их ликвидации и в последующем реализации.

Стратегии, соответствующие различным вариантам мер и действий по обеспечению ликвидации последствий стихийных бедствий в лесном фонде определяются совокупностью и результативностью этих мер и действий. Причем все стратегии, относящиеся к нашей стороне, рассматриваются при одной и той же ситуации. Каждая из этих стратегий характеризуется набором вариантов различных последствий по числу принятых для анализа вариантов статистических данных.

Для решения задачи выбора оптимальной стратегии должна разрабатываться матрица, элементами которой являются показатели, характеризующие качество выигрыша, т.е. полезность и эффективность стратегии. Качество выигрыша определяется набором параметров последствия стихийного бедствия, от которых зависит степень его ликвидации, выражаемая через интегральный показатель. Интегральный показатель может интерпретироваться, например, как уровень общих затрат на ликвидацию последствий.

Глобальная математическая задача будет решаться с применением теории игр, а для ее решения эффективно использовать программные методы в программном пакете MatLab, так как он позволяет проводить обработку значительных объемов данных с высокой скоростью и имеет огромное количество встроенных математических, алгебраических, статистических и целого ряда других специализированных функций для обработки данных. Возможно также дополнительное расширение функциональности за счет использования специализированных пакетов расширения.

Пакет также позволяет создавать сценарии с использованием встроенного языка программирования и сохранять программы в виде т-файлов. Кроме того, визуальная среда GUIDE, встроенная в MatLab, позволяет создавать приложения с графическим интерфейсом пользователя. Пакет имеет широкие возможности визуализации двух- и трехмерных графиков и диаграмм.

Для решения оптимизационных задач и систем нелинейных уравнений в MatLab можно воспользоваться пакетом прикладных задач Optimization Toolbox, который поддерживает основные методы оптимизации функций ряда переменных: безусловная оптимизация нелинейных функций; метод наименьших квадратов и нелинейная интерполяция; решение нелинейных уравнений; линейное программирование; квадратичное программирование; условная минимизация нелинейных функций; метод минимакса; многокритериальная оптимизация.

При необходимости проведения статистической обработки опытных данных можно воспользоваться функциями пакета расширения Statistics Toolbox, который содержит набор средств генерации случайных чисел, векторов, матриц и массивов с различными законами распределения, а также множество статистических функций.

Приведенные выше аргументы подтверждают перспективность использования математического пакета MatLab как вычислительной среды для моделирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

**Заключение.** На основании вышесказанного можно сделать вывод, что в настоящее время существует достаточно большое множество различных методов прогнозирования событий, которые имеют свои особенности, достоинства и недостатки, алгоритмы проводимых расчетов, применяемый инструментарий и т. д.

В этой связи в рамках проводимых исследований выполнен анализ различных методов и установлено, что наиболее перспективными и современными методами с учетом развития цифровой отрасли и информационных технологий являются математические методы прогнозирования [15].

Прогнозная аналитика позволяет лесопромышленному производству принимать более взвешенные и корректные решения сегодня для достижения лучших результатов завтра. Путем анализа данных лесопромышленного производства получают ценную информацию и могут прогнозировать события, находить новые возможности, предвидеть угрозы.

В статье была рассмотрена возможность использования теории игр с учетом Сэвиджа и Вальда для оценки и прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

Проведенный анализ программных методов показал целесообразность и эффективность применения программного пакета MatLab для решения исследовательских задач в области прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.

В результате был сделан вывод о необходимости применения в общей методологии проведения научно-исследовательских работ современных информационных систем и технологий. Их очевидные преимущества заключаются в том, что они не только позволяют частично или полностью исключить проведение ручных вычислений, но и дают возможность проектировать различные модели, диаграммы. Они могут моделировать самые сложные процессы, что способствует их углубленному изучению, рассмотрению всех влияющих факторов по отдельности или в комплексе, использованию сложных математических описаний.

### Список литературы

1. Предиктивная аналитика // Клеверенс. URL: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-chto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (дата обращения: 04.03.2024).
2. Способы и действия предиктивной аналитики // Агрегатор сервисов In-scale. URL: <https://in-scale.ru/blog/prediktivnaya-analitika/> (дата обращения: 04.03.2024).
3. Евкович И. А., Протас П. А. Предиктивная аналитика и ее применение в лесопромышленном производстве // Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. проф.-преподават. состава, науч. сотрудников и аспирантов, Минск. 31 янв. – 17 февр. 2023 г. Минск, 2023. С. 36–39.
4. Assessment of Forest Damage in Croatia Caused by Natural Hazards in 2014 / D. Vuletić [et al.] // Southeast Eur. 2014. № 5 (1). P. 65–79. DOI: 10.15177/seefer.14-07.

5. Евкович И. А., Протас П. А. Методы прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде // Научное творчество молодежи – лесному комплексу России: материалы XVIII Всерос. (нац.) науч.-техн. конф. студентов и аспирантов. Екатеринбург, 4–15 апр. 2022 г. Екатеринбург, 2022. С. 111–115.
6. Методы экономической эффективности // StudFiles. URL: <https://studfile.net/preview/5275512/page:4/> (дата обращения 05.03.2024).
7. Методы компьютерного моделирования // Профильное обучение. URL: <http://profil.adu.by/mod/book/tool/print/index.php?id=4192> (дата обращения: 05.03.2024).
8. Программные методы математической статистики // Витебск. Ордена «Знак почета» гос. акад. ветеринар. медицины. URL: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (дата обращения: 06.03.2024).
9. Применение современных компьютерных программ при решении задач прогнозирования // Библиофонд. URL: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (дата обращения: 08.03.2024).
10. Евкович И. А., Протас П. А. Прогнозирование последствий стихийных бедствий в лесном фонде по критериям Сэвиджа и Вальда в программе MathCAD // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 1 (276). С. 112–119. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-15.
11. Игнатенко В. В., Турлай И. В., Федоренчик А. С. Моделирование и оптимизация процессов лесозаготовок. Минск: БГТУ, 2004. 178 с.
12. Построение математических моделей и линий трендов динамики лесного фонда / А. Г. Мошкалева [и др.] // Клеверенс. 2012. Т. 7, № 1. С. 125–138.
13. Методы математической статистики // Справочник от Автор 24. URL: [https://spravochnick.ru/matematika/metody\\_matematicheskoy\\_statistiki/](https://spravochnick.ru/matematika/metody_matematicheskoy_statistiki/) (дата обращения: 10.03.2024).
14. Колесников В. Л. Математические основы компьютерного моделирования химико-технологических систем. Минск: БГТУ, 2003. 312 с.
15. Шубин И. В. Прогнозирование лесопользования и совершенствование планирования качественного состава лесов: на основе автоматизации расчетов (на примере БССР): дис. ... канд. экон. наук: 08.00.05. Минск, 1982. 171 с.

### References

1. Predictive analytics. Available at: <https://www.cleverence.ru/articles/auto-busines/prediktivnaya-analitika-cto-eto-takoe-metody-i-instrumenty-prognosticheskogo-analiza/> (accessed 03.03.2024) (In Russian).
2. Methods and actions of predictive analytics. Available at: <https://in-scale.ru/blog/prediktivnaya-analitika/> (accessed 04.03.2024) (In Russian).
3. Evkovich I. A., Protas P. A. Predictive analytics and its application in the forest industry. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii professorsko-prepodavatel'skogo sostava, nauchnykh sotrudnikov i aspirantov* [Forestry engineering, materials science and design: materials of the 87th scientific and technical conference of faculty and research workers and graduate students]. Minsk, 2023, pp. 36–39 (In Russian).
4. Vuletić D., Kauzlaric Z., Balenovic I., Krajter G., Ostoic S. Assessment of Forest Damage in Croatia Caused by Natural Hazards in 2014. *Southeast Eur.*, 2014, no. 5 (1), pp. 65–79. DOI: 10.15177/see-for.14-07.
5. Evkovich I. A., Protas P. A. Methods for forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund. *Nauchnoye tvorchestvo molodezhi – lesnomu kompleksu Rossii: materialy XVIII Vserossiyskoy (natsional'noy) nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov i aspirantov* [Scientific creativity of youth – the forest complex of Russia: materials of XVIII All-Russian (national) scientific and technical conference of students and graduate students]. Ekaterinburg, 2022, pp. 111–115 (In Russian).
6. Methods of economic efficiency. Available at: <https://studfile.net/preview/5275512/page:4/> (accessed 05.03.2024) (In Russian).
7. Computer modeling methods. Available at: <http://profil.adu.by/mod/book/tool/print/index.php?id=4192> (accessed 05.03.2024) (In Russian).
8. Software methods of mathematical statistics. Available at: <https://www.vsavm.by/knigi/kniga3/1290.html> (accessed 06.03.2024) (In Russian).
9. Application of modern computer programs in solving forecasting problems. Available at: <https://www.bibliofond.ru/view.aspx?id=787249> (accessed 08.03.2024) (In Russian).
10. Evkovich I. A., Protas P. A. Forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund according to the Savage and Wald criteria in the MathCAD program. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2024, no. 2 (276), pp. 112–119. DOI: 10.52065/2519-402X-2024-276-15 (In Russian).

11. Ignatenko V. V., Turlay I. V., Fedorenchik A. S. *Modelirovaniye i optimizatsiya protsessov lesozagotovok* [Modeling and optimization of logging processes]. Minsk, BSTU Publ., 2004. 178 p. (In Russian).

12. Moshkalev A. G., Niggel V. K., Shalabin G. W., Goev V. Ya., Shershen L. I., Deltuvas R. P., Misheikus I. F. Construction of mathematical models and trend lines of forest fund dynamics. *Kleverens* [Kleverens], 2012, vol. 7, no. 1, pp. 125–138 (In Russian).

13. Methods of mathematical statistics. Available at: [https://spravochnick.ru/matematika/metody\\_matematicheskoy\\_statistiki/](https://spravochnick.ru/matematika/metody_matematicheskoy_statistiki/) (accessed: 10.03.2024) (In Russian).

14. Kolesnikov V. L. *Matematicheskiye osnovy komp'yuternogo modelirovaniya khimiko-tehnologicheskikh sistem* [Mathematical foundations of computer modeling of chemical technological systems]. Minsk, BSTU Publ., 2003. 312 p. (In Russian).

15. Shubin I. V. *Prognozirovaniye lesopol'zovaniya i sovershenstvovaniye planirovaniya kachestvennogo sostava lesov (na primere BSSR). Dissertatsiya kandidata ekonomicheskikh nauk* [Forecasting forest management and improving the planning of the qualitative composition of forests based on automation of calculations. Dissertation PhD (Economic)]. Minsk, 1982. 171 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Евкович Ирина Александровна** – аспирант кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [evcovich.irina@mail.ru](mailto:evcovich.irina@mail.ru)

**Протас Павел Александрович** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры лесных машин, дорог и технологий лесопромышленного производства. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [protas@belstu.by](mailto:protas@belstu.by)

### Information about the authors

**Evkovich Irina Aleksandrovna** – postgraduate student, 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: [evcovich.irina@mail.ru](mailto:evcovich.irina@mail.ru)

**Protas Pavel Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant 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: [protas@belstu.by](mailto:protas@belstu.by)

*Поступила 15.03.2024*

УДК 674.2

Д. В. Божко, О. К. Леонович, И. К. Божелко, С. А. Дупанов  
Белорусский государственный технологический университет

### НОРМИРОВАНИЕ РАСХОДА ДРЕВЕСИНЫ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ПРОГРАММНОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ С ОСНОВАМИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

Нормирование расхода сырья и материалов – это определение требуемой меры их производственного потребления в условиях эффективного использования ресурсов. Нормирование включает подготовку организационно-методического обеспечения, разработку, утверждение и контроль норм расхода на производство единицы продукции по установленной номенклатуре.

В статье проанализированы методы нормирования в столярной и мебельной промышленности, которые имеют практическое применение для прямолинейных и профильных изделий.

Разработан алгоритм программы для определения объемных характеристик деревянных сувениров сложных форм с использованием редактора 3D-графики, вспомогательных программ и нейросетей.

Рассмотрена взаимосвязь компьютерных программ от сканирования изделия до получения объемных параметров сложных художественных изделий.

Рассчитаны нормы расхода деревянных материалов на изготовление художественных изделий сложной формы из заготовок с использованием разработанного программного обеспечения и искусственного интеллекта, а также их взаимосвязи.

Рассмотренный инновационный подход реализации расчета нормирования древесины, заключающийся в расширенной работе с моделями сложных форм из древесины, благодаря искусственному интеллекту и программному обеспечению может использоваться при расчете и нормировании расхода древесины на художественные изделия сложных форм.

**Ключевые слова:** нормирование, художественные изделия, искусственный интеллект, программное обеспечение, 3D-модель.

**Для цитирования:** Божко Д. В., Леонович О. К., Божелко И. К., Дупанов С. А. Нормирование расхода древесины с использованием программного обеспечения с основами искусственного интеллекта // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 174–179.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-21.

D. V. Bazhko, O. K. Leonovich, I. K. Bazhelka, S. A. Dupanov  
Belarusian State Technological University

### RATING WOOD CONSUMPTION USING SOFTWARE WITH THE BASICS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

Rationing the consumption of raw materials and materials is the determination of the required measure of their production consumption in conditions of efficient use of resources. Rationing includes the preparation of organizational and methodological support, development, approval and control of consumption standards for the production of a unit of product according to the established nomenclature.

The article analyzes standardization methods in the carpentry and furniture industry, which have practical application for straight and profile products.

A program algorithm has been developed to determine the volumetric characteristics of wooden souvenirs of complex shapes using a 3D graphics editor, auxiliary programs and neural networks.

The relationship between computer programs from scanning a product to obtaining the volumetric parameters of complex artistic products is considered.

The consumption rates of wooden materials for the manufacture of artistic products of complex shape from blanks using developed software using artificial intelligence in their interrelation are calculated.

The considered innovative approach to calculating wood rationing, which consists of extended work with models of complex forms made of wood, thanks to artificial intelligence and software, can be used in calculating and rationing wood consumption for artistic products of complex shapes.

**Keywords:** rationing, artistic products, artificial intelligence, software, 3D model.

**For citation:** Bazhko D. V., Leonovich O. K., Bazhelka I. K., Dupanov S. A. Rating wood consumption using software with the basics of artificial intelligence. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 174–179 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-21.

**Введение.** Нормирование является основой эффективного и рационального расхода сырьевых ресурсов в народном хозяйстве.

При выпуске деревянных изделий в мебельной и столярной промышленности разработаны нормы расхода сырья для прямолинейных и профильных изделий [1–15]. Но при производстве художественных изделий сложной формы возникли трудности в определении расхода сырья для их изготовления.

В настоящее время на предприятиях, производящих художественные изделия, расчет объема сырья ведется путем замера исходных образцов с помощью таких измерительных приборов, как сантиметровые ленты, линейки, рулетки и др. Методики точного расчета и нормирования расхода древесины при изготовлении художественных изделий отсутствуют.

Так как художественная промышленность в Республике Беларусь активно развивается, разработка инструкций по нормированию расхода деревянных сувениров и художественных изделий востребована и актуальна.

**Основная часть.** Методика расчета нормирования древесины для изделий сложной формы можно разделить на 5 основных этапов.

1. Создание общей 3D-модели изделия: рассмотрено несколько сервисов нейросетей для создания 3D-моделей, таких как 3Dpresso, MagiScan, xOne 3D Scanner, Luma AI.

3Dpresso – сервис для создания 3D-моделей, который использует искусственный интеллект для извлечения 3D-моделей из видео продолжительностью более 1 мин. В данный момент сервис находится в бета-тестировании и модели можно загружать бесплатно, но извлечение моделей будет только по месячной подписке 28 долл. США за 16 моделей. Качество сканирования соответствует нормам для исследуемой модели. Форматы импортированных моделей: GLB, FBX, OBJ, USDZ.

MagiScan – приложение для 3D-сканирования с искусственным интеллектом. Можно загружать как видео, так и фото объекта. Присутствует съемка по кругу. Стоимость 10 000 моделей для коммерческого использования составляет 6250 долл. США. Качество модели чуть хуже, чем у других. Форматы импортированных моделей: GLB, FBX, OBJ, PLY.

xOne 3D Scanner – приложение для 3D-сканирования, которое использует технологию фотограмметрии для преобразования фотографий и видео в 3D-модели. Доступно для Android 13.0 и разработано компанией Xplorazzi Tech. Это приложение предлагает легкое решение для создания 3D-моделей. Стоимость подписки 15\$. Качество сканирования соответствует нормам для исследуемой модели. Форматы импортированных моделей: GLB, FBX, OBJ, PLY.

Luma AI – приложение, которое позволяет пользователям делать изображения или видео объектов с помощью своих смартфонов, превращать их в очень реалистичные 3D-модели. Для работы не требуется подписки. Стоимость модели – бесплатно. Качество сканирования соответствует нормам для исследуемой модели. Форматы импортированных моделей: GLB, FBX, OBJ, PLY.

Таким образом, для выбора сервиса нейросети выдвинут ряд требований: стоимость, вариативность сканирования, качество сканирования, формат модели, время обработки (табл. 1).

С учетом данных табл. 1 в качестве исследуемого сервиса для создания 3D-модели можно использовать Luma AI, так как сервис является бесплатным и подходит под все требования обработки модели.

2. Создание общей 3D-модели изделия. Это основной этап создания первичной модели изделия при помощи нейросети Luma AI. В него входит видеосъемка изделия, создание первичной 3D-модели в среде редактора Luma AI (рис. 1), импорт модели в среду 3D-редактора Blender и обработка общей 3D-модели (рис. 2).



Рис. 1. 3D-модель, созданная нейросетью Luma AI

Таблица 1

**Сравнительная характеристика сервисов для создания 3D-моделей**

Название сервиса	Требования к сканированию изделия				
	Стоимость, долл. США	Вариативность	Качество	Формат модели	Время обработки, мин
3Dpresso	1,75	Видео, текст, изображение	Требуется обработка	GLB, FBX, OBJ, USDZ	35–50
MagiScan	1,6	Видео, изображение, съемка по кругу	Требуется обработка	GLB, FBX, OBJ, PLY	8–15
xOne 3D Scanner	15 за месяц подписки	Видео, изображение	Не требуется обработка	GLB, FBX, OBJ, PLY	15–20
Luma AI	Бесплатно	Видео, изображение	Требуется обработка	GLB, FBX, OBJ, PLY	25–30

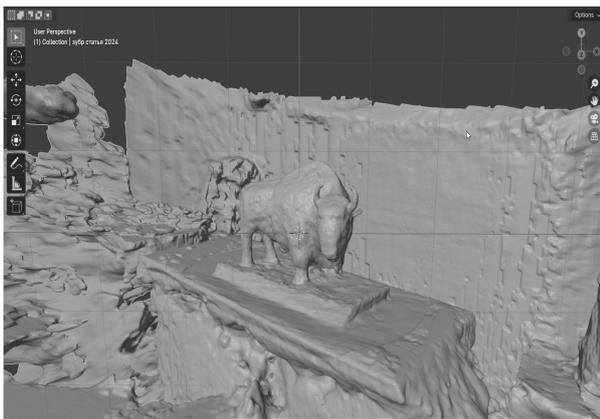


Рис. 2. 3D-модель, импортированная в среду редактора Blender

3. Обработка общей 3D-модели изделия. На данном этапе осуществляют исправления неточностей и неровностей в общей 3D-модели изделия, таких как шум и габаритные отклонения. Выделяют следующие процессы: редактирование общей модели, упрощение общей модели, габаритные исправления и общее исправление в неточностях модели (рис. 3).



Рис. 3. Общая 3D-модель изделия

4. Создание формы 3D-модели изделия. Выделяют основные процессы – настройка общей модели, уменьшение слоев и частоты построения полигонов, построение полигонального скелета модели и «ремеш» модели (придание формы) (рис. 4).

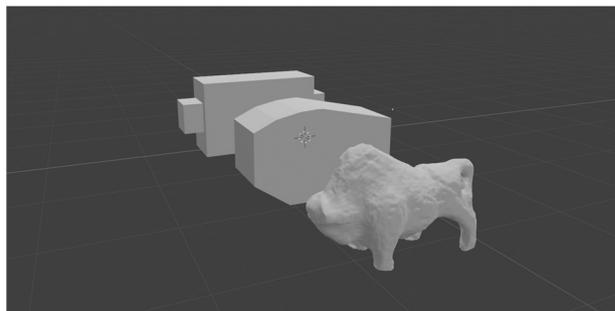


Рис. 4. 3D-формы модели на каждом этапе технологического процесса

5. Нахождение основных габаритных показателей 3D-модели изделия. Для нахождения основных габаритных показателей изделия, таких как его объем и площадь, используются разработанные аддоны для Blender. К их числу можно отнести Mesh 3D-Print Toolbox, Math Vis (Console) (рис. 5). В основном они используются для работы с 3D-печатью.

Объем модели, полученный данным методом, проверен экспериментально (весовая и объемная разность). В результате средний процент отклонения составил 2,8% (табл. 2).

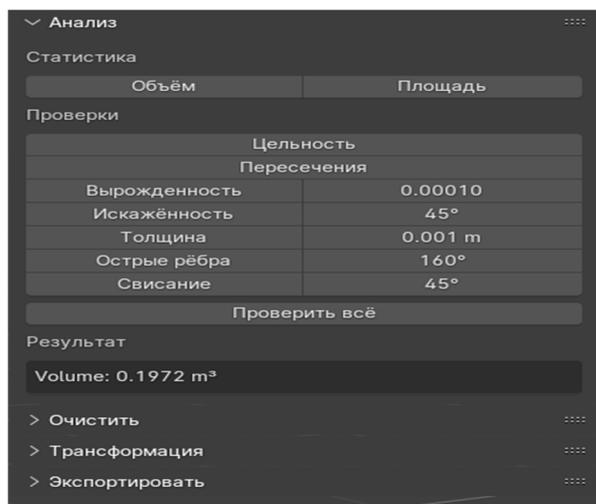


Рис. 5. Основные габаритные показатели модели изделия

Таблица 2

Результаты экспериментальных данных проверки методики нахождения объема

Номер модели	Объем модели, м <sup>3</sup> , согласно			Отклонение от исследуемой методики, %		Величина отклонения, %
	исследуемой методики	весовой методики	объемной методики	весовой методики	объемной методики	
1	0,00133	0,00135	0,00138	1,9	3,5	2,7
2	0,00111	0,00115	0,00114	3,4	2,8	3,2
3	0,00033	0,00033	0,00034	0,9	4,1	2,5
4	0,00059	0,00060	0,00061	2,8	3,4	3,1
5	0,00062	0,00063	0,00064	1,1	3,7	2,4
Среднее отклонение						2,8

Таблица 3

**Основные размеры изделий**

Номер модели	Толщина $H$ , мм	Ширина $B$ , мм	Длина $L$ , мм	Масса заготовки $m_{заг}$ , кг	Масса изделия $m_{мод}$ , кг	Объем заготовки $V_{заг}$ , м <sup>3</sup>	Объем изделия $V_{мод}$ , м <sup>3</sup>	Площадь $S$ , м <sup>2</sup>
1	65	240	160	738,58	295,35	0,00308	0,00133	0,0877
2	65	225	140	660,84	263,86	0,00278	0,00111	0,0711
3	55	135	90	223,88	87,95	0,00084	0,00033	0,0304
4	50	185	125	260,87	109,41	0,00140	0,00059	0,0535
5	55	190	120	279,79	108,42	0,00160	0,00062	0,0531

Таблица 4

**Расчет норм расхода древесных материалов на изготовление моделей зубров**

Номер модели	Объем изделия в чистоте $V_{д}$ , м <sup>3</sup>	Объем комплекта стандартных заготовок $V_{ст}$ , м <sup>3</sup>	Нормативный коэффициент технологических отходов $K_{то}$	Норма расхода стандартных заготовок с учетом технологических отходов $V_{то}$ , м <sup>3</sup>	Нормативный коэффициент полезного выхода заготовок $K_{пв}$	Норма расхода материала с учетом полезного выхода $V_{п}$ , м <sup>3</sup>
1	0,00133	0,00308	1,05	0,00140	2,38	0,00332
2	0,00111	0,00278	1,05	0,00117	2,38	0,00277
3	0,00033	0,00084	1,05	0,00035	2,38	0,00082
4	0,00059	0,00140	1,05	0,00062	2,38	0,00147
5	0,00062	0,00160	1,05	0,00065	2,38	0,00155

По результатам экспериментальных данных можно заметить, что процент отклонения варьирует от 0,9 до 4,1%, а средний процент отклонения 2,8%. Можно сделать вывод, что объем модели, полученный данным методом, является верным и варьирует в пределах 2,8%.

6. Расчет нормирования древесины и прочих отделочных и вспомогательных материалов на художественные изделия сложной формы. Перед расчетами нормирования составляют таблицу основных размеров изделия (табл. 3). Данные получены на основе имеющейся выборки художественных изделий зубров.

Расчет нормирования художественных изделий сложной формы разделяют на основные нормы расчета: древесных материалов, стандартных заготовок, клеевых материалов, шлифовальной шкурки, лакокрасочных материалов, прочих отделочных и вспомогательных материалов.

Объем сложной формы можно рассчитать по следующей формуле:

$$V_{мод} = \frac{m_{мод}}{m_{заг}} \cdot V_{заг},$$

где  $m_{мод}$  – масса модели после обработки, кг;  $m_{заг}$  – масса заготовки, кг;  $V_{заг}$  – объем заготовки, м<sup>3</sup>.

По имеющимся данным габаритных характеристик художественных моделей можно рассчитать нормы расхода древесных материалов на их изготовление (табл. 4).

Учитывая нормативные коэффициенты технологических отходов  $K_{то} = 1,05$  для нашего технологического процесса) и полезного выхода  $K_{пв} = 2,38$  для профильных изделий из древесины мягколиственных пород), можно рассчитать нормы расхода древесного материала на изготовление художественных изделий.

**Заключение.** Разработанная методика обеспечивает рациональное использование древесного сырья при производстве изделий сложных форм.

Впервые предложена методология подхода к расчету расхода материалов при изготовлении изделий архитектурных форм путем создания общей 3D-модели изделия при помощи нейросети Luma AI, в которую входит видеосъемка изделия, создание первичной 3D-модели, импорт модели в среду 3D-редактора Blender, обработка общей 3D-модели с построением полигонального скелета, «ремеш» модели, нахождение основных габаритных показателей изделия (объем и площадь) с использованием аддонов для Blender. К их числу можно отнести Mesh: 3D-Print Toolbox и Math Vis (Console).

Расчет нормирования материалов данной методикой является наиболее оптимальным вариантом, так как одновременно можно создать 3D-модель будущего изделия. В дальнейшем 3D-модель можно использовать в различных сферах маркетинга, например для создания виртуальной галереи.

### Список литературы

1. Барташевич А. А., Богомазов В. В. Технология изделий из древесины. Минск: Выш. шк., 1995. 140 с.
2. Барташевич А. А. Технология производства мебели и резьба по дереву. Минск: Выш. шк., 2001. 92 с.
3. Барташевич А. А. Технология производства. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 480 с.
4. Барташевич А. А. Материаловедение. Ростов н/Д: Феникс, 2004. 88 с.
5. Барташевич А. А. Технология изделий из древесины. Минск: БГТУ, 2006. 142 с.
6. Бухтияров В. П., Иванов Н. А., Савченко В. Ф. Полимерные материалы в производстве мебели. М.: Лесная пром-сть, 1980. 272 с.
7. Барташевич А. А. Технология изделий из древесины: в 2 ч. Ч. 1. Минск: БГТУ, 2010. 299 с.
8. Барташевич А. А. Технология изделий из древесины: в 2 ч. Ч. 2. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
9. Пижурин А. А., Розенблит М. С. Основы моделирования и оптимизации процессов деревообработки. М.: Лесная пром-сть, 1988. 296 с.
10. Покрyтия защитно-декоративные: СТБ 1871–2008. Минск: БелГИСС, 2008. 18 с.
11. Инструкция по нормированию расхода материалов в основном производстве мебели. М.: ВПКТИМ, 1989. 83 с.
12. Бахар Л. М. Материалы для столярных изделий. Минск: БГТУ, 2007. 69 с.
13. Игнатович Л. В. Технология изделий из древесины: проектирование производственного процесса. Минск: БГТУ, 2006. 208 с.
14. Батин Н. А. Технология лесопильно-деревообрабатывающих производств. Минск: БГТУ, 1991. 89 с.
15. Янушкевич А. А. Технология лесопильных производств. Минск: БГТУ, 2010. 330 с.

### References

1. Bartashevich A. A., Bogomazov V. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 1995. 140 p. (In Russian).
2. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli i rez'ba po derevu* [Technology of furniture production and wood carving]. Minsk, Vysheyshaya shkola Publ., 2001. 92 p. (In Russian).
3. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva* [Production technology]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2003. 480 p. (In Russian).
4. Bartashevich A. A. *Materialovedeniye* [Materials science]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2004. 88 p. (In Russian).
5. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny* [Technology of wood products]. Minsk, BSTU Publ., 2006. 142 p. (In Russian).
6. Bukhtiyarov V. P., Ivanov N. A., Savchenko V. F. *Polimernyye materialy v proizvodstve mebeli* [Polymer materials in furniture production]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1980. 272 p. (In Russian).
7. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny: v 2 ch. Ch. 1* [Technology of wood products. Part 1]. Minsk, BSTU Publ., 2010. 299 p. (In Russian).
8. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny: v 2 ch. Ch. 2* [Technology of wood products. Part 2]. Minsk, BSTU Publ., 2010. 178 p. (In Russian).
9. Pizhurin A. A., Rezenblit M. S. *Osnovy modelirovaniya i optimizatsii protsessov derevoobrabotki* [Fundamentals of modeling and optimization of woodworking processes]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1988. 296 p. (In Russian).
10. СТБ 1871–2008. Protective and decorative coatings. Minsk, BelGISS Publ., 2008. 18 p. (In Russian).
11. *Instruktsiya po normirovaniyu raskkhoda materialov v osnovnom proizvodstve mebeli* [Instructions for rationing material consumption in the main furniture production]. Moscow, VPKTIM Publ., 1989. 83 p. (In Russian).
12. Bakhar L. M. *Materialy dlya stolyarnykh izdeliy* [Materials for joinery]. Minsk, BSTU Publ., 2007. 69 p. (In Russian).
13. Ignatovich L. V. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny: proyektirovaniye proizvodstvennogo protsessa* [Technology of wood products: design of the production process]. Minsk, BSTU Publ., 2006. 208 p. (In Russian).
14. Batin N. A. *Tekhnologiya lesopil'no-derevoobrabatyvayushchikh proizvodstv* [Technology of sawmills and woodworking industries]. Minsk, BSTU Publ., 1991. 89 p. (In Russian).
15. Yanushkevich A. A. *Tekhnologiya lesopil'nykh proizvodstv* [Sawmill technology]. Minsk, BSTU Publ., 2010. 330 p. (In Russian).

### Информация об авторах

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

**Леонович Олег Константинович** – кандидат технических наук, доцент кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: okl2001@mail.ru

**Божелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Дупанов Сергей Александрович** – аспирант, инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

#### **Information about the authors**

**Bazhko Danila Vyacheslavovich** – PhD student, engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bozhko.tdp@mail.ru

**Leonovich Oleg Konstantinavich** – PhD (Engineering), Assistant Professor, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: okl2001@mail.ru

**Bazhelka Ihar Kanstantinavich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Dupanov Sergey Alexandrovich** – PhD student, engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: ser.dupanov@gmail.com

*Поступила 20.03.2024*

# ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ

## WOODWORKING INDUSTRY

---

УДК 674.048

**И. К. Божелко<sup>1</sup>, А. А. Коновалова<sup>1</sup>, Л. В. Радкевич<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси

### ОТБЕЛИВАНИЕ ДРЕВЕСИНЫ БЕСХЛОРНЫМ СОСТАВОМ

В статье представлены результаты испытаний бесхлорного состава Bio-Wood 0621 для отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами. В ходе работы проведен анализ хлорсодержащих составов для отбеливания древесины и составов без хлора. Целью настоящей работы были исследование и анализ состава для отбеливания древесины без хлора Bio-Wood 0621 и подбор температурно-временных условий его применения для достижения высокой степени отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами, а также оценка его биозащитных свойств. Показано, что оптимальными условиями при использовании состава для отбеливания древесины без хлора на основе перкарбоната натрия является концентрация рабочего отбеливающего раствора не ниже 6 мас. % и проведение процесса отбеливания при температуре не ниже 60°C. Установлено, что состав Bio-Wood 0621 не только обеспечивает отбеливание древесины, но и дает более длительную антисептическую защиту от повторного образования синевы и плесени. Данный состав экологичен, не корродирует пропиточное оборудование, безопасен для работающих с ним, поэтому может успешно использоваться на деревообрабатывающих предприятиях для отбеливания и защиты пиломатериалов.

**Ключевые слова:** экологичное отбеливание древесины, составы без хлора, биостойкость.

**Для цитирования:** Божелко И. К., Коновалова А. А., Радкевич Л. В. Отбеливание древесины бесхлорным составом // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 180–186.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-22.

**I. K. Bazhelka<sup>1</sup>, A. A. Konovalova<sup>1</sup>, L. V. Radkevich<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>A. V. Luikov Heat and Mass Transfer Institute of National Academy of Science of Belarus

### BLEACHING WOOD WITH CHLORINE-FREE COMPOSITION

The article presents the results of tests of the chlorine-free composition Bio-Wood 0621 for bleaching wood affected by wood staining and mold fungi. During the work, an analysis of chlorine-containing compositions for bleaching wood and compositions without chlorine was carried out. The purpose of this work was to study and analyze the composition for bleaching wood without chlorine Bio-Wood 0621 and select the temperature and time conditions for its use to achieve a high degree of bleaching of wood affected by wood staining and mold fungi, as well as to evaluate its bioprotective properties. It has been shown that the optimal conditions when using a chlorine-free wood bleaching composition based on sodium percarbonate is the concentration of the working bleaching solution not lower than 6 wt. % and carrying out the bleaching process at a temperature not lower than 60°C. It has been established that the Bio-Wood 0621 composition not only provides wood bleaching, but also provides longer-lasting antiseptic protection against the re-formation of blue stains and mold. This composition is environmentally friendly, does not corrode impregnating equipment, is safe for those working with it, therefore can be successfully used in woodworking enterprises for bleaching and protecting lumber.

**Keywords:** eco-friendly wood bleaching, chlorine-free formulations, biostability.

**For citation:** Bazhelka I. K., Konovalova A. A., Radkevich L. V. Bleaching wood with chlorine-free composition. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 180–186 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-22.

**Введение.** В настоящее время все большее число исследований направлено на разработку экологически безопасных энерго- и ресурсосберегающих технологий переработки возобновляемого сырья с целью получения продукции с заданными потребительскими свойствами. Сегодня древесина является одним из самых востребованных материалов, поэтому и эстетические, и физические свойства древесины как конструкционного материала влияют на эксплуатационные качества сооружений и изготовленных из нее конструкций. Однако со временем древесина разрушается под воздействием воды, солнца и перепадов температур [1]. В результате этих процессов происходит деструкция верхних слоев древесины и развивается благоприятная среда для заселения спорами грибов и развития бактерий. Из-за неблагоприятных условий эксплуатации, а также при отсутствии должной обработки древесные материалы подвергаются гниению. Гнилое дерево теряет свою плотность, существенно снижается прочность и эластичность материала, теряются внешние декоративные качества. Особенно это актуально, если речь идет об отделке зданий и сооружений. В результате в жилых помещениях может появиться опасная для здоровья плесень, приводящая к ряду заболеваний, в числе которых различного вида аллергии, бронхит и астма.

Гнилостные процессы на древесных материалах вызывают плесневые грибки и бактерии. Эти микроорганизмы выделяют ферменты, разрушающие целлюлозу, полисахариды и лигнин, из которых состоит древесина. Наиболее благоприятные для роста грибов условия: температура 20–35°C, влажность 30–50%, отсутствие воздухообмена. К наиболее распространенным видам гнили на древесине относятся синевая, мраморная, белая, красная и бурая гниль.

Существует два механизма загнивания, каждый из которых имеет свои признаки. Деструктивное гниение вызывают микроорганизмы, разрушающие непосредственно целлюлозу. В этом случае наблюдается резкое уменьшение толщины клеточных стенок трахеид. Это происходит за счет гидролитического действия микоферментов на полисахариды вторичной стенки вплоть до полного ее разрушения [2]. Деревянные элементы покрываются серыми, черными, синими прожилками и пятнами, а со временем деформируются, трескаются и крошатся. Коррозионное гниение возникает при поражении лигнина – сложного органического соединения, придающего дереву прочность и привлекательный внешний вид. Изменения происходят за счет процессов энзиматической делигнификации клеточных стенок волокон либриформа [2]. При таком виде разрушения на поверхности древесины образуются отверстия, ямки и углубления с белесыми остатками целлюлозы.

Сегодня существует множество средств вернуть древесине естественный цвет, не изменяя ее структуру и сохраняя природные свойства. Процесс отбеливания поверхности древесных материалов заключается в обесцвечивании пигментных связей за счет разрушения хромофорных групп, деструкции смол, характерных красящих веществ в некоторых породах древесины, а кроме того, происходит деструкция клеток деревообрабатывающих и плесневелых грибов и продуктов их жизнедеятельности. Известно, что окраску древесным материалам придают, прежде всего, фенольные и энольные гидроксилы бензольных колец лигнина и лигноподобных веществ, а также экстрактивные вещества и, в первую очередь, полифенолы [3, 4]. Потемнение древесины могут вызывать также окрашенные производные хиноидного типа, полученные в результате окисления лигнина кислородом. К числу распространенных хромофоров относятся также функциональные группы  $=CO$ ,  $-CH=CH-$ , в особенности, если они сопряжены с бензольным ядром. Средства для отбеливания древесины, химические свойства которых основываются прежде всего на их окислительных качествах, делятся на два вида: составы без хлора и хлорсодержащие составы [5]. Использование гипохлорита натрия при отбеливании пораженной древесины, как правило, оправдывается его низкой стоимостью и достаточно высокой эффективностью [6]. Однако в зависимости от сортности древесины и толщины обрабатываемых древесных материалов снижение прочностных характеристик древесных материалов может быть существенным. Кроме того, хлорсодержащие отбеливатели вызывают раздражающее действие на слизистую оболочку глаз, кожу рук и органы дыхания, а при попадании в окружающую среду могут стать источником заражения водных сред. Таким образом, отказ от использования гипохлорита натрия в пользу кислородных отбеливателей позволит повысить качество отбеливания, например при производстве бумаги, значительно сократить количество хлорорганических соединений, поступающих на очистные сооружения, и полностью исключить образование хлороформа, а кроме улучшения охраны окружающей среды, существенно сократить расходы на очистку сточных вод [7].

Наиболее изучены механизмы отбеливания древесных материалов в целлюлозно-бумажном производстве и в текстильной промышленности [8]. Известно, что пероксид водорода обладает более низким окислительным эквивалентом, чем у гипохлорита и диоксида хлора. Однако окислительное действие его избирательно и направлено на остаточный лигнин, точнее на его хромофорные группы, разрушение которых обеспечивает эффективное повышение степени белизны [9].

Непосредственно отбеливающее (окислительное) воздействие на древесные волокна оказывает пероксидный ион  $\text{HO}_2^-$ , возникающий в результате гидролитической диссоциации пероксида водорода:  $\text{H}_2\text{O}_2 \leftrightarrow \text{H}^+ + \text{HO}_2^-$ . Пероксид водорода взаимодействует с органическими соединениями в водном растворе преимущественно по радикально-цепному механизму, о чем свидетельствует ингибирование таких процессов ненасыщенными мономерами и другими акцепторами свободных радикалов (например, акриламидом). Предполагается, что некаталитическое окисление пероксида водорода соединений, моделирующих структуру лигнина, протекает по радикально-цепному механизму с участием как фенольных гидроксильных, так и функциональных групп в боковой цепи [10, 11]. Степень диссоциации пероксида водорода очень мала ( $2,24 \cdot 10^{-12}$  при  $25^\circ\text{C}$ ), но она усиливается при повышении температуры и по мере расходования иона  $\text{HO}_2^-$  на реакции с хромоформными группами лигнина. Диссоциации пероксида способствует также повышение pH, так как при этом сдвигается вправо равновесие реакции. При низких pH пероксид водорода неустоек и легко разлагается на воду и молекулярный кислород и отбеливание материалов практически не происходит. Для стабилизации процесса отбелки пероксидом водорода ведут в щелочной среде (pH = 10–10,5), применяя в качестве щелочного буфера наряду с гидроксидом натрия (NaOH) чаще всего силикат натрия ( $\text{Na}_2\text{SiO}_3$ ) [12]. Скорость разложения пероксида водорода увеличивается в присутствии ионов тяжелых металлов, например, ионов Fe, Mn, Cu, Ni, образующих неустойчивые пероксиды или комплексные соединения гидропероксидных ионов [13]. Для уменьшения каталитического действия ионов тяжелых металлов в качестве пассиваторов добавляют соли магния, фосфаты и полифосфаты щелочных металлов, ЭДТА или Трилон Б. Повышение температуры при отбелке также активизирует разложение пероксида водорода. Надо отметить, что наряду с экологичностью и селективностью процесса мягкое окислительное действие пероксида водорода обеспечивает сохранение механических показателей целлюлозы и оказывает меньшее воздействие на ее углеводную часть [14]. Для снижения деструкции целлюлозы в процессах отбелки целесообразно использовать и другие пероксосоединения, например перкарбонат натрия [11, 15].

Перкарбонат натрия ( $\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot 1,5\text{H}_2\text{O}_2$ ) – безвредный для человека и природы экологически чистый отбеливатель, представляющий собой неорганическое соединение, кристаллический сольват карбоната натрия и перекиси водорода при растворении в воде распадается на активный кислород, воду и кальцинированную соду. Получают его обычно из сильно разбавленного раствора

пероксида водорода и водного содового раствора или кристаллического карбоната натрия и концентрированного раствора пероксида водорода. В отличие от других отбеливающих средств перкарбонат натрия, представляющий собой твердое вещество, можно хранить достаточно долго при соблюдении некоторых правил безопасности: хранить в герметичных упаковках, исключить попадание ультрафиолета, поддерживать температуру до  $40^\circ\text{C}$ . Кроме того, перкарбонат натрия, как и пероксид водорода, является отличным антисептиком. По данным Центра по контролю и профилактике заболеваний, перекись водорода убивает грибки, бактерии, вирусы и споры плесени [16].

Таким образом, разработка и внедрение экологических и экологически безопасных составов и разработка технологий отбеливания древесных материалов в современных условиях является актуальной задачей для Республики Беларусь и имеет не только научный интерес, но и практическую значимость.

**Основная часть.** Целью настоящей работы является исследование и анализ состава для отбеливания древесины без хлора Bio-Wood 0621 и подбор наиболее оптимальных условий его применения для достижения оптимальной степени отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами.

Для проведения эксперимента были подготовлены образцы из сухой древесины сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.), которые представлены на рис. 1. Образцы древесины размером 50 мм (длина) × 50 мм (ширина) × 12 мм (толщина) были выпилены из одной доски, равномерно пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами.

Испытания проводились пятью отбеливающими растворами (для каждого раствора использовалось не менее трех образцов древесины). Отбеливающие растворы № 1–4 представляли собой водные растворы Bio-Wood 0621. В качестве образца сравнения использовали состав для отбеливания древесины на основе гипохлорита (раствор № 5). Отбеливающий раствор № 1 представлял собой Bio-Wood 0621 в готовом виде с концентрацией 6 мас. %, отбеливающие растворы № 2–4 использовали с концентрацией 3 мас. %.

Процесс отбеливания подготовленных образцов древесины проводился погружением их в отбеливающие растворы при различной температуре в течение 60 мин. Перед началом испытаний фиксировали исходную массу подготовленных образцов. Эксперимент проводили при следующих условиях: температура растворов № 1 и 2 составляла  $60^\circ\text{C}$ , раствора № 3 –  $50^\circ\text{C}$ , раствора № 4 –  $40^\circ\text{C}$ , раствора № 5 –  $20^\circ\text{C}$ . В лабораторных условиях закрытые емкости с отбеливающими растворами и погруженными в них образцами

древесины выдерживали при температурах 40, 50 и 60°C в сушильных шкафах заданное время. Затем образцы извлекали из отбеливающих растворов и после промокания поверхности бумажными полотенцами взвешивали для определения поглощения раствора.

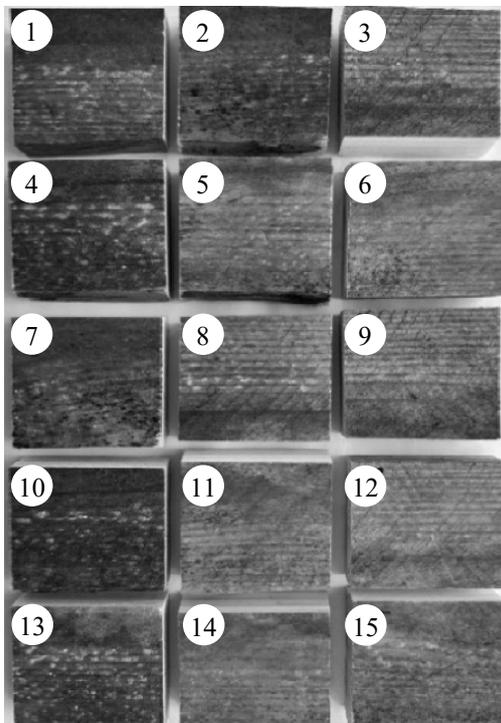


Рис. 1. Образцы древесины, подготовленные для проведения испытаний (раствор № 1 – образцы 1–3; раствор № 2 – образцы 4–6; раствор № 3 – образцы 7–9; раствор № 4 – образцы 10–12; раствор № 5 – образцы 13–15)

Поглощение отбеливающих растворов ( $\Pi$ , кг/м<sup>3</sup>), вычисляли по формуле

$$\Pi = \frac{(m_{\text{после}} - m_{\text{до}}) \cdot 10^{-3}}{a \cdot b \cdot l},$$

где  $m_{\text{после}}$  – масса образца древесины после окунания, г;  $m_{\text{до}}$  – масса образца древесины до окунания, г;  $a$  – ширина образца древесины, м;  $b$  – толщина образца древесины, м;  $l$  – длина образца древесины, м.

Эффективность отбеливания растворов оценивали визуально, сравнивая изменение цвета образцов древесины до и после проведения обработки.

Как видно из рис. 2, наибольшую степень отбеливания, сразу после извлечения образцов из растворов, продемонстрировали отбеливающие растворы № 1 и 2. Кроме того, по сравнению с образцами древесины, обработанными растворами № 3, 4 и 5, эти растворы смогли отбелить

более глубокие слои древесины. Так как отбеливающие растворы имеют свойство продолжать свое воздействие на пораженные участки древесины и после извлечения образцов, то наиболее объективную оценку их отбеливающей способности можно дать только спустя время, когда растворы полностью зафиксируются в древесине, а образцы достигнут равновесной влажности. Надо отметить также, что отбеливающий раствор № 5 на основе гипохлорита натрия не проявил большей эффективности, чем менее концентрированные растворы № 1–4.

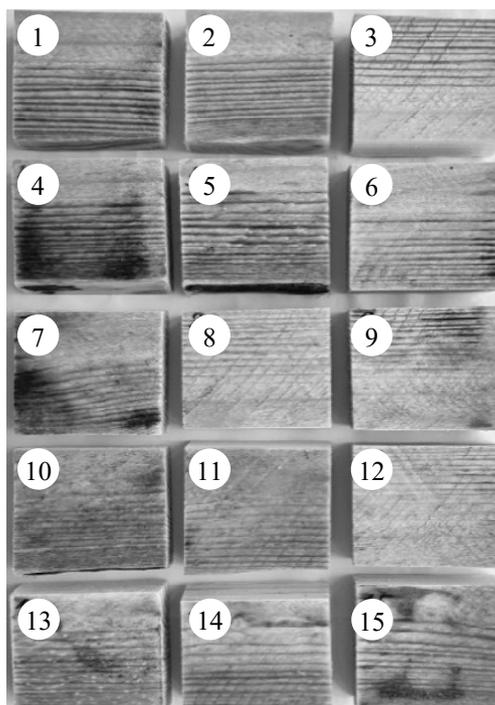


Рис. 2. Образцы древесины сразу после извлечения из пропиточных растворов

#### Результаты проведения обработки деревянных образцов

Номер образца	Масса до окунания, г	Масса после окунания, г	Поглощение раствора, кг/м <sup>3</sup>
1	17,380	28,620	0,37
2	17,700	28,280	0,35
3	17,135	26,950	0,33
4	17,450	25,220	0,26
5	18,115	27,150	0,30
6	17,025	24,680	0,26
7	19,790	24,855	0,17
8	17,715	21,185	0,12
9	16,525	22,445	0,20
10	17,415	22,580	0,17
11	17,715	21,015	0,11
12	16,525	19,910	0,11
13	17,550	30,940	0,45
14	17,070	27,780	0,36
15	18,015	26,265	0,28

Для определения времени, через которое произойдет полное воздействие отбеливающего средства, проводилась визуальная оценка образцов древесины при выдерживании на воздухе при температуре 20°C в течение 4, 8 и 12 ч. Окончательную оценку степени отбеливания проводили спустя 24 ч после извлечения образцов древесины из растворов.

Как видно на фотографиях (рис. 3, 4), сделанных спустя 12 и 24 ч, после достижения образцами древесины равновесной влажности раствор № 1 продемонстрировал наибольшую степень отбеливания. Он смог проникнуть в более глубокие слои древесины и отбелить их.

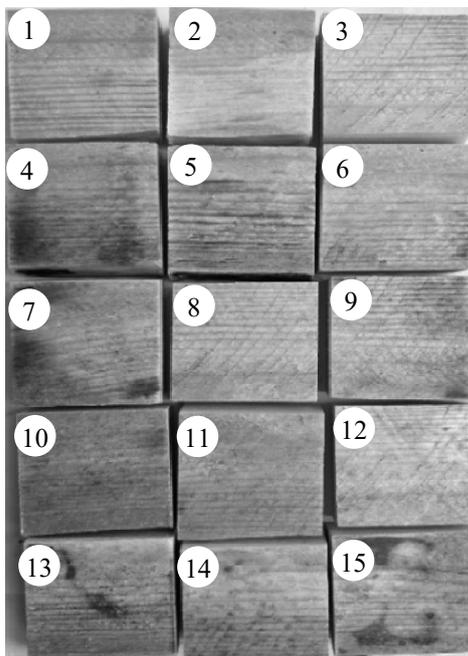


Рис. 3. Образцы древесины спустя 12 ч после извлечения из пропиточных растворов

После оценки степени отбеливания образцы были оставлены при температуре  $25 \pm 1^\circ\text{C}$  и влажности 60–70% на две недели.

Спустя две недели после отбеливания была проведена оценка образцов древесины, ранее пораженных древоокрашивающими и плесневыми грибами. Так как после отбеливания не была произведена обработка защитными составами, образцы 1–3, несмотря на хорошие отбеливающие свойства раствора, которым они были пропитаны, начали постепенно темнеть. На образцах древесины, пропитанных отбеливающими растворами № 2–5 синева проявлялась медленно, начиная из глубинных слоев. Однако стоит отметить, что на этих образцах наблюдается не только проявление синевы, но и образование спор грибов. Тем самым подтверждается необходимость обязательной дополнительной обработки отбеленной древесины биозащитными составами в крат-

чайшие сроки для предотвращения повторного образования синевы и плесени.

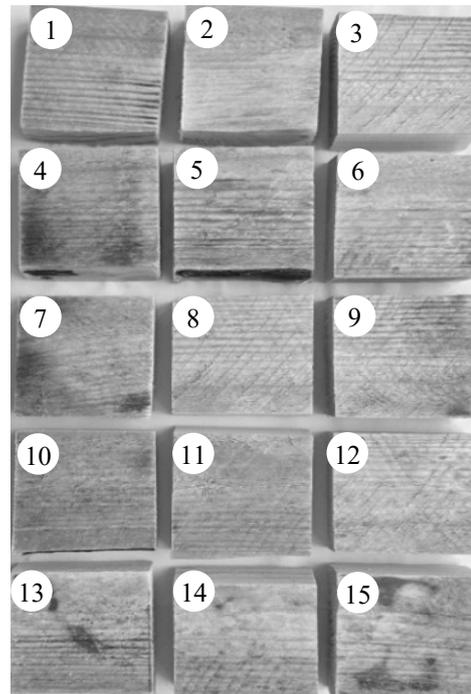


Рис. 4. Образцы древесины спустя 24 ч после извлечения из пропиточных растворов

**Заключение.** В ходе эксперимента была не только проведена оценка отбеливающей способности состава без хлора в сравнении с широко применяемыми составами на основе гипохлорита, но и определены оптимальные условия применения такого отбеливающего раствора: концентрация, температура и время обработки древесины. По результатам проведения исследования наибольшую отбеливающую способность продемонстрировал отбеливающий раствор № 1, который отбеливает не только поверхностную синеву, но и глубокую заболонную гниль.

Таким образом, наиболее оптимальными условиями при использовании состава для отбеливания древесины Bio-Wood 0621, не содержащего хлора, является концентрация рабочего отбеливающего раствора не ниже 6 мас. % и проведение процесса отбеливания при температуре не ниже 60°C. При таких условиях использования отбеливающий состав Bio-Wood 0621 обеспечивает не только отбеливание древесины, но и дает более длительную антисептическую защиту от повторного образования синевы и плесени.

Применение данного состава на деревообрабатывающих предприятиях Республики Беларусь позволит не только эффективно отбеливать изделия из древесины, но и снижать негативное воздействие на организм работников и окружающую среду по сравнению с традиционно используемыми хлорсодержащими отбеливающими составами.

## Список литературы

1. Ozcifci A., Özbay G. Impacts of bleaching chemicals and outdoor exposure on changes in the color of some varnished woods // *BioResources*. 2010. Vol. 5, issue 2. P. 586–597. DOI: 10.15376/biores.5.2. 586-597.
2. Кононов Г. Н., Веревкин А. Н., Сердюкова Ю. В. Физико-химические изменения анатомической структуры микологически разрушенной древесины // *Лесной вестник. Деревообработка и химические технологии*. 2016. № 6. С. 97–102.
3. Никишин В. М., Оболенская А. В., Щеголев В. П. Химия древесины и целлюлозы. М.: Лесная пром-сть, 1978. 367 с.
4. Ботвин М. В., Полянская И. С. Отбеливающие вещества в деревоперерабатывающей промышленности // *Интеграция науки и практики в современных условиях: материалы Междунар. науч.-практ. конф., Минск, 28 окт. 2020 г. Минск, 2020. С. 55–59.*
5. Божелко И. К., Коновалова А. А. Сравнительная оценка способов и средств для отбеливания древесины // *Лесная инженерия, материаловедение и дизайн: материалы 87-й науч.-техн. конф. (с междунар. участием), Минск, 31 янв. – 17 фев. 2023 г. Минск, 2023. С. 164–167.*
6. Божелко И. К., Коновалова А. А., Радкевич Л. В. Оценка составов для отбеливания древесины, пораженной деревоокрашивающими и плесневыми грибами // *Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов*. 2023. № 2 (270). С. 217–223.
7. Кряжев А. М., Голуб О. В., Санжаровский А. Ю. Энциклопедия технологий 2.0: Производство неметаллов. М.; СПб.: Центр экол. пром. политики, 2022. 145 с.
8. Милорадова Л. А., Комарова Г. В., Королева Т. А. Отбелка целлюлозы. Архангельск: АГТУ, 2005. 130 с.
9. Хакимова Ф. Х., Синяев К. А., Андраковский Р. Э. Разработка технологии получения древесной целлюлозы для химической переработки // *Химия растительного сырья*. 2020. № 2. С. 333–343.
10. Кисленко В. Н., Берлин А. А. Кинетика и механизм окисления химических веществ пероксидом водорода // *Успехи химии*. 1991. Т. 60, вып. 5. С. 949–981.
11. Демин В. А. Активация и окисление лигнина в процессах отбеливания сульфатной целлюлозы. 1. Механизм активации и окисления пероксидом водорода // *Химия древесины*. 1994. № 3. С. 29–37.
12. Пестова Н. Ф. Производство древесной массы. Сыктывкар: СЛИ, 2013. 101 с.
13. Попова Н. Р., Боголицын К. Г., Поварницына Т. В. Каталитическое окисление лигнинных веществ с использованием в качестве катализаторов полиоксометаллатов // *Химия растительного сырья*. 2008. № 4. С. 5–14.
14. Пероксидная делигнификация целлюлозы / Ф. Х. Хакимова [и др.] // *Вестник ПНИПУ. Химическая технология и биотехнология*. 2016. № 4. С. 70–79.
15. McKillop A., Sanderson W. R. Sodium perborate and sodium percarbonate: cheap, safe and versatile oxidising agents for organic synthesis // *Tetrahedron*. 1995. Vol. 51, issue 22. P. 6145–6166. DOI: 10.1016/0040-4020(95)00304-q.
16. Иванова А. С., Козак С. С. Применение препаратов на основе перекиси водорода при санитарной обработке оборудования и поверхностей в убойном цехе // *Всё о мясе*. 2011. № 3. С. 33–36.

## References

1. Ozcifci A., Özbay G. Impacts of bleaching chemicals and outdoor exposure on changes in the color of some varnished woods. *BioResources*, 2010, vol. 5, issue 2, pp. 586–597. DOI: 10.15376/biores.5.2. 586-597.
2. Kononov G. N., Verevkin A. N., Serdyukova Yu. V. Physico-chemical changes in the anatomical structure of mycologically destroyed wood. *Lesnoy vestnik. Derevoobrabotka i khimicheskiye tekhnologii* [Forest Bulletin. Woodworking and Chemical Technologies], 2016, no. 6, pp. 97–102 (In Russian).
3. Nikishin V. M., Obolenskaya A. V., Shchegolev V. P. *khimiya drevesiny i tsellyulozy* [Chemistry of wood and cellulose]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1978. 367 p. (In Russian).
4. Botvin M. V., Polyanskaya I. S. Bleaching agents in the wood processing industry. *Integratsiya nauki i praktiki v sovremennykh usloviyakh: materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Integration of science and practice in modern conditions: materials of the International scientific and practical conference]. Minsk, 2020, pp. 55–59 (In Russian).
5. Bazhelka I. K., Kanavalava A. A. Comparative assessment of methods and means for bleaching wood. *Lesnaya inzheneriya, materialovedeniye i dizayn: materialy 87-y nauchno-tekhnicheskoy konferentsii (s mezhdunarodnym uchastiyem)* [Forestry engineering, materials science and design: proceedings of the 87th scientific and technical conference (with international participation)]. Minsk, 2023, pp. 164–167 (In Russian).
6. Bazhelka I. K., Kanavalava A. A., Radkevich L. V. Evaluation of compositions for bleaching wood affected by wood staining and mold fungi. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources, 2023, pp. 217–223 (In Russian).

7. Kryazhev A. M., Golub O. V., Sanzharovskiy A. Yu. *Entsiklopediya tekhnologiy 2.0: Proizvodstvo nemetallov* [Encyclopedia of Technology 2.0: Production of non-metals]. Moscow, Saint Petersburg, Central ecological and industrial policy Publ., 2022. 145 p. (In Russian).

8. Miloradova L. A., Komarova G. V., Koroleva T. A. *Otbelka tsellyulozy* [Pulp Bleaching]. Arkhangelsk, AGTU Publ., 2005. 130 p. (In Russian).

9. Hakimova F. H., Sinyaev K. A., Andrakovskiy R. E. Development of technology for producing wood pulp for chemical processing. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2020, no. 2, pp. 333–343 (In Russian).

10. Kislenko V. N., Berlin A. A. Kinetics and mechanism of oxidation of organic compounds with hydrogen peroxide. *Uspekhi himii* [Advances in chemistry], 1991, vol. 60, no. 5, pp. 949–981 (In Russian).

11. Demin V. A. Activation and oxidation of lignin in sulphate pulp bleaching processes. 1. The mechanism of activation and oxidation with hydrogen peroxide. *Khimiya drevesiny* [Wood chemistry], 1994, no. 3, pp. 29–37 (In Russian).

12. Pestova N. F. *Proizvodstvo drevesnoy massy* [Wood pulp production]. Syktyvkar, SLI Publ., 2013. 101 p. (In Russian).

13. Popova N. R., Bogolitsyn K. G., Povarnitsyna T. V. Catalytic oxidation of lignin substances using polyoxometalates as catalysts. *Khimiya rastitel'nogo syr'ya* [Chemistry of plant materials], 2008, no. 4, pp. 5–14 (In Russian).

14. Hakimova F. H., Sinyaev K. A., Zhulanova A. E., Hakimov R. R. Peroxide delignification. *Vestnik PNIPIU. Khimicheskaya tekhnologiya i biotekhnologiya* [Bulletin of PNIPIU. Chemical technology and biotechnology], 2016, no. 4, pp. 70–79 (In Russian).

15. McKillop A., Sanderson W. R. Sodium perborate and sodium percarbonate: cheap, safe and versatile oxidising agents for organic synthesis. *Tetrahedron*, 1995, vol. 51, issue 22, pp. 6145–6166. DOI: 10.1016/0040-4020(95)00304-q.

16. Ivanova A. S., Kozak S. S. The use of hydrogen peroxide-based preparations for sanitary treatment of equipment and surfaces in the slaughterhouse. *Vsyo o myase* [All about meat], 2011, no. 3, pp. 33–36 (In Russian).

### Информация об авторах

**Божелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Коновалова Анастасия Александровна** – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

**Радкевич Людмила Вячеславовна** – научный сотрудник лаборатории реофизики и макрокинетики. Институт тепло- и массообмена имени А. В. Лыкова Национальной академии наук Беларуси (220072, г. Минск, ул. П. Бровки, 15, Республика Беларусь). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

### Information about the authors

**Bazhelka Ihar** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: bikbstu@mail.ru

**Kanavalava Anastasiya** – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: anastasiyakonov@gmail.com

**Radkevich Luidmila** – Researcher, the Rheophysics and Macrokinetics Laboratory. A. V. Luikov Institute of Heat and Mass Transfer of the National Academy of Sciences of Belarus (15, Brovki str., 220072, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: l.radkevich.69@gmail.com

Поступила 15.03.2024

УДК 674.048

**А. Ю. Бовтрель<sup>1</sup>, И. К. Божелко<sup>1</sup>, П. С. Нехведович<sup>2</sup>, И. В. Генюш<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>ООО «ДиДиЕгрупп»**ИССЛЕДОВАНИЕ СОВРЕМЕННЫХ БИОВЛАГОЗАЩИТНЫХ ПРЕПАРАТОВ  
ДЛЯ ОБРАБОТКИ ДРЕВЕСИНЫ И ДЕРЕВЯННЫХ КОНСТРУКЦИЙ**

В силу своего природного происхождения, древесина подвержена воздействию грибов, водорослей, насекомых и т. д. Грибы являются одними из самых распространенных вредителей в природе. Их развитию способствуют температура 5–30°C и влажность более 22%. На первой стадии поражения древесины появляются плесневые грибы. Они образуют налет на поверхности древесины. Затем начинают развиваться деревоокрашивающие грибы. Они окрашивают древесину. А завершают процесс разрушения дереворазрушающие грибы. Они вызывают сильное гниение древесины. Ранее наиболее распространенными методами защиты были обжигание, «запечатывание» смолой, покрытие воском, просмаливание льняным или подсолнечным маслом. Подобные технологии использовались долгое время, но в XIX в. появился первый химический консервант креозот. Кроме креозота для защиты столбов использовали пентахлорфенол. Его получали из хлора и фенола. В XX в. яды сменились доступными и недорогими соевыми пропитками. В современном мире для защиты древесины и изделий из нее, а также для увеличения срока эксплуатации используют разные защитные средства. Однако многие из них могут оказывать различные вредные действия как на человека, так и на окружающую среду. Также существует ряд проблем, связанных с задержанием антисептика непосредственно в самой древесине. В статье проведен анализ биовлагозащитных составов, распространенных на территории Беларуси и России. Было выделено две основные группы: пленочные (толстопленочные, тонкопленочные) и беспленочные. Особый интерес для исследования представляют составы, имеющие тонкопленочное покрытие, а также беспленочные. Сделана сравнительная оценка эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов.

**Ключевые слова:** древесина, биозащита, домостроение, грибы, антисептик, биостойкость, влагостойкость.

**Для цитирования:** Бовтрель А. Ю., Божелко И. К., Нехведович П. С., Генюш И. В. Исследование современных биовлагозащитных препаратов для обработки древесины и деревянных конструкций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 187–193.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-23.

**A. Yu. Bovtrel<sup>1</sup>, I. K. Bazhelka<sup>1</sup>, P. S. Nekhviadovich<sup>2</sup>, I. V. Genyush<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>LLC “DiDiEgroup”**RESEARCH OF MODERN BIO-MOISTURE PROTECTIVE PREPARATIONS  
FOR PROCESSING WOOD AND WOODEN STRUCTURES**

Due to its natural origin, wood is susceptible to fungi, algae, insects, etc. Fungi are one of the most common pests in nature. Their development is favored by temperatures of 5–30°C and humidity of more than 22%. At the first stage of wood damage, mold fungi appear. They form a coating on the surface of the wood. Then wood-staining fungi begin to develop. They stain the wood. And the destruction process is completed by wood-decaying fungi. They cause severe wood rot. Previously, the most common methods of protection were burning, “sealing” with resin, coating with wax, and tarring with linseed or sunflower oil. Similar technologies have been used for a long time, but in the 19th century. The first chemical preservative, creosote, appeared. In addition to creosote, pentachlorophenol was used to protect the poles. It was obtained from chlorine and phenol. In the 20th century poisons were replaced by accessible and inexpensive salt impregnations. In the modern world, various protective agents are used to protect wood and products made from it, as well as to increase their service life. However, many of them can have various harmful effects on both humans and the environment. There are also a number of problems associated with the retention of antiseptic directly in the wood itself. The article analyzes bio-moisture-protective compounds common in Belarus and Russia. Two main groups were distinguished: film (thick film, thin film) and filmless. Of particular interest for research are compositions with a thin-film coating, as well as film-free ones. A comparative assessment of the effectiveness against wood staining and mold fungi was made.

**Keywords:** wood, bioprotection, house building, mushrooms, antiseptic, biostability, moisture resistance.

**For citation:** Bovtrel A. Yu., Bazhelka I. K., Nekhviadovich P. S., Genyush I. V. Research of modern bio-moisture protective preparations for processing wood and wooden structures. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282). P. 187–193 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-23.

**Введение.** Биовлагозащитные составы применяются для борьбы с различными вредителями древесины, а также придают ей гидрофобные свойства и декоративный эффект.

Целью данной работы является исследование современных биовлагозащитных препаратов для обработки древесины и деревянных конструкций, представленных на рынке Беларуси и России, а также оценка биозащитной эффективности.

**Основная часть.** Древесина является строительным материалом, который широко используется в различных отраслях: строительстве, производстве мебели и музыкальных инструментов, деревянном домостроении и т. д. Однако в силу своего природного происхождения, она подвержена воздействию различных биологических факторов. Среди них можно выделить следующие:

- насекомые;
- бактерии;
- грибы;
- моллюски;
- водоросли.

Грибы являются одними из самых безжалостных вредителей в природе. Их развитию способствуют благоприятные условия – температура 5–30°C и влажность более 22% [1–4].

Грибы представляют собой своеобразную группу микроорганизмов. По разным данным, общее число их видов составляет около 250 тыс. Грибы, развивающиеся в древесине, принадлежат к одному из трех классов:

- 1) аскомицеты, или сумчатые грибы (Ascomycetes), вызывающие образование плесени;
- 2) дейтеромицеты, или несовершенные грибы (Deuteromycetes), вызывающие изменение окраски древесины;
- 3) базидиомицеты (Basidiomycetes), которые разрушают структурные элементы древесины [1–4].

На первой стадии поражения древесины появляются плесневые грибы, которые питаются соком дерева. Затем в уже подготовленных условиях начинают развиваться древоокрашивающие грибы. Завершают процесс разрушения древо-разрушающие грибы, которые вызывают сильное гниение древесины [1–4].

Плесневые грибы на поверхности древесины образуют налет в виде скопления спор. Под плесневым налетом древесина не меняет цвета, так как гифы бесцветны и не выделяют пигмента. Оптимальная влажность для развития таких грибов –

60–100%. Самые распространенные из них *Penicillium*, *Mucor*, *Thamnidium*, *Cladosporium*, *Sporotrichum*, *Trichoderma* [2–8].

Древоокрашивающие грибы имеют характерную окраску, часто называемую «синевой». В зависимости от характера заражения выделяют окраску поверхности и глубокую окраску. Поверхностное окрашивание проникает вглубь не более чем на 2 мм [2–8].

Древоокрашивающие грибы – это только начало процесса разрушения структуры древесины [9–11]. Некоторые виды грибов способны разрушать клеточные стенки древесины, тем самым изменяя физико-механические свойства. Наиболее сильными разрушителями являются базидиомицеты. Они способны увлажнять древесину за счет воды, которая образуется при разложении целлюлозы. Наиболее распространенные: *Coniophora*, *Tyromyces*, *Zentinus*, *Serpula*, *Gloeophyllum*, *Trametes*, *Pleurotus*, *Schizophyllum* [2–8].

История деревянного домостроения насчитывает не одно тысячелетие. В разных уголках планеты ученые в ходе раскопок находят бревенчатые дома или даже поселки, которым более тысячи лет. Строительство деревянных домов было наиболее развито в большом лесном регионе, который простирался от Норвегии через Финляндию и Швецию, европейскую часть России и до самой Сибири. Именно в этом регионе зародилось деревянное домостроение [12].

Защита таких домов осуществлялась за счет конструкции – часто при возведении строений использовали свайные фундаменты из древесины лиственницы, которая обладает наибольшей естественной биостойкостью. Также лиственницу использовали и для нижних венцов, предварительно убрав слой заболони [13].

Что касается методов биозащиты, то наиболее распространенными были:

- обжигание;
- «запечатывание» смолой;
- покрытие воском;
- просмаливание льняным или подсолнечным маслом.

Под влиянием кислорода и тепла растительные масла имеют свойство загустевать. Это связано с содержанием в них полиненасыщенных жирных кислот (линоленовая и линолевая), которые при застывании и окислении превращаются в природный полимер. Обработка древесины маслами длилась несколько недель, а из-за липкости

поверхности ее невозможно было подвергнуть декоративной отделке [13].

Известен также метод обжига, который на Руси называли «подкуриванием» – перед строительством древесины подвергали обработке огнем. Это позволяло убрать оставшуюся влагу, а также споры грибов и бактерий. Подобные технологии использовались достаточно долгое время, пока в XIX в. не появился первый химический консервант креозот. Чаще всего он использовался для промазывания фундамента деревянного сруба. Однако креозот очень токсичен, поэтому использовался в ограниченных количествах [13].

Помимо креозота для обработки свай, столбов использовали пентахлорфенол, получаемый из хлора и фенола, а также арсенат меди. Эти составы защищают древесину как от биоразрушений, так и от ветшания. Но несмотря на их эффективность, они токсичны, как и креозот. В XX в. на смену ядам пришли доступные и недорогие солевые пропитки – концентрированные растворы солей минеральных кислот: борной, фосфорной и угольной. Но главные их недостатки – это большой расход и быстрая вымываемость из древесины.

Древесина обладает высокими экологическими и эстетическими свойствами. Однако она легко воспламеняется, быстро подвергается повреждению со стороны микроорганизмов и грибов. Наиболее уязвимыми местами для поражения являются места соприкосновения древесины с землей, места конденсации влаги, поверхности, подверженные прямому попаданию осадков, поэтому при строительстве в первую очередь стоит задуматься о защите древесины. Для того чтобы ее сохранить, нужно поддерживать влажность ниже 20%. Качественно защищенная древесина может служить сотни лет. На современном рынке можно найти большое количество защитных средств: огнезащитных, биозащитных, а также финишных лакокрасочных. Для биозащиты древесины используют средства на различной основе: масляные, органические, водные [14].

Защита древесины включает все меры, которые предотвращают разрушение самой древесины, древесных материалов или деревянных конструкций (например, бревенчатых домов, кровельных конструкций, мебели, настилов, столбов) от повреждений, вызванных погодой, насекомыми и грибами, что обеспечивает длительный срок ее службы [8–15].

В рамках исследования получено подтверждение, что биоактивные препараты (антисептики для древесины на основе солей меди) без эффективной влагозащиты не обеспечивают достаточную защищенность древесины. Для высокоэффективной защиты деревянных конструкций во времени требуются комплексные составы, которые обла-

дали бы хорошей био- и влагостойкостью, высокой проникаемостью [15].

Проводя срез биовлагозащитных составов, представленных на рынке Беларуси и России, можно выделить две группы:

1) пленочные – препараты, образующие пленку (при этом наблюдается процесс полимеризации) той или иной степени долговечности в зависимости от природы компонентов. К ним относятся любые покрытия на основе алкида, акрила, масла, силикона и их гибридной вариации. Пленочные составы подразделяются:

- а) на толстопленочные (краски, лаки и др.);
  - б) тонкопленочные (пропитки, лазури, масла для дерева и др.);
- 2) беспленочные.

Особый интерес для дальнейшего исследования на биостойкость, влагостойкость, долговечность представляют составы, приведенные в табл. 1.

Составы, образующие тонкопленочное покрытие [16–20], относятся к следующим ценовым категориям:

- низкой (Любимая дача 1);
- средней (Pinotex Classic Plus 2);
- высокой (Remmer HSL-30/M-profi-holzschutz-lasur 3 in 1).

Среди беспленочных препаратов известны «Ларитех Оптимасепт 5», Bio-Wood 0507.

На первой стадии исследований оценка эффективности выбранных защитных средств по отношению к деревоокрашивающим и плесневым грибам проводилась в соответствии с ГОСТ 30028.4–2022 «Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов».

Испытания проводились на образцах из древесины размерами 10×55×75 мм (последний размер – по длине волокон). Образцы изготавливали из прямослойной свежераспиленной древесины заболони сосны с плотностью в воздушно-сухом состоянии 0,48–0,52 г/см<sup>3</sup>. Древесина не имела видимых пороков. В образце на 1 см по радиусу было насчитано по 5–7 годичных слоев, параллельных широкой пласти. Влажность образцов перед испытанием была не менее 100%. Аппаратура, материалы, посуда соответствовали всем требованиям, указанным в данном стандарте на проведение этого метода. Образцы пропитывались в соответствии с рекомендациями производителей (табл. 1). Испытание каждой концентрации защитного средства проводилось на 18 пропитанных образцах (по 6 образцов для каждой из трех групп грибов) и на 6 контрольных (непропитанных) образцах (по 2 образца для каждой из трех групп грибов). Образцы древесины пропитывались не позднее чем через 24 ч после изготовления, перед пропиткой они нумеровались, затем взвешивались с точностью до 0,02 г.

Таблица 1

## Список защитных средств для исследований

Наименование	Назначение	Состав по информации производителя	Расход	Время высыхания	Рекомендации
<b>Любимая дача</b> (защитно-декоративное покрытие для древесины)	Защита древесины от атмосферных воздействий, гниения, плесени, грибов. Применяется для декоративной отделки под ценные породы дерева снаружи и внутри	Алкидный лак, растворитель, высокоэффективные трудновываемые антисептики, светоустойкие пигменты, УФ-фильтр UVA-диапазона	В 1 слой для строганой древесины: 1 л на 12–20 м <sup>2</sup> , для пиленой: 1 л на 5–8 м <sup>2</sup> . Требуется внутри помещения 1–2 слоя, снаружи 2–3 слоя	При $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ : межслойная сушка 2 ч, полное высыхание – 24 ч	Применять грунт-антисептик «Акватекс» для увеличения срока эксплуатации покрытия (снаружи помещений) до 5 лет
<b>Pinotex Classic Plus 3 в 1</b> (быстро сохнущая пропитка-антисептик на гибридной основе)	Защита древесины. Формула 3 в 1: грунт обеспечивает равномерное впитывание в древесину; пропитка-антисептик защищает от плесени, образует декоративное финишное покрытие; гибридное акрил-алкидное связующее образует атмосферостойкое паропроницаемое покрытие, древесина должна дышать	Сополимер акриловый, алкидная эмульсия, УФ-фильтр, УФ-абсорбер, воск, добавки против плесени	В 1 слой для строганой древесины: 1 л на 15 м <sup>2</sup> , для пиленой: 1 л на 12 м <sup>2</sup> . Требуется 2–3 слоя	При $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ : межслойная сушка 2 ч, полное высыхание – 4 ч	Применять Pinotex Base для усиленной защиты глубоких слоев древесины
<b>Remmers HSL-30/M-profiholzschutz-lasur 3 in 1</b> (профессиональная лазурь премиум-класса на растворителе)	Для профилактической защиты древесины от влаги, ультрафиолета, гнили, синевы, плесени, водорослей, 3 в 1: пропитка, грунтовка и лазурь	Алкидная смола	205–250 мл/м <sup>2</sup> . Требуется 2–3 слоя	При $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ : межслойная сушка 12 ч, полное высыхание – 24 ч, влажность воздуха <18%. Применять грунт Remmers IG-10-imprägniergrund	Проводить работы при температуре не ниже +5°C и не выше +30°C, влажность древесины <18%. Применять грунт Remmers IG-10-imprägniergrund
<b>Biofa 2043</b> (масло для наружных работ с антисептиком)	Защищает деревянную поверхность от микробиологического заражения, а также роста грибка и плесени. Образуется эластичное паропроницаемое атмосферостойкое шелковисто-матовое покрытие с грязе- и водоотталкивающими свойствами	Касторовое масло, канфоль, тунговое масло, сосновое масло, оксид алюминия, бентонит, диоксид титана, алифатические углеводороды, сиккативы, функциональные добавки, пропионазол, октилэтилоксиэтанол и тербутирин в качестве биоцидов и антисептических добавок	В 1 слой: 1 л на 20 м <sup>2</sup> , в 2 слоя: 1 л на 15 м <sup>2</sup>	При $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ : межслойная сушка 16 ч, полное высыхание – 24 ч, влажность воздуха <65%	Для мягких пород применять грунт-антисептик Biofa 8750. Производить межслойную (промежугловую) шлифовку
<b>Ларитex Оптимасепт</b> (декоративная биовлагозащитная пропитка для древесины на органическом растворителе)	Защищает древесину от солнечного и атмосферного воздействия. Предназначена для усиленной и долговременной консервации древесины от гниения, плесневых, дереворазрушающих грибов, насекомых-вредителей	Фунгицид, влагозащитный компонент	150–200 г/м <sup>2</sup>	При $t = 20 \pm 2^\circ\text{C}$ : межслойная сушка 12 ч, полное высыхание – 24 ч, влажность воздуха <65%	Проводить работы при температуре не ниже +12°C и не выше +30°C, влажность древесины <25%
<b>Bio-Wood 0507</b> (средство защитное для древесины)	Для пропитки изделий из древесины, условия эксплуатации которых соответствуют I–XIII классам по ГОСТ 20022.2-2018	Фунгицид, гидрофобизатор, вода	2–8 кг/м <sup>2</sup> в зависимости от класса условий службы при глубокой пропитке, 150–200 г/м <sup>2</sup> при поверхностной	Не менее 2 сут	Предпропиточная влажность древесины не более 30%

Таблица 2

**Эффективности защитных средств для древесины  
по отношению к плесневым и деревоокрашивающим грибам**

Номер образца	Наименование антисептика	Средняя площадь поражения поверхности образцов грибами, % по истечении								
		5 сут			10 сут			15 сут		
		А	В	С	А	В	С	А	В	С
1	Любимая дача	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	Pinotex Classic Plus 3 в 1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	Remmers HSL-30/M-profiholzschutz-lasur 3 in 1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	Biofa 2043	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	Ларитех Оптимасепт	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	Bio-Wood 0507	0	0	0	0	0	0	0	0	0

После пропитки образцы выдерживали над пропиточной емкостью в течение  $20 \pm 5$  мин. И снова взвешивались. Пропитка образцов проводилась методом погружения в раствор с выдержкой в нем в течение 60 с.

Поглощение раствора защитного средства  $\Pi$ , кг/м<sup>2</sup>, вычисляли по формуле

$$\Pi = \frac{m_2 - m_1}{S},$$

где  $m_1$  – масса образца до обработки, г;  $m_2$  – масса образца после обработки, г;  $S$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

После пропитки образцы перед испытанием выдерживались в открытых бюксах в комнатных условиях в течение 2,5 ч.

Для каждого испытания готовили три эксикатора. В эксикаторы засыпали на 1/4 высоты предварительно увлажненные до  $70 \pm 5\%$  опилки из здоровой заболони сосны. Опилки орошались рабочей суспензией грибов при помощи пульверизатора. В каждый эксикатор вносилась суспензия грибов определенной группы.

Эксикаторы находились в помещении с температурой  $25 \pm 2^\circ\text{C}$  и относительной влажностью

воздуха  $8 \pm 5\%$  в течение 14 сут до начала испытаний.

Для каждого варианта опыта испытывали 18 образцов: по 6 шт. на каждой из трех групп грибов [6, 8]. В каждый эксикатор устанавливали 6 образцов, пропитанных защитным средством. Продолжительность испытания составляла 15 сут. Состояние образцов оценивалось визуально через 5, 10 и 15 сут. Результаты исследования представлены в табл. 2. Оценку стадии развития грибов на образцах проводили по шестибальной шкале согласно ГОСТ 30028.4–2022 «Средства защитные для древесины. Экспресс-метод оценки эффективности против деревоокрашивающих и плесневых грибов».

**Закключение.** По истечении 15 сут защитные средства по отношению к деревоокрашивающим и плесневым грибам у всех составов зарекомендовали себя как высокоэффективные, что подтверждает их высокие биозащитные свойства до вымывания (табл. 2). Следующим этапом планируется исследовать степень условной вымываемости данных составов по ГОСТ 50241–2021 «Средства защитные для древесины. Экспресс-методы испытания вымываемости», а также оценить их влагозащитные свойства.

### Список литературы

1. Трутенько В. В., Божелко И. К., Снопков В. Б. Абиотические и биологические факторы, влияющие на разрушение древесины в период эксплуатации // Труды БГТУ. 2015. № 2 (175): Лесная и деревооб. пром-сть. С. 152–157.
2. Часть IV: Факторы разрушения древесины // Сенеж. URL: <https://seneg.ru/info/arts/chast-iv-factory-razrusheniya-drevesiny> (дата обращения: 13.02.2024)
3. Головкин А. И. Домовые грибы и меры борьбы с ними. М.: Наука, 1981. 72 с.
4. Серговский П. С., Расев А. И. Гидротермическая обработка и консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1987. 360 с.
5. Горшин С. Н. Консервирование древесины. М.: Лесная пром-сть, 1977. 355 с.
6. Леоничев О. К., Антоник А. Ю. Определение преобладающих культур дереворазрушающих и деревоокрашивающих грибов, их воздействие на древесину // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2017. № 2. С. 299–304.
7. Семенкова И. Г. Фитопатология. Дереворазрушающие грибы, гнили и патологические окраски древесины (определятельные таблицы). М.: МГУП, 2001. 57 с.
8. Мазаник Н. В., Снопков В. Б. Тест-культуры грибов для испытания средств защиты древесины // Труды БГТУ. Сер. II, Лесная и деревооб. пром-сть. 2009. Вып. XVII. С. 194–198.

9. Пауль Э. Э., Звягинцев В. Б. Древесиноведение с основами лесного товароведения. Минск: БГТУ, 2015. 315 с.
10. Белясова Н. А. Микробиология. Лабораторный практикум. Минск: БГТУ, 2007. 160 с.
11. Мейер Е. И. Определитель древоокрашивающих грибов. М.; Л.: Гослесбумиздат, 1953. 116 с.
12. Саблина О. А. История деревянного домостроения на Руси // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2010. № 12 (107). С. 38.
13. Звонарева П. П., Дорофеева С. Г., Соколов В. Л. Традиционные способы защиты элементов деревянных строений от биоразрушений и действия огня на примере объектов деревянного зодчества конца XVII – начала XIX века в городе Красноярске // Город, пригодный для жизни: материалы IV Междунар. науч.-практ. конф., Красноярск, 11–12 нояб. 2021 г. Красноярск, 2021. С. 235–238.
14. Коновалов М. И., Карпов В. Н. Современные способы и составы защиты древесины // Эффективные строительные конструкции: теория и практика: сб. ст. XVIII Междунар. науч.-техн. конф., Пенза, 26–28 февр. 2018 г. Пенза, 2018. С. 56–59.
15. Бовтрель А. Ю., Божелко И. К. Биовлагозащитная обработка древесины и деревянных строительных конструкций // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 2. С. 227–231.
16. Любимая дача // Рогнеда. URL: <https://www.rogneda.ru/catalog/torgovaya-marka/lyubimaya-dacha/lubimaya-dacha> (дата обращения: 13.02.2024).
17. Pinotex Classic Plus 3 в 1 // Pinotex. URL: <https://pinotex.ru> (дата обращения: 13.02.2024).
18. Лессирующие материалы для наружных работ // Remmers. URL: <https://www.remmers.ru/ru/materialy-dla-zasity-i-otdelki-drevesiny/materialy-dla-professionalnogo-primenenia/lessiruusie-materialy-dla-naruznyh-rabot/hsl-30m/p/00000000000710001> (дата обращения: 13.02.2024).
19. Ларитех ОптимаСепт // Ларитех. URL: <https://laritech.by/optimasept> (дата обращения: 13.02.2024).
20. Biofa 2043. Масло защитное для наружных работ с антисептиком // Biofa. URL: [https://biofa.ru/catalog/fasad/2043\\_maslo\\_zashchitnoe\\_dlya\\_naruznykh\\_rabot\\_s\\_antiseptikom/?offer=6196](https://biofa.ru/catalog/fasad/2043_maslo_zashchitnoe_dlya_naruznykh_rabot_s_antiseptikom/?offer=6196) (дата обращения: 13.02.2024).

### References

1. Trut'ko V. V., Bozhelko I. K., Snopkov V. B. Abiotic and biological factors influencing the destruction of wood during operation. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2015, no. 2 (175): Forest and Woodworking Industry, pp. 152–157 (In Russian).
2. Part IV: Factors of wood destruction. Available at: <https://seneg.ru/info/arts/chast-iv-factory-razrusheniya-drevesiny> (accessed 13.02.2024) (In Russian).
3. Golovko A. I. *Domovyye griby i mery bor'by s nimi* [House mushrooms and measures to combat them]. Moscow, Nauka Publ., 1981. 72 p. (In Russian).
4. Sergovskij P. S., Rasev A. I. *Gidrotermicheskaya obrabotka i konservirovaniye drevesiny* [Hydrothermal treatment and preservation of wood]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1987. 360 p. (In Russian).
5. Gorshin S. N. *Konservirovaniye drevesiny* [Wood preservation]. Moscow, Lesnaya promyshlennost' Publ., 1977. 355 p. (In Russian).
6. Leonovich O. K., Antonik A. Yu. Determination of the predominant cultures of wood-destroying and wood-coloring fungi, their impact on wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2017, no. 2, pp. 299–304 (In Russian).
7. Semenkova I. G. *Fitopatologiya. Derevorazrushayushchiye griby, gnili i patologicheskiye okraski drevesiny (opredelitel'nyye tablitsy)* [Plant pathology. Wood-destroying fungi, rot and pathological colors of wood (identification tables)]. Moscow, MGUP Publ., 2001. 57 p. (In Russian).
8. Mazanik N. V., Snopkov V. B. Test cultures of fungi for testing wood protection products. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], series II, Forest and Woodworking Industry, 2009, issue XVII, pp. 194–198 (In Russian).
9. Paul' E. E., Zvyagintsev V. B. *Drevesinovedeniye s osnovami lesnogo tovarovedeniya* [Wood science with the basics of forest commodity science]. Minsk, BSTU Publ., 2015. 315 p. (In Russian).
10. Belyasova N. A. *Mikrobiologiya. Laboratornyy praktikum* [Microbiology. Laboratory workshop]. Minsk, BSTU Publ., 2007. 160 p. (In Russian).
11. Meyyer Ye. I. *Opredelitel' derevookrashivayushchikh gribov* [Key to wood-staining fungi]. Moscow; Leningrad, Goslesbumizdat Publ., 1953. 116 p. (In Russian).
12. Sablina O. A. History of wooden house construction in Rus. *Stroitel'nyye materialy, oborudovaniye, tekhnologii XXI veka* [Construction materials, equipment, technologies of the XXI century], 2010, no. 12 (107), 38 p. (In Russian).
13. Zvонарева P. P., Dorofeyeva S. G., Sokolov V. L. Traditional methods of protecting elements of wooden buildings from biodestruction and the effects of fire using example of wooden architecture of the

late 17th – early 19th centuries in the city of Krasnoyarsk. *Gorod, prigodnyy dlya zhizni: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [A city fit for life: materials of IV International scientific and practical conference]. Krasnoyarsk, 2021, pp. 235–238 (In Russian).

14. Konovalov M. I., Karpov V. N. Modern methods and compositions of wood protection. *Effektivnyye stroitel'nyye konstruksii: teoriya i praktika: materialy IV Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Efficient building structures: theory and practice: materials of IV International scientific and practical conference]. Penza, 2018, pp. 56–59 p. (In Russian).

15. Bovtreľ A. Yu., Bazhelka I. K. Biomoisture-proof treatment of wood and wooden building structures *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 2, pp. 227–231 (In Russian).

16. Favorite country house. Available at: <https://www.rogneda.ru/catalog/torgovaya-marka/lyubimaya-dacha/lubimaya-dacha> (accessed 13.02.2024) (In Russian).

17. Pinotex Classic Plus 3 in 1. Available at: <https://pinotex.ru> (accessed 13.02.2024) (In Russian).

18. Glazing materials for external work. Available at: <https://www.remmers.ru/materialy-dla-zasity-i-otdelki-drevesiny/materialy-dla-professionalnogo-primenenia/lessirusie-materialy-dla-naruznyh-rabot/hsl-30m/p/000000000000710001> (accessed 13.02.2024) (In Russian).

19. Laritech Optimasept. Available at: <https://laritech.by/optimasept> (accessed 13.02.2024) (In Russian).

20. Biofa 2043. Protective oil for external work with antiseptic. Available at: [https://biofa.ru/catalog/fasad/2043\\_maslo\\_zashchitnoe\\_dlya\\_naruznykh\\_rabot\\_s\\_antiseptikom/?offer=6196](https://biofa.ru/catalog/fasad/2043_maslo_zashchitnoe_dlya_naruznykh_rabot_s_antiseptikom/?offer=6196) (accessed 13.02.2024) (In Russian).

### Информация об авторах

**Бовтрель Альбина Юрьевна** – аспирант кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [antonik.alya@mail.ru](mailto:antonik.alya@mail.ru)

**Божелко Игорь Константинович** – кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [bikbstu@mail.ru](mailto:bikbstu@mail.ru)

**Нехведович Павел Станиславович** – инженер-технолог ООО «ДиДиЕгрупп» (220012, г. Минск, ул. Академическая, 11Б, пом. 22, Республика Беларусь). E-mail: [npsbel@gmail.com](mailto:npsbel@gmail.com)

**Генюш Инга Владимировна** – инженер кафедры технологии деревообрабатывающих производств. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [agniya\\_21@mail.ru](mailto:agniya_21@mail.ru)

### Information about the authors

**Bovtreľ Albina Yuryevna** – PhD student, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [antonik.alya@mail.ru](mailto:antonik.alya@mail.ru)

**Bazhelka Ihar Kanstantinavich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Head of the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [bikbstu@mail.ru](mailto:bikbstu@mail.ru)

**Nekhviadovich Pavel Stanislavovich** – Process engineer, LLC “DiDiEgroup” (room 22, 11B, Akademicheskaya str., 220012, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [npsbel@gmail.com](mailto:npsbel@gmail.com)

**Genyush Inga Vladimirovna** – engineer, the Department of Woodworking Technology. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [agniya\\_21@mail.ru](mailto:agniya_21@mail.ru)

Поступила 21.03.2024

УДК 684.731:612.014.47

**Е. И. Гордиевич, Л. В. Игнатович, А. П. Васеха**  
Белорусский государственный технологический университет

**АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ ПРУЖИН  
НЕЗАВИСИМОГО ПРУЖИННОГО БЛОКА  
НА АНАТОМО-ФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЧЕЛОВЕКА**

В последнее время стала очень популярна и востребована мебель с мягкими элементами на основе независимого пружинного блока, обладающего анатомическим и ортопедическим эффектами. При проектировании такой мебели возникает необходимость учитывать анатомо-физиологические требования, основным из которых является обеспечение горизонтального положения позвоночника при лежании. Для выполнения этого условия необходимо, чтобы пружинный блок облегал тело (повторял контуры тела).

Актуальность темы нашей работы не вызывает сомнений, так как литературный обзор, проведенный по источникам научно-технической литературы, изданной как в нашей стране, так и за рубежом, а также по имеющейся информации в сети Интернет, показывает малочисленность научных исследований в этой сфере.

В рамках данной статьи проведен анализ влияния параметров независимых пружин (диаметра пружины и толщины проволоки) на анатомический эффект пружинного блока. Выполненные теоретические исследования на основе расчетно-аналитического метода позволили установить рациональный диапазон линейных параметров рассматриваемых независимых пружин с учетом индекса массы тела, т. е. соотношения роста и веса. В данном исследовании проводился индивидуальный подбор пружин, учитывая особенности конкретного человека.

Основной акцент при выборе расчетных методик для проведения анализа сделан не столько на точность выдаваемого ими конечного результата, сколько на установление влияния диаметра независимых пружин и их толщины на анатомический эффект с учетом анатомо-физиологических особенностей человека.

**Ключевые слова:** независимый пружинный блок, пружины, анатомический эффект, параметры пружин, анатомо-физиологические требования.

**Для цитирования:** Гордиевич Е. И., Игнатович Л. В., Васеха А. П. Анализ влияния параметров пружин независимого пружинного блока на анатомо-физиологические особенности человека // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 194–202.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-24.

**E. I. Gordiyevich, L. V. Ignatovich, A. P. Vasekha**  
Belarusian State Technological University

**ANALYSIS OF THE INFLUENCE OF SPRING PARAMETERS  
OF AN INDEPENDENT SPRING BLOCK ON THE ANATOMIC  
AND PHYSIOLOGICAL FEATURES OF HUMAN**

Recently, furniture with soft elements based on an independent spring block with anatomical and orthopedic effects has become very popular and in demand. When designing such furniture, it becomes necessary to take into account anatomical and physiological requirements, the main of which is to ensure the horizontal position of the spine when lying down. To fulfill this condition, it is necessary that the spring block fits the body (follows the contours of the body).

The relevance of the topic of our work is beyond doubt, since a literary review conducted on the sources of scientific and technical literature performed both in our country and abroad, as well as according to available information on the Internet, shows that there is little available scientific research in this field.

Within the framework of this article, the influence of the parameters of independent springs (the diameter of the spring and the thickness of the wire) on the anatomical effect of the spring block is analyzed. The theoretical studies carried out on the basis of the computational and analytical method allowed us to establish a rational range of linear parameters of the considered independent springs, taking into account the body mass index, that is, the ratio of height and weight. In this study, an individual selection of springs was carried out, taking into account the characteristics of a particular person.

The main emphasis when choosing calculation methods for analysis is not so much on the accuracy of the final result they produce, as on determining the influence of the diameter of independent springs and their thickness on the anatomical effect, taking into account the anatomical and physiological characteristics of a person organoleptic method, expert method.

**Keywords:** independent spring block, springs, anatomical effect, spring parameters, anatomical and physiological requirements.

**For citation:** Gordiyevich E. I., Ignatovich L. V., Vasekha A. P. Analysis of the influence of spring parameters of an independent spring block on the anatomic and physiological features of human. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 194–202 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-24.

**Введение.** Актуальной задачей современных мебельных предприятий можно считать диверсификацию производства – расширение и совершенствование ассортимента конкурентоспособных изделий мебели, в частности мягкой [1, 2]. В настоящее время производители предлагают достаточно широкий ассортимент мебели для лежания, при проектировании которой акцент делается не только на конструкции изделий, но и непосредственно на сами мягкие элементы, в особенности матрасы, которые могут быть пружинными и безпружинными. Каждый их тип имеет свою особенность.

Важным элементом пружинного матраса является пружинный блок, выбор которого оказывает непосредственное влияние на комфортабельность, срок службы и стоимость матраса в целом. Пружинные блоки, в свою очередь, делятся на два типа: с зависимыми и независимыми пружинами. На сегодняшний день самыми современными и востребованными являются независимые пружинные блоки [3, 4].

Независимый пружинный блок состоит из пружин, не связанных между собой, но расположенных в блоке максимально тесно в несколько рядов (рис. 1). Каждая пружина находится в отдельном тканевом чехле (кармане). Пружины сжимаются, повторяя форму человеческого тела, независимо друг от друга, продавливаются только те, на которые идет непосредственная нагрузка, а соседние остаются в разжатом состоянии [5]. Такого рода пружины характеризуются рядом параметров, которые обуславливают их жесткость – способность сопротивляться деформации [6].



Рис. 1. Независимый пружинный блок

Выбор и обоснование параметров независимых пружин, оптимальных для применения в

пружинных блоках с учетом особенностей конкретного человека, являются весьма актуальными задачами, так как направлены на обеспечение максимального комфорта во время отдыха.

**Основная часть.** Согласно теоретическому анализу литературы основным эксплуатационным свойством мягкого элемента (матраса) является комфортабельность (удобство пользования), которое, в свою очередь, зависит от правильного выбора конструкции и формы, размеров, свойств исходных материалов, формирующих мягкие элементы и обеспечивающих их антропометрическую совместимость, т. е. правильное положение тела человека с физиологической точки зрения при контакте его с опорной поверхностью элемента мебели [7–9].

Поскольку пружинный блок самый важный элемент матраса, необходимо исследовать специфические параметры пружин, влияющие на анато-физиологические особенности человека.

В качестве исследуемых параметров в данной работе выбраны диаметр независимых пружин и толщина проволоки, из которой они изготовлены. Для анализа влияния этих параметров необходимо рассчитать прогибы независимого пружинного блока под весом человека, сравнить их с графиком оптимальных прогибов (требуемых с анато-физиологической точки зрения) и установить рациональный диапазон линейных параметров рассматриваемых независимых пружин, подходящий для человека с конкретными антропометрическими показателями.

При расчете прогибов независимого пружинного блока учитывались следующие данные:

- геометрия независимых пружин: форма – цилиндрическая, диаметры  $D$  – 60, 45, 40 и 28 мм, высота – 150 мм, количество витков – 6, расположение в блоке – последовательное (т. е., в ряд друг за другом);
- материал пружин: проволока стальная углеродистая;
- антропометрические показатели: вес и рост человека, высота и ширина плеч, груди, талии, бедер, голени.

Так как мягкая мебель обычно проектируется для взрослого человека, вся работа велась в расчете на взрослого «среднего» мужчину, ростом 170 см и весом 75 кг.

Для расчета нагрузки на пружинный блок имеет существенное значение распределение массы

тела, а не только вес человека. При проектировании мебели для сна необходимо условно разделить фигуру человека на участки высокого и низкого давления. Разные области тела человека с разным весом точечно давят на опорную поверхность матраса. А значит им нужна разная интенсивность поддержки. С этой целью матрасы и с анатомическим, и с ортопедическим эффектом делят на зоны жесткости [10, 11].

В связи с вышеизложенным, чтобы в дальнейшем определить, какая часть веса человека приходится на каждую зону, его тело было условно разделено на следующие сегменты: зона головы, груди, талии, бедра, голени и ступни.

Определяемая масса каждого сегмента вычислялась согласно уравнению множественной регрессии, учитывающему антропометрические особенности человека (длина тела и масса) [12]:

$$M = A_0 + A_1 X_1 + A_2 X_2, \quad (1)$$

где  $M$  – масса сегмента, кг;  $A_0, A_1, A_2$  – коэффициенты уравнений множественной регрессии;  $X_1$  – общая масса тела человека, кг;  $X_2$  – длина тела (рост), см.

Значения используемых коэффициентов уравнений множественной регрессии  $A_0, A_1, A_2$ , согласно литературным данным [12], приведены в табл. 1.

Таблица 1

**Коэффициенты уравнений множественной регрессии для вычисления массы сегментов тела человека**

Сегмент	$A_0$	$A_1$	$A_2$
Голова	1,296	0,017	0,014
Грудь	-4,871	0,182	0,092
Талия	-2,361	0,145	0,043
Бедро	-5,298	0,292	0,027
Голень	-3,184	0,072	0,024
Стопа	-1,658	0,016	0,015

Таким образом, масса каждого сегмента человека, согласно уравнению (1), будет равна:

$$M_{\text{головой}} = 1,296 + 0,017 \cdot 75 + 0,014 \cdot 170 = 4,95 \text{ кг};$$

$$M_{\text{груди}} = -4,871 + 0,182 \cdot 75 + 0,092 \cdot 170 = 24,42 \text{ кг};$$

$$M_{\text{талии}} = -2,361 + 0,145 \cdot 75 + 0,043 \cdot 170 = 15,82 \text{ кг};$$

$$M_{\text{бедра}} = -5,298 + 0,292 \cdot 75 + 0,027 \cdot 170 = 21,19 \text{ кг};$$

$$M_{\text{голени}} = -3,184 + 0,072 \cdot 75 + 0,024 \cdot 170 = 6,30 \text{ кг};$$

$$M_{\text{стопы}} = -1,658 + 0,016 \cdot 75 + 0,015 \cdot 170 = 2,09 \text{ кг}.$$

Для определения длин сегментов тела, в том числе и различных отделов туловища, использовано следующее уравнение [12]:

$$L = B_0 + B_1 Z_1 + B_2 Z_2 + B_3 Z_3, \quad (2)$$

где  $L$  – длина сегмента, см;  $B_0, B_1, B_2, B_3$  – коэффициенты уравнений множественной регрессии;  $Z_1$  – длина ноги, см ( $Z_1 = 85$  см);  $Z_2$  – длина тела (рост), см;  $Z_3$  – длина руки, см ( $Z_3 = 60$  см).

Значения коэффициентов уравнения множественной регрессии  $B_0, B_1, B_2, B_3$  для определения длин сегментов тела человека, согласно источникам литературы [12], приведены в табл. 2.

Таблица 2

**Коэффициенты уравнений множественной регрессии для вычисления длин сегментов тела**

Сегмент	$B_0$	$B_1$	$B_2$	$B_3$
Голова	15,90	-0,046	0,094	-0,05
Грудь	3,78	-0,133	0,11	0,17
Талия	2,89	-0,219	0,221	-0,05
Бедро	5,34	0,33	0,093	-0,01
Голень	1,05	0,282	0,049	0,033
Стопа	0,516	0,0086	0,109	0,069

Длина каждого сегмента тела составила:

$$L_{\text{головой}} = 15,9 - 0,046 \cdot 85 + 0,094 \cdot 170 - 0,05 \cdot 60 = 24,97 \text{ см};$$

$$L_{\text{груди}} = 3,78 - 0,133 \cdot 85 + 0,11 \cdot 170 + 0,17 \cdot 60 = 21,37 \text{ см};$$

$$L_{\text{талии}} = 2,89 - 0,219 \cdot 85 + 0,221 \cdot 170 - 0,05 \cdot 60 = 18,85 \text{ см};$$

$$L_{\text{бедра}} = 5,34 + 0,33 \cdot 85 + 0,093 \cdot 170 - 0,01 \cdot 60 = 48,60 \text{ см};$$

$$L_{\text{голени}} = 1,05 + 0,282 \cdot 85 + 0,049 \cdot 170 + 0,033 \cdot 60 = 35,33 \text{ см};$$

$$L_{\text{стопы}} = 0,516 + 0,0086 \cdot 85 + 0,109 \cdot 170 + 0,069 \cdot 60 = 23,92 \text{ см}.$$

Результаты расчетов массы и длины каждого сегмента тела человека весом 75 кг и ростом 170 см приведены в табл. 3.

Таблица 3

**Результаты расчетов массы и длины каждого сегмента тела человека**

Сегмент	Масса сегментов тела $M$ , кг	Длина сегментов тела $L$ , см
Голова	4,95	24,97
Грудь	24,42	21,37
Талия	15,82	18,85
Бедро	21,19	48,60
Голень	6,30	35,33
Стопа	2,09	23,92

Далее сила, с которой каждый сегмент тела действует на независимые пружины блока, рассчитывалась по формуле [13]

$$F = mg, \tag{3}$$

где  $m$  – масса тела, кг;  $g$  – ускорение свободного падения, Н/кг.

Для расчета силы нагружения каждый участок настилочного слоя мягкого элемента, расположенный над соседними пружинами блока, был представлен в виде двухопорной балки, нагруженной равномерно распределенной нагрузкой. Ввиду особенности конструкции, пружины практически не ограничивают перемещение настилочных слоев в горизонтальной плоскости. Поэтому они были рассмотрены в виде шарнирно-подвижных опор. Нагрузка, распределенная по поверхности пружинного блока, приведена к главной поверхности, в результате чего получилась нагрузка, распределенная по линии.

В силу симметрии нагружения опорные реакции  $R$ , численно равные усилиям, действующим на пружину, определялись по формуле [14]

$$R = \frac{ql}{2}, \tag{4}$$

где  $q$  – распределенная нагрузка на каждом участке, Н/м;  $l$  – расстояние между центрами пружин, м. Распределенная нагрузка на каждом участке пружинного блока рассчитывалась по формуле [14]

$$q = pb, \tag{5}$$

где  $p$  – величина нагрузки, приходящаяся на единицу площади, Н/м<sup>2</sup>;  $b$  – ширина участка, где действует нагрузка, м.

Величина нагрузки, приходящаяся на единицу площади, рассчитывалась по формуле

$$p = \frac{F}{S}, \tag{6}$$

где  $F$  – сила, с которой каждый сегмент тела действует на независимые пружины блока, кг;  $S$  – площадь сегмента, м<sup>2</sup>.

Чтобы оценить, насколько удобна та или иная конструкция пружинного блока необходимо рассчитать прогибы пружин под телом человека [15].

Пружины являются одним из важных элементов ортопедического свойства, жесткость поверхности для сна, устойчивость к нагрузкам, способность повторять контуры тела человека.

Величина прогиба пружин под нагрузкой определялась по формуле [14]

$$\lambda = \frac{8PD^3n}{Gd^4}, \tag{7}$$

где  $P$  – усилие, действующее на пружину, Н;  $D$  – наружный диаметр пружины, мм;  $n$  – число рабочих витков пружины, шт.;  $G$  – модуль сдвига, МПа;  $d$  – диаметр проволоки, мм.

Результаты расчетов, выполненные и обработанные с помощью программного пакета MS Excel, представлены в табл. 4.

В результате произведенных расчетов были построены графики прогибов пружинных блоков в зависимости от диаметра пружин  $D$  и проволоки  $d$ , из которых они изготовлены. На основании этого стало возможным определить наиболее оптимальные параметры независимых пружин (диаметр и толщину проволоки), подходящие для человека весом 75 кг и ростом 170 см.

Таблица 4

**Результаты расчета прогибов пружинного блока в зависимости от параметров пружин с числом витков  $n = 6$**

Показатель	Зона блока					
	голова	грудь	талия	бедро	голень	стопа
Диаметр пружины $D = 60$ мм, толщина проволоки $d = 2,3$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	6,8	26,5	12,4	17,4	5,9	2,5
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	31,9	114,3	58,5	81,8	25,4	11,7
Диаметр пружины $D = 60$ мм, толщина проволоки $d = 2,2$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	6,8	26,5	12,4	17,4	5,9	2,5
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	38,1	139,1	69,9	97,8	30,3	14,0
Диаметр пружины $D = 60$ мм, толщина проволоки $d = 2,1$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	6,8	26,5	12,4	17,4	5,9	2,5
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	45,9	169,8	84,1	117,8	36,5	16,8
Диаметр пружины $D = 45$ мм, толщина проволоки $d = 1,8$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	5,0	19,5	9,1	12,8	3,9	1,8
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	26,5	103,4	48,5	67,9	21,0	9,6
Диаметр пружины $D = 45$ мм, толщина проволоки $d = 1,7$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	5,0	19,5	9,1	12,8	3,9	1,8
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	33,2	130,3	60,9	85,3	26,4	12,7
Диаметр пружины $D = 45$ мм, толщина проволоки $d = 1,6$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	5,0	19,5	9,1	12,8	3,9	1,8
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	42,4	166,8	77,7	108,4	33,8	15,5

Окончание табл. 4

Показатель	Зона блока					
	голова	грудь	талия	бедро	голень	стопа
Диаметр пружины $D = 40$ мм, толщина проволоки $d = 1,6$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	4,4	17,4	8,1	11,4	3,5	1,6
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	26,3	103,6	48,1	67,2	21,1	9,7
Диаметр пружины $D = 40$ мм, толщина проволоки $d = 1,5$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	4,4	17,4	8,1	11,4	3,5	1,6
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	34,2	134,8	62,8	87,9	27,3	12,5
Диаметр пружины $D = 40$ мм, толщина проволоки $d = 1,4$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	4,4	17,4	8,1	11,4	3,5	1,6
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	45,2	176,4	82,1	115,7	35,9	16,5
Диаметр пружины $D = 28$ мм, толщина проволоки $d = 1,2$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	3,1	12,5	5,6	8,0	2,4	1,1
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	20,1	78,7	36,1	51,5	16,0	7,4
Диаметр пружины $D = 28$ мм, толщина проволоки $d = 1,1$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	3,1	12,5	5,6	8,0	2,4	1,1
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	28,5	111,6	52,1	73,3	22,6	10,4
Диаметр пружины $D = 28$ мм, толщина проволоки $d = 1,0$ мм						
Усилие на пружину $P$ , Н	3,1	12,5	5,6	8,0	2,4	1,1
Прогиб пружины $\lambda$ , мм	41,1	163,1	76,3	106,9	33,2	15,3

Различные кривые, полученные по результатам расчета, отображены на рис. 2–5. Кривая оптимальных прогибов (требуемых с анатомо-физиологической точки зрения) построена на основании литературных данных [15].

Анализируя полученные графические зависимости (рис. 2–5) влияния диаметра пружины и проволоки на прогиб пружинного блока, можно заключить следующее:

– пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 60$  мм и диаметром проволоки 2,2 и 2,3 мм хорошо облегает тело человека. Пружины с диаметром проволоки меньше, чем 2,2 мм, в нашем случае 2,1 мм, не совсем подходят, так как в зоне груди не выполняется условие и происходит провисание этой части тела, причем величина провисания превышает высоту пружинного блока. Такие пружины использовать можно, но тогда непосредственно в зоне груди следует усиливать пружинный блок,

например за счет увеличения диаметра проволоки;

– пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 45$  мм и диаметром проволоки 1,7 и 1,8 мм хорошо облегает тело человека. Пружины с диаметром проволоки 1,6 мм не совсем подходят, так как в зоне груди не выполняется условие и происходит провисание этой части тела на недопустимую величину. Такие пружины использовать можно, но только необходимо усиливать пружинный блок именно в зоне груди, например за счет увеличения диаметра проволоки. Таким образом, пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 45$  мм и диаметром проволоки меньше 1,6 мм не следует рекомендовать для использования, так как он не обеспечивает правильное положение тела человека, как и пружинный блок с пружинами, диаметр проволоки которых больше 1,8 мм, потому что это будет слишком жестко для данного веса;

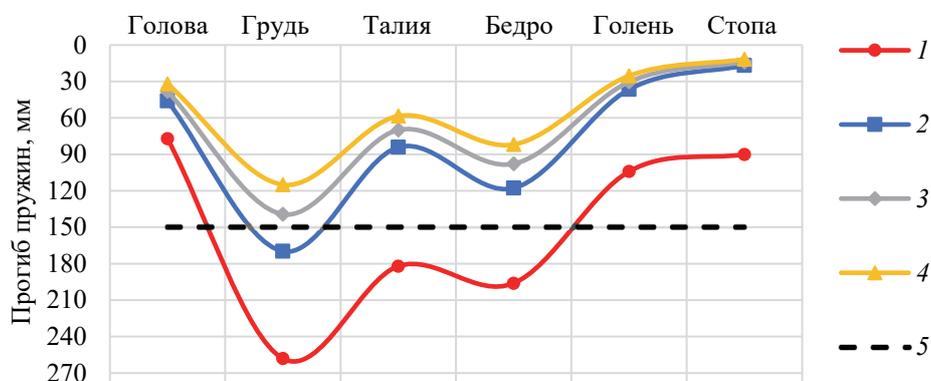


Рис. 2. Влияние диаметра пружины  $D = 60$  мм на прогиб пружинного блока:  
1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при  $d = 2,1$  мм; 3 – прогибы при  $d = 2,2$  мм;  
4 – прогибы при  $d = 2,3$  мм; 5 – граница высоты пружинного блока

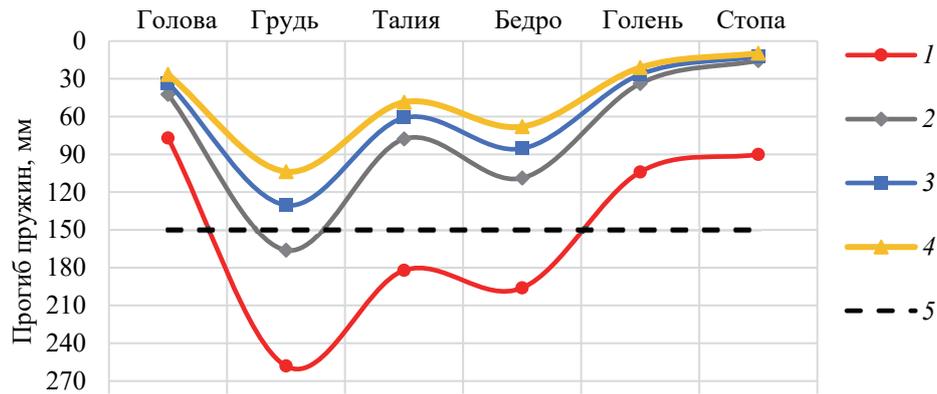


Рис. 3. Влияние диаметра пружины  $D = 45$  мм на прогиб пружинного блока:  
 1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при  $d = 1,6$  мм; 3 – прогибы при  $d = 1,7$  мм;  
 4 – прогибы при  $d = 1,8$  мм; 5 – граница высоты пружинного блока

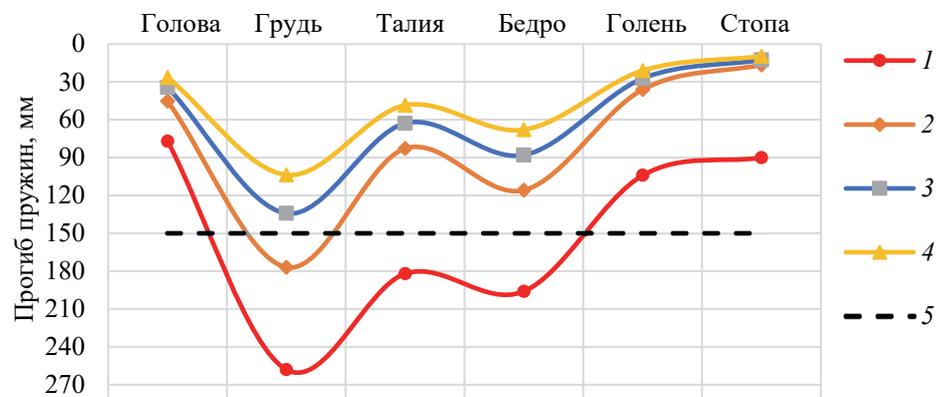


Рис. 4. Влияние диаметра пружины  $D = 40$  мм на прогиб пружинного блока:  
 1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при  $d = 1,4$  мм; 3 – прогибы при  $d = 1,5$  мм;  
 4 – прогибы при  $d = 1,6$  мм; 5 – граница высоты пружинного блока

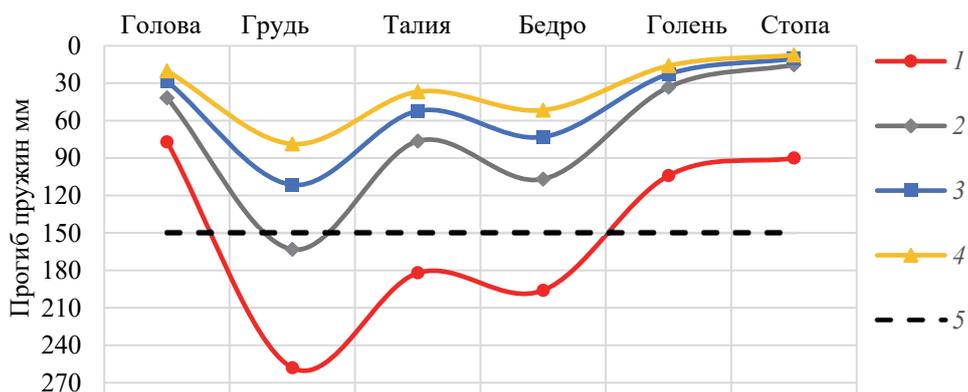


Рис. 5. Влияние диаметра пружины  $D = 28$  мм на прогиб пружинного блока:  
 1 – оптимальные прогибы; 2 – прогибы при  $d = 1,0$  мм; 3 – прогибы при  $d = 1,1$  мм;  
 4 – прогибы при  $d = 1,2$  мм; 5 – граница высоты пружинного блока

– пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 40$  мм и диаметром проволоки 1,5 и 1,6 мм хорошо облегает тело человека. Пружины с диаметром проволоки 1,4 мм не совсем подходят, так как в зоне груди не выполняется условие и происходит провисание этой

части тела на недопустимую величину. Такие пружины использовать можно, но только необходимо усиливать пружинный блок в зоне груди, например за счет увеличения диаметра проволоки до 1,6 мм. Таким образом, пружинный блок с независимыми пружинами, диаметром  $D = 40$  мм и

диаметром проволоки меньше 1,4 мм не следует рекомендовать для использования, так как он не обеспечивает правильное положение тела человека, как и пружинный блок с пружинами, диаметр проволоки которых больше 1,7 мм, потому что это будет слишком жестко для данного веса;

– пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 28$  мм и диаметром проволоки 1,1 и 1,2 мм хорошо облегает тело человека. Пружины с диаметром проволоки меньше 1,0 мм не подходят, так как в зоне груди не выполняется условие и происходит провисание этой части тела на недопустимую величину. Таким образом, пружинный блок с независимыми пружинами диаметром  $D = 28$  мм и диаметром проволоки больше 1,2 мм не следует рекомендовать для использования, потому что это будет слишком жестко для данного веса.

На основании вышесказанного логично предположить, что для человека весом 75 кг и ростом 170 см наиболее оптимальным вариантом будет использование матрасов с независимым пружинным блоком, диаметр пружин и диаметр проволоки которых составляют:  $D = 60$  мм и  $d = 2,2–2,3$  мм;  $D = 45$  мм и  $d = 1,7–1,8$  мм;  $D = 40$  мм и  $d = 1,5–1,6$  мм;  $D = 28$  мм и  $d = 1,1–1,2$  мм. Важно отметить, что эти данные могут варьироваться в зависимости от конкретного случая и используемого метода расчета.

Согласно литературным источникам, анатомические и ортопедические свойства пружинного блока улучшаются с возрастанием числа пружин в нем. С уменьшением диаметра пружин их количество в самом блоке увеличивается [16]. Следовательно, лучшим с точки зрения анатомического и ортопедического эффекта, а также комфортабельности и удобства для человека весом 75 кг и

ростом 170 см может быть признан независимый пружинный блок с  $D = 28$  мм и  $d = 1,1–1,2$  мм.

Полученные данные являются оптимальными для человека, относящегося по антропометрическим признакам к среднестатистическому (рост мужчин около 170 см при среднем весе приблизительно 75 кг), но они не могут удовлетворять анатомо-физиологическим требованиям людей, имеющих отклонения от средних размеров. Пружинный блок, имеющий оптимальные показатели, нельзя рассматривать как лучший для всех людей и для всех условий.

**Заключение.** Подводя итоги работы и оценивая результаты анализа, необходимо отметить следующее:

1) при уменьшении диаметра независимых пружин толщину проволоки необходимо тоже уменьшать, для получения наилучшего анатомического эффекта пружинного блока;

2) распределение нагрузки на пружинный блок может варьироваться в зависимости от физических характеристик каждого человека, поэтому для достижения наилучшего результата необходимо провести индивидуальный подбор пружин, учитывая особенности конкретного человека. При этом следует учитывать индекс массы тела, т. е. соотношение роста и веса;

3) упругость отдельных пружин может быть адаптирована путем изменения толщины проволоки. Конструкция пружин, особенно толщина проволоки, в основном определяет упругие свойства пружинных блоков.

Данные, полученные в результате расчета параметров независимых пружин, влияющих на анатомический эффект мягких элементов, целесообразно применять при разработке конструкции пружинного блока с целью создания максимально удобной мягкой мебели.

### Список литературы

1. Производители мягкой мебели диверсифицируются // Магазин исследований. URL: <https://marketing.rbc.ru/articles/3573/> (дата обращения: 28.01.2024).
2. Татуев А. А., Зиядин С. Т., Ибраева А. К. Диверсификация в промышленности: понятие, сущность, этапы развития и проблемы применения // Вестн. Алт. гос. аграр. ун-та. Экономика АПК. 2015. № 1 (123). С. 175–182.
3. Пружинные блоки для диванов: разновидности конструкций, преимущества и недостатки // Мебель-эксперт. URL: <https://mebel-expert.info/mebel-svoimi-rukami/krovati-i-divany/pruzhinnye-bloki-dlya-divanov> (дата обращения: 03.02.2024).
4. Блок независимых пружин: что это такое // Vmeste-masterim.ru. URL: <https://vmeste-masterim.ru/blok-nezavisimyh-pruzhin-cto-jeto-takoe.html> (дата обращения: 03.02.2024).
5. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. М.: ИНФРА-М, 2020. 242 с. DOI: 10.12737/1030852.
6. Жесткость пружины, формула // Справочник от Автор24. URL: [https://spravochnik.ru/fizika/zhestkost\\_pruzliny\\_formula/](https://spravochnik.ru/fizika/zhestkost_pruzliny_formula/) (дата обращения: 28.01.2024).
7. Фурин А. И. Производство мягкой мебели. М.: Высш. шк., 1981. 248 с.
8. Jiayu Wu, Hong Yuan, Xin Li. A novel method for comfort assessment in a supine sleep position using three-dimensional scanning technology // Sensor products. URL: <https://www.sensorprod.com/research-articles/>

2018/2018-a\_novel\_method\_for\_comfort\_assessment\_in\_a\_supine\_sleep\_position\_using\_three-dimensional\_scanning\_technology (date of accessed: 04.02.2024).

9. Барташевич А. А. Технология производства мебели. Ростов н/Д: Феникс, 2003. 480 с.
10. Игнатович Л. В., Гордиевич Е. И. Анализ комплексных оценок качества, влияющих на анатомический и ортопедический эффекты при проектировании мягкой мебели // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2022. № 2 (258). С. 137–147.
11. How to Choose a Mattress // Good Housekeeping. URL: <https://www.goodhousekeeping.com/home-products/a25695/mattress-buying-guide/> (дата обращения: 06.02.2024).
12. Задиорский В. М., Аруин В. Н., Селуянов В. Н. Биомеханика двигательного аппарата человека. М.: Физкультура и спорт, 1981. 143 с.
13. Сила тяжести: формула, определение и единицы измерения // Nur.KZ. URL: <https://www.nur.kz/family/school/1909020-sila-tyazhesti-formula-edinitsy-izmereniya-osobennosti/> (дата обращения: 06.02.2024).
14. Сопротивление материалов Г. С. Писаренко [и др.]. Киев: Вища шк., 1979. 336 с.
15. Сухова А. В. Удобство мягкой мебели. М.: ЦНИИТЭИлеспроба, 1967. 26 с.
16. Сколько пружин должно быть в хорошем матрасе // Сонум. URL: <https://sonum.ru/blog/skolko-pruzhin-dolzno-byt-v-khoroshem-matrase/> (дата обращения: 06.02.2024).

### References

1. Manufacturers of upholstered furniture are diversifying. Available at: <https://marketing.rbc.ru/articles/3573/> (accessed 28.01.2024) (In Russian).
2. Tatuev A. A., Ziyadin S. T., Ibraeva A. K. Diversification in industry: concept, essence, stages of development and problems of application. *Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. Ekonomika APK* [Bulletin of the Altai State Agrarian University. Economics of the agro-industrial complex], 2015, no. 1 (123), pp. 175–182 (In Russian).
3. Spring blocks for sofas: types of designs, advantages and disadvantages. Available at: <https://mebel-expert.info/mebel-svoimi-rukami/krovati-i-divany/pruzhinnye-bloki-dlya-divanov> (accessed 03.02.2024) (In Russian).
4. What is a block of independent springs? Available at: <https://vmeste-masterim.ru/blok-nezavisimyh-pruzhin-cto-jeto-takoe.html> (accessed 03.02.2024) (In Russian).
5. Ignatovich L. V., Shetko S. V. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli i stolyarno-stroitel'nykh izdeliy* [Technology of production of furniture and joinery and construction products]. Moscow, INFRA-M Publ., 2020. 242 p. DOI: 10.12737/1030852 (In Russian).
6. Spring stiffness, formula. Available at: <https://spravochnick.ru/fizika/zhestkost-pruzhiny-formula/> (accessed 28.01.2024) (In Russian).
7. Furin A. I. *Proizvodstvo myagkoy mebeli* [Production of upholstered furniture]. Moscow, Vysshaya shkola Publ., 1981. 248 p. (In Russian).
8. Jiayu Wu, Hong Yuan, Xin Li. A novel method for comfort assessment in a supine sleep position using three-dimensional scanning technology. Available at: [https://www.sensorprod.com/research-articles/2018/2018-a\\_novel\\_method\\_for\\_comfort\\_assessment\\_in\\_a\\_supine\\_sleep\\_position\\_using\\_threedimensional\\_scanning\\_technology](https://www.sensorprod.com/research-articles/2018/2018-a_novel_method_for_comfort_assessment_in_a_supine_sleep_position_using_threedimensional_scanning_technology) (accessed 04.02.2024).
9. Bartashevich A. A. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli* [Technology of furniture production]. Rostov-on-Don, Feniks Publ., 2003. 480 p. (In Russian).
10. Ignatovich L. V., Gordiyevich E. I. Analysis of complex quality assessments affecting the anatomical and orthopedic effects in the design of upholstered furniture. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2022, no. 2 (258), pp. 137–147 (In Russian).
11. How to Choose a Mattress. Available at: <https://www.goodhousekeeping.com/home-products/a25695/mattress-buying-guide/> (accessed 06.02.2024).
12. Zatsiorsky V. M., Aruin, V. N., Seluyanov V. N. *Biomekhanika dvigatel'nogo apparata cheloveka* [Biomechanics of the human musculoskeletal system]. Moscow, Fizkul'tura i sport Publ., 1981. 143 p. (In Russian).
13. Gravity: formula, definition and units of measurement. Available at: <https://www.nur.kz/family/school/1909020-sila-tyazhesti-formula-edinitsy-izmereniya-osobennosti/> (accessed 06.02.2024).
14. Pisarenko G. S., Agarev V. A., Kvitka A. L., Popkov V. G., Umanskiy E. S. *Soprotivleniye materialov* [Strength of materials]. Kyiv, Vishcha shkola Publ., 1979. 336 p. (In Russian).
15. Sukhova A. V. *Udobstvo myagkoy mebeli* [The convenience of upholstered furniture]. Moscow, TSNIITEIlesprroma Publ., 1967. 26 p. (In Russian).
16. How many springs should a good mattress have. Available at: <https://sonum.ru/blog/skolko-pruzhin-dolzno-byt-v-horoshem-matrase/> (accessed 06.02.2024) (In Russian).

### Информация об авторах

**Гордиевич Екатерина Ивановна** – ассистент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: gordiyevich@belstu.by

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

**Васеха Антон Павлович** – ассистент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: vaseha@belstu.by

### Information about the authors

**Gordiyevich Ekaterina Ivanovna** – assistant, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: gordiyevich@belstu.by

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

**Vasekha Anton Pavlovich** – assistant, the Department of Mechanics and Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vaseha@belstu.by

*Поступила 15.03.2024*

УДК 674.038.3:338.27

**Е. А. Лосик, Л. В. Игнатович**

Белорусский государственный технологический университет

**ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ЭКОНОМИЧЕСКОЙ ЭФФЕКТИВНОСТИ  
ПРИМЕНЕНИЯ УПЛОТНЕННОГО ШПОНА В ПРОИЗВОДСТВЕ  
КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ, СТОЛЯРНО-СТРОИТЕЛЬНЫХ  
И МЕБЕЛЬНЫХ ИЗДЕЛИЙ ИЗ ДРЕВЕСИНЫ**

В условиях рыночной экономики знания теоретических и практических методов прогнозирования необходимы для построения прогнозов экономического развития предприятий. Эти знания помогают предприятиям адаптироваться к изменениям на рынке, разрабатывать стратегические планы, оптимизировать ресурсы и минимизировать риски. Прогнозирование охватывает широкий спектр методов и инструментов, которые можно использовать в зависимости от специфики производства и доступных данных.

Прогнозирование экономического развития деревообрабатывающих предприятий – сложный процесс, позволяющий решить множество социально-экономических и научно-технических вопросов, обеспечивая устойчивое развитие и конкурентоспособность предприятий. Для этого необходимо обладать широким набором инструментов, основанных на различных методах и подходах.

В настоящее время разработка и внедрение экологических и ресурсосберегающих технологий с использованием уплотненного шпона в производстве композитных материалов, столярных и мебельных изделий с использованием уплотненного шпона, становятся все более актуальными. Этот модифицированный материал, произведенный путем прессования и обработки натуральной древесины, обладает высокой прочностью и устойчивостью к воздействию влаги, что делает его особенно привлекательным для применения в строительстве, производстве мебели и столярно-строительных изделий.

**Ключевые слова:** прогнозирование экономической эффективности, столярно-строительные изделия, методика экономического прогнозирования.

**Для цитирования:** Лосик Е. А., Игнатович Л. В. Прогнозирование экономической эффективности применения уплотненного шпона в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий из древесины // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 203–208.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-25.

**E. A. Losik, L. V. Ignatovich**

Belarusian State Technological University

**FORECASTING THE ECONOMIC EFFECTIVENESS OF USING COMPACTED  
VENEER IN THE PRODUCTION OF COMPOSITE MATERIALS,  
JOINERY AND WOOD FURNITURE PRODUCTS**

In a market economy, knowledge of theoretical and practical methods for forecasting needs in constructing forecasts for the economic development of enterprises. This knowledge allows businesses to adapt to changes in the market, develop strategic plans, optimize resources and minimize risks. Forecasting a wide range of methods and tools that can be used depending on the specifics of production and available data.

Forecasting the economic development of woodworking enterprises is a complex process that allows solving many socio-economic, scientific and technical issues, ensuring sustainable development and competitiveness of enterprises. To do this, you need to have a wide range of tools based on different methods and approaches.

Currently, the development and implementation of environmental and resource-saving technologies using compacted veneer in the production of composite materials, joinery and furniture products using compacted veneer is becoming increasingly relevant. This modified material, produced by pressing and processing natural wood, has high strength and resistance to moisture, which makes it especially attractive for use in construction, furniture and carpentry.

**Keywords:** forecasting economic efficiency, joinery and construction products, economic forecasting methods.

**For citation:** Losik E. A., Ignatovich L. V. Forecasting the economic effectiveness of using compacted veneer in the production of composite materials, joinery and wood furniture products. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 203–208 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-25.

**Введение.** На сегодняшний день можно выделить следующий ряд задач, ставящихся перед современной деревообрабатывающей промышленностью:

- развитие и оптимизация технических процессов производств;
- наращивание и увеличение ассортимента выпускаемых конкурентоспособных материалов и изделий из древесины;
- внедрение инновационных технологий, способствующих импортозамещению и снижающих удельную ресурсоемкость продукции;
- развитие экспорта изделий из древесины и их компонентов.

Именно от степени инновационности, т. е. способности использовать те или иные технические новшества, зависит экономическая эффективность и конкурентоспособность предприятий и отраслей экономики в целом.

Такой инновацией в деревообрабатывающей отрасли и является разработка новых композиционных материалов для столярно-строительных и мебельных изделий на основе уплотненного шпона с целью улучшения показателей их качества, т. е. физико-механических свойств (совокупности параметров), которые формируют определенную стоимость продукции. Оперативность принятия результативных решений на производстве – залог успешного функционирования предприятия в современных условиях. При решении производственных вопросов важно четко понимать тонкости технологии деревообработки, особенности применяемого технологического оборудования и используемых древесных материалов [1].

Таким образом, в условиях современной рыночной экономики понимание теоретических и практических методов прогнозирования технико-экономического развития предприятий является важным этапом, необходимым для разработки новых материалов и технологий.

Прогнозирование экономики – это сложный процесс, в ходе которого решаются социально-экономические и научно-технические задачи. В последние годы решение задач разработки и внедрения экологических и ресурсосберегающих технологий производства композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий с применением уплотненного (модифицированного) шпона становится более актуальным, интересным и перспективным для увеличения экономической эффективности работы деревообрабатывающих предприятий, улучшения качества выпускаемой продукции на основе композиционных материалов с применением модифицированного шпона.

**Основная часть.** Исследование экономического аспекта является основной целью процесса прогнозирования и планирования хозяйственной

деятельности деревообрабатывающих предприятий при внедрении новых материалов и изделий из них. Применение уплотненного шпона из мягколиственных пород древесины в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий будет способствовать обеспечению устойчивости экономического развития деревообрабатывающих предприятий, расширению сырьевой базы и увеличению ассортимента изделий из древесины.

Метод расчета прогнозной экономической эффективности от применения уплотненного шпона в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий из древесины состоит из следующих шагов [2, 3]:

- оценка затрат на внедрение технологии: стоимость оборудования, которая может существенно варьироваться в зависимости от технических характеристик и составлять приблизительно от нескольких десятков до сотен тысяч белорусских рублей; обучение и переподготовка персонала для работы с новым оборудованием; временные затраты на подготовку производственных мощностей и закупку сырья и материалов;
- оценка затрат на производство новой продукции, которая включает затраты: на электроэнергию, воду и другие ресурсы; оплату труда персонала, занятого в производственном процессе (операторы оборудования, рабочие на линиях, технический персонал и др.); техническое обслуживание и ремонт оборудования;
- оценка уровня качества выпускаемой продукции;
- прогнозирование дополнительной прибыли: увеличение объема продаж, привлечение клиентов, анализ реакции рынка и аудитории на разрабатываемый продукт;
- оценка возвратности инвестиций, т. е. расчет срока окупаемости, необходимого для покрытия доходов всех затрат на реализацию проекта;
- прогнозирование чистой прибыли, которое осуществляется после вычета всех затрат. На ожидаемый доход будут влиять: объем продаж, цена продукции, увеличение спроса и т. д. На расходы влияют: затраты на материал, энергию, оплату труда, амортизацию, налоги и т. д.;
- анализ рисков и сценариев также является важным шагом при планировании и внедрении новых технологий, в частности при их идентификации (технические проблемы с оборудованием, изменение в законодательстве или нормативных требованиях, изменение спроса на рынке и др.). Каждый из этих рисков требует тщательной оценки с точки зрения вероятности возникновения и потенциального воздействия на проект. Чувствительность анализа позволяет оценить влияние изменения ключевых параметров на экономическую эффективность проекта.

И на основе проведенного анализа можно выделить наиболее критические факторы, определяющие успех или неудачу разрабатываемого проекта.

Следует отметить, что с учетом средних рыночных цен [4] и объемов производства [5] можно утвердить, что уплотненный шпон из мягколиственных пород древесины может использоваться как альтернативный материал натуральному шпону из древесины твердолиственных пород.

Также можно предположить, что использование уплотненного шпона повлечет за собой снижение себестоимости готовых материалов и изделий, самым распространенным и часто используемым из которых является фанера общего назначения с наружными слоями из шпона древесины лиственных [6] и хвойных [7] пород, применяющаяся в строительстве (для устройства опалубок, интерьеров, при изготовлении паркетных изделий и др.) и в производстве мебели (для изготовления щитовых деталей, задних стенок конструктивных элементов, ящиков и других изделий).

Основным показателем, характеризующим эффективность использования новых материалов, является величина приведенных затрат, которая складывается из суммы себестоимости единицы продукции и удельных капитальных вложений. Годовой экономический эффект определяется расходами приведенных затрат по существующему и создаваемому материалу [8].

Для расчета экономической эффективности внедряемой технологии необходимо определить следующие показатели: прирост (увеличение прибыли), срок окупаемости капитальных вложений, коэффициент экономической эффективности [9–14].

Годовой экономический эффект (прирост прибыли)  $\mathcal{E}_{\text{год}}$ , тыс. руб., определяли исходя из экономии при замещении шпона из твердолиственных пород древесины (дуб, ясень, бук и др.) на уплотненный шпон из мягколиственных пород (береза, ольха и т. п.) по формуле (1):

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (C_1 + C_2) \cdot \Pi_{\text{год}}, \quad (1)$$

где  $C_1$  – себестоимость изготовления 1 м<sup>2</sup> строганого шпона исходя из твердолиственных пород древесины, тыс. руб.;  $C_2$  – себестоимость изготовления 1 м<sup>2</sup> уплотненного шпона из мягколиственных пород древесины, тыс. руб.;  $\Pi_{\text{год}}$  – годовой объем выработки на участке уплотнения, м<sup>2</sup>.

Срок окупаемости капитальных вложений  $T_{\text{ок}}$ , лет, при внедрении участка уплотнения шпона определяли по формуле (2):

$$T_{\text{ок}} = \frac{K_{\text{н}} + A_{\text{н}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}, \quad (2)$$

где  $K_{\text{н}}$  – капитальные вложения на новое оборудование, тыс. руб.;  $A_{\text{н}}$  – сумма амортизационных отчислений, тыс. руб.

Годовую программу выработки заготовок  $Q_{\text{г}}$ , м<sup>2</sup>, на участке уплотнения рассчитывали по формуле (3):

$$Q_{\text{г}} = T_{\text{год.эф.}} \cdot \Pi_{\text{ч.с}} \cdot K_{\text{р}}, \quad (3)$$

где  $T_{\text{год.эф.}}$  – эффективный годовой фонд времени, ч;  $\Pi_{\text{ч.с}}$  – часовая производительность прокатного станка, м<sup>2</sup>;  $K_{\text{р}}$  – коэффициент на неучтенные простои времени.

Часовую производительность участка уплотнения  $\Pi_{\text{ч.у}}$ , м<sup>2</sup>, рассчитывали по формуле (4):

$$\Pi_{\text{ч.у}} = 60 \cdot U \cdot K_{\text{д}} \cdot K_{\text{м}}, \quad (4)$$

где  $U$  – скорость подачи заготовок, м/мин;  $K_{\text{д}}$  – коэффициент использования рабочего времени;  $K_{\text{м}}$  – коэффициент использования машинного времени.

Расчет экономической эффективности применения уплотненного шпона из мягких лиственных пород выполнен на основе анализа цен и объемов производства шпона в Республике Беларусь за 2021 г. (выпущено 11 215 м<sup>3</sup> (112 150 м<sup>2</sup>) лущеного шпона и 1390 тыс. м<sup>2</sup> строганого шпона [5]).

Для примера расчета экономической эффективности предположим, что в среднем предприятие по производству шпона будет изготавливать 20 000 м<sup>2</sup>/год и посчитаем годовую эффективность (прибыль) по формуле (1). Но сначала, согласно данным [4], определим стоимость строганого шпона древесины дуба, которая в среднем составляет 40 бел. руб./м<sup>2</sup>, а лущеного шпона из древесины березы – 8 бел. руб./м<sup>2</sup>. Наценка при формировании розничных цен на товары, которые произведены в Республике Беларусь, не должна превышать 10% [15]. Исходя из этого можно допустить, что приблизительная себестоимость шпона составляет 36 и 7,2 бел. руб./м<sup>2</sup> соответственно.

Опираясь на источник литературы [6], предположим, что после внедрения в производство участка уплотнения себестоимость лущеного шпона увеличится примерно на 20% и будет равна 8,64 бел. руб./м<sup>2</sup>.

На примере ранее проведенных исследований и расчетов [6] найдем экономическую эффективность выпуска уплотненного шпона:

$$\mathcal{E}_{\text{год}} = (36 - 8,64) \cdot 20\,000 = 547\,200.$$

Для подсчета срока окупаемости по формуле (2) допустим, что предполагаемая стоимость внедряемого оборудования (прокатного станка) [16] для уплотнения шпона составит 120 000 бел. руб. [17], а сумма амортизационных отчислений при расчете на 10 000 ч работы 12 000 бел. руб. [18]. Таким образом, получим примерную окупаемость внедрения:

$$T_{\text{ок}} = \frac{120\,000 + 12\,000}{547\,200} = 0,24 \text{ года.}$$

Годовую программу выработки заготовок на участке уплотнения шпона определим по формуле (3), предварительно рассчитав эффективный годовой фонд времени:

$$T_{\text{год.эф}} = [N - (B + П + P)] \cdot c \cdot t, \quad (5)$$

где  $N$  – число дней в году;  $B$ ,  $П$ ,  $P$  – соответственно количество выходных, праздничных и ремонтных дней в году;  $c$  – количество рабочих смен;  $t$  – длительность рабочей смены, ч.

$$T_{\text{год.эф}} = [365 - (104 + 9 + 10)] \cdot 2 \cdot 8 = 3872 \text{ ч.}$$

Часовую производительность участка ( $П_{\text{ч.у}}$ ) уплотнения шпона определим по формуле (4) (скорость подачи материала примем равной 9,5 м/мин):

$$П_{\text{ч.у}} = 60 \cdot 9,5 \cdot 0,85 \cdot 0,8 = 357,6 \text{ м}^2.$$

Получив значения  $T_{\text{год.эф}}$  и  $П_{\text{ч.у}}$ , можем рассчитать годовую программу выработки:

$$Q_{\text{г}} = 3872 \cdot 357,6 \cdot 0,95 = 1\,402\,181.$$

Результаты расчетов запишем в таблицу.

#### Технико-экономические показатели

Показатель	Единицы измерения	Значение показателя
Годовая программа выработки заготовок на участке уплотнения	м <sup>2</sup>	438,182
Капитальные вложения	тыс. руб.	120 000
Текущие затраты	тыс. руб.	132 000
Прирост прибыли	тыс. руб.	547 200
Срок окупаемости	лет	0,24

Пример расчета, приведенный выше, демонстрирует базовый подход к оценке экономической эффективности применения уплотненного шпона в производстве. Необходимо обратить внимание на то, что конкретные цифры и результаты могут изменяться в зависимости от условий и параметров производства.

Из предыдущих исследований [8] известно, что модифицирование шпона приводит к увеличению его плотности примерно на 20%. Это влечет за собой повышение твердости, уменьшение пористости и шероховатости исходного материала, что оказывает влияние на качество поверхностей, которые становятся более однородными,

обладают меньшей смачиваемостью и впитываемостью.

На основе вышеизложенного можно сделать вывод о том, насколько экономически эффективным будет внедрение уплотненного шпона в производство композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий из древесины на конкретном производстве, и можно будет принять решение о целесообразности его применения или дальнейших технических корректировках.

**Заключение.** Результаты расчетов прогнозируемой экономической эффективности от применения уплотненного шпона в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий из мягколиственных пород древесины отражают следующее: внедрение в производство технологии модифицирования шпона из мягколиственных пород быстро окупается (0,24 года); позволяет получать прибыль в условиях применения дополнительных операций в процессе улучшения физико-механических характеристик; дает возможность сократить расход клея за счет уменьшения пористости и шероховатости; влечет за собой снижение себестоимости продукции, произведенной на основе уплотненного шпона.

Также внедрение в производство и применение уплотненного шпона из мягколиственных пород древесины может принести ряд значительных экономических выгод:

- увеличение конкурентоспособности продукции (применение уплотненного шпона позволяет создавать продукцию с улучшенными характеристиками, что повышает конкурентоспособность изделий на рынке и способствует увеличению спроса на них);

- расширение ассортимента продукции (возможно создание разнообразных продуктов с уникальными дизайнерскими решениями, что расширяет ассортимент и привлекает новых клиентов);

- эффективное использование ресурсов (производство уплотненного шпона из мягколиственных пород древесины позволяет эффективно использовать сырье и сокращать расходы на его закупку);

- устойчивость экономического развития (внедрение новых материалов и технологий способствует повышению эффективности производства и увеличению прибыли предприятия).

#### Список литературы

1. Программа развития деревообрабатывающего и мебельного производства // Белорусский производственно-торговый концерн лесной, деревообрабатывающей и целлюлозно-бумажной промышленности. URL: <http://www.bellesbumprom.by/ru/> (дата обращения: 20.02.2024).
2. Баканов М. И., Мельник М. В., Шеремет А. Д. Теория экономического анализа. 5-е изд., перераб. и доп. М.: Финансы и статистика, 2007. 536 с.
3. Комплексный экономический анализ хозяйственной деятельности / А. И. Алексеева [и др.]. М.: Финансы и статистика, 2022. 706 с.

4. Цена шпона // Интершпон Плюс. URL: <https://intershpon.by/> (дата обращения: 20.02.2024).
5. Объемы производства // Нац. стат. ком. URL: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_brochures/index\\_77367/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_77367/) (дата обращения: 20.02.2024).
6. Утгоф С. С., Игнатович Л. В. Оценка экономической эффективности производства многослойных паркетных покрытий с лицевым слоем из уплотненной термомеханическим способом древесины березы и ольхи // Труды БГТУ. 2014. № 2: Лесная и деревообработ. пром-сть. С. 100–103.
7. Механическая технология древесины: респ. межведомств. сб. Минск, 1978. Вып. 8. 145 с.
8. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона лиственных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.1–2018. М.: Стандартиформ, 2019. 25 с.
9. Фанера общего назначения с наружными слоями из шпона хвойных пород. Технические условия: ГОСТ 3916.2–2018. М.: Стандартиформ, 2019. 28 с.
10. Инструкция по оценке эффективности использования результатов исследований и разработок в промышленности: постановление ГКНТ и НАН Беларуси, 10.04.2017, № 9. Минск, 2014. 19 с.
11. Методические рекомендации по оценке эффективности использования в лесном хозяйстве результатов научно-исследовательских, опытно-конструкторских и опытно-технологических работ: науч.-техн. информ. в лесном хоз-ве. Минск, 2005. Вып. 6. 49 с.
12. Об установлении нормативных сроков службы основных средств и признании утратившими силу некоторых постановлений Министерства экономики Республики Беларусь: постановление Совета Министров Респ. Беларусь, 30.09.2011, № 161. Минск, 2011. 73 с.
13. Технология изделий из древесины. В 2 ч. Ч. 2. Нормы расхода сырья и материалов / А. А. Барташевич [и др.]. Минск: БГТУ, 2010. 178 с.
14. Игнатович Л. В., Шетько С. В. Технология производства мебели и столярно-строительных изделий. Минск: БГТУ, 2017. 241 с.
15. Нормирование цен // М-во антимонопол. регулирования и торговли Респ. Беларусь. URL: <https://mart.gov.by> (дата обращения: 22.02.2024).
16. Оборудование для уплотнения шпона и тонкомерной древесины / А. А. Барташевич [и др.] // Труды БГТУ. Сер. 1: Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2018. № 1 (204). С. 45–48.
17. Стоимость станков // Deal.by. URL: <https://deal.by/derevoobrabatyvayuschij-stanok-s-chpu.html> (дата обращения: 22.02.2024).
18. Расчет амортизационной стоимости // ilex.by. URL: <https://ilex.by/sposoby-i-metody-nachisleniya-amortizatsii-po-os/> (дата обращения: 22.02.2024).

#### References

1. Development program for woodworking and furniture production. Available at: <http://www.bellesbumprom.by/ru/> (accessed 20.02.2024) (In Russian).
2. Bakanov M. I., Mel'nik M. V., Sheremet A. D. *Teoriya ekonomicheskogo analiza* [Theory of economic analysis]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2007. 536 p. (In Russian).
3. Alekseeva A. I., Vasil'ev Yu. V., Maleeva A. V., Ushvickij L. I. *Kompleksnyy ekonomicheskij analiz khozyaystvennoy deyatel'nosti* [Comprehensive economic analysis of economic activity]. Moscow, Finansy i statistika Publ., 2022. 706 p. (In Russian).
4. Veneer price. Available at: <https://intershpon.by/> (accessed 20.02.2024) (In Russian).
5. Production volumes. Available at: [https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public\\_brochures/index\\_77367/](https://www.belstat.gov.by/ofitsialnaya-statistika/publications/izdania/public_brochures/index_77367/) (accessed 20.02.2024) (In Russian).
6. Utgof S. S., Ignatovich L. V. Assessment of the economic efficiency of the production of multilayer parquet coverings with a front layer of thermomechanically compacted birch and alder wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], 2014, no. 2: Forestry and Woodworking Industry, pp.100–103 (In Russian).
7. *Mekhanicheskaya tekhnologiya drevesiny: respublikanskiy mezhvedomstvennyy spornik* [Mechanical technology of wood: republican interdepartmental collection]. Minsk, 1978. 145 p. (In Russian).
8. ГОСТ 3916.1–2018. Plywood for general use with outer layers of deciduous veneer. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 25 p. (In Russian).
9. ГОСТ 3916.2–2018. Plywood for general use with outer layers of coniferous veneer. Specifications. Moscow, Standartinform Publ., 2019. 28 p. (In Russian).
10. Instructions for assessing the effectiveness of using research and development results in industry: Resolution of the State Committee for Science and Technology and the National Academy of Sciences of Belarus, 10.04.2017, no. 9. Minsk, 2014. 19 p. (In Russian).
11. *Metodicheskiye rekomendatsii po otsenke effektivnosti ispol'zovaniya v lesnom khozyaystve rezul'tatov nauchno-issledovatel'skikh, opytно-konstruktor'skikh i opytно-tekhnologicheskikh rabot: nauchno-tekhnicheskaya informatsiya v lesnom khozyaystve* [Methodological recommendations for assessing the effectiveness of

using the results of research, development and experimental-technological work in forestry: scientific and technical information in forestry]. Minsk, 2005, issue 6, 49 p. (In Russian).

12. On establishing standard service life of fixed assets and invalidating certain resolutions of the Ministry of Economy of the Republic of Belarus: resolution of the Council of Ministers of the Republic of Belarus, 30.09.2011, no. 161. Minsk, 2011. 73 p. (In Russian).

13. Bartashevich A. A., Ignatovich L. V., Shet'ko S. V., Bahar L. M. *Tekhnologiya izdeliy iz drevesiny. V 2 ch. Ch. 2. Normy raskhoda syr'ya i materialov* [Technology of wood products. In 2 parts. Part 2. Consumption rates for raw materials and materials]. Minsk, BSTU Publ., 2010. 178 p. (In Russian).

14. Ignatovich L. V., Shet'ko S. V. *Tekhnologiya proizvodstva mebeli i stolyarno-stroitel'nykh izdeliy*. [Technology of production of furniture and joinery and construction products]. Minsk, BSTU Publ., 2017. 241 p. (In Russian).

15. Price rationing. Available at: <https://mart.gov.by> (accessed 22.02.2024) (In Russian).

16. Bartashevich A. A., Korobko E. V., Bilyk V. A., Bartashevich M. A. Equipment for compacting veneer and thin wood. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2018, no. 1, pp. 45–48 (In Russian).

17. Cost of machines. Available at: <https://deal.by/derevoobrabatyvayuschij-standok-s-chpu.html> (accessed 22.02.2024) (In Russian).

18. Calculation of depreciation cost. Available at: <https://ilex.by/sposoby-i-metody-nachisleniya-amortizatsii-po-os/> (accessed 22.02.2024) (In Russian).

### Информация об авторах

**Лосик Екатерина Анатольевна** – аспирант кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [katerinalosik17@gmail.com](mailto:katerinalosik17@gmail.com)

**Игнатович Людмила Владимировна** – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). [ignatovich@belstu.by](mailto:ignatovich@belstu.by), [lignatovich6@gmail.com](mailto:lignatovich6@gmail.com)

### Information about the authors

**Losik Ekaterina Anatol'evna** – PhD student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [katerinalosik17@gmail.com](mailto:katerinalosik17@gmail.com)

**Ignatovich Lyudmila Vladimirovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, Assistant Professor, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: [ignatovich@belstu.by](mailto:ignatovich@belstu.by), [lignatovich6@gmail.com](mailto:lignatovich6@gmail.com)

*Поступила 15.03.2024*

УДК 796.022-035.31:630\*812.79

**Н. Ю. Шелемет, А. Л. Наркевич, А. С. Чуйков, А. В. Полховский**  
Белорусский государственный технологический университет

### **ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИКО-МЕХАНИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАТЕРИАЛОВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В ПРОИЗВОДСТВЕ СПОРТИВНОГО ИНВЕНТАРЯ**

В статье описаны основные характеристики спортивного инвентаря (в частности, спортивно-беговых лыж и клюшек), такие как масса, жесткость и прочность изделия, которые наиболее важны для спортсменов. Статья включает обзор материалов, используемых для создания спортивного инвентаря высокого качества, которые должны обладать низкой массой, но высокой жесткостью и прочностью. Описан подробный процесс изготовления экспериментальных образцов композиционных материалов на основе древесины осины, березы и дуба, армированных при помощи специальных волокон, которые удерживались и скреплялись между собой при помощи связующего (эпоксидный клей марки ЭДП). В качестве армирующих слоев использовали угле- и стекловолокно. После этого при помощи точных весов, разрывной машины и другого оборудования были исследовали физико-механические характеристики данных составных материалов. Получены зависимости изменения массы образцов от количества нитей армирующих волокон и необходимого для их удержания связующего. В ходе проведения эксперимента установлено изменение прочности исследуемых составных материалов в зависимости от материала-основы (древесина березы, дуба и осины) до армирования и с полным армированием стекло- и углеровингом. Выявлено изменение жесткости полученных композиционных материалов при увеличении количества нитей армирующего слоя из стекло- и углеволокон. Получены экспериментальные уравнения регрессии, отражающие данную зависимость и позволяющие теоретически рассчитать необходимую жесткость конечного продукта. В ходе проведения эксперимента установлено, что для изготовления спортивного инвентаря, работающего на жесткость, лучше использовать в качестве сердцевины древесину более легких пород, например осину, так как она позволяет значительно уменьшить массу конечного продукта, а армирующие слои при этом вносят наибольший вклад в жесткость и прочность конструкции, которую можно регулировать за счет типа применяемых волокон, их количества или комбинирования между собой.

**Ключевые слова:** лыжи, спортивный инвентарь, клюшки, масса, жесткость, прочность, материалы, упругость.

**Для цитирования:** Шелемет Н. Ю., Наркевич А. Л., Чуйков А. С., Полховский А. В. Исследование физико-механических характеристик материалов, применяемых в производстве спортивного инвентаря // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 209–217.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-26.

**N. Yu. Shelemet, A. L. Narkevich, A. S. Chuikov, A. V. Polkhovsky**  
Belarusian State Technological University

### **RESEARCH OF PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERISTICS OF MATERIALS USED IN THE PRODUCTION OF SPORTS EQUIPMENT**

The article describes the main characteristics of sports equipment (in particular, cross-country skis and clubs), such as mass, rigidity and strength of the product, which are most important for athletes. The article includes an overview of the materials used to create this sports equipment, which must have low weight, but high rigidity and strength, which is necessary to create a high-quality product. A detailed process is described for the manufacture of experimental samples of composite materials based on aspen, birch and oak wood, which were reinforced with special fibers that were held and fastened together using a binder (EDP brand epoxy adhesive). Carbon and glass fiber were used as reinforcing layers. Then, using precision scales, a tensile testing machine and other equipment, the physical and mechanical characteristics of these composite materials were studied. The dependences of the change in the mass of the samples on the number of threads of reinforcing fibers and the binder necessary to hold them were obtained. During the experiment, a change in the strength of the studied composite materials was established depending on the base material (birch, oak and aspen wood) before reinforcement and with full reinforcement with glass and carbon lining. A change in the rigidity of the resulting composite materials was revealed with an increase in the number of threads of the reinforcing layer made of glass and carbon fibers. Experimental regression equations were obtained that reflect this dependence and make it possible to theoretically calculate the required stiffness of the final product. During the experiment, it was found that for the manufacture of sports

equipment that works on rigidity, it is better to use lighter wood, such as aspen, as the core, since it can significantly reduce the mass of the final product, and the reinforcing layers make the greatest contribution to rigidity and structural strength, which can be adjusted due to the type of fibers used, their quantity, or by combining them with each other.

**Keywords:** skis, sports equipment, clubs, mass, stiffness, strength, materials, elasticity.

**For citation:** Shelemet N. Yu., Narkevich A. L., Chuikov A. S., Polkhovsky A. V. Research of physical and mechanical characteristics of materials used in the production of sports equipment. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2023, no. 2 (282), pp. 209–217 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-26.

**Введение.** Известно, что снаряжение, обладающее меньшей массой, предоставляет спортсмену определенные преимущества. Например, в лыжном спорте более легкие изделия позволяют развивать большую скорость и сохранять при этом силы спортсмена. С другой стороны, лыжи должны обладать достаточной жесткостью, чтобы сопротивляться нагрузкам, которые создает на них спортсмен своим весом и маневрами во время езды [1].

При игре в хоккей на траве вес клюшки также является важным параметром, так как игрок должен максимально ловко обращаться с ней во время игры. Легкая клюшка будет нести меньше собственной инерции, а следовательно, она может передавать больше информации как от спортивного снаряда, так и от покрытия в руки спортсмена. Для клюшки также важна высокая жесткость, поскольку любая ее деформация при броске может отклонить полет мяча от намеченной траектории [2].

Перечисленные выше виды спортивного инвентаря во время их эксплуатации испытывают высокие нагрузки, что связано с жесткими условиями их использования. Именно поэтому они должны обладать высокой прочностью. Материалы, применяемые в их конструкции, анизотропны, т. е. обладают разными физико-механическими свойствами в различных направлениях. Одни имеют природное происхождение и обладают невысокой прочностью и жесткостью, но меньшей массой, другие, наоборот, – обладают высокой прочностью и долговечностью, но являются более тяжелыми [3].

Инвентарь, который во время его эксплуатации спортсменом в большей степени работает на жесткость (спортивно-беговые лыжи, клюшки и др.), зачастую имеет примерно одинаковое внутреннее строение – сердечник из древесины, который укреплен различными армирующими материалами на основе волокон, таких как стекловолокно, углеволокно или кевлар [4, 5].

Соответственно, чтобы такой спортивный инвентарь обладал невысокой массой, но обеспечивал достаточную жесткость и прочность, необходимо исследовать изменения физико-механических характеристик материалов при формировании армирующих слоев из угле- и стекловолокон

на поверхности древесины. В связи с этим возникает необходимость проведения эксперимента, позволяющего установить соответствующие зависимости.

**Основная часть.** Для исследования физико-механических свойств разрабатываемых составных материалов изготовлены образцы из древесины лиственных пород различной плотности: осины, березы и дуба следующих размеров 300×20×20 мм, согласно с показателями, описанными в ГОСТ 16483.9–73 [6] и ГОСТ 16483.3–84 [7]. Изготовлено по 10 образцов каждой породы для их дальнейшего испытания на жесткость, прочность и определения модуля упругости.

После предварительного испытания образцов древесины на жесткость отобраны по пять из каждой породы для дальнейшего изготовления составов материалов с пошаговым укреплением армирующих слоев (рис. 1).

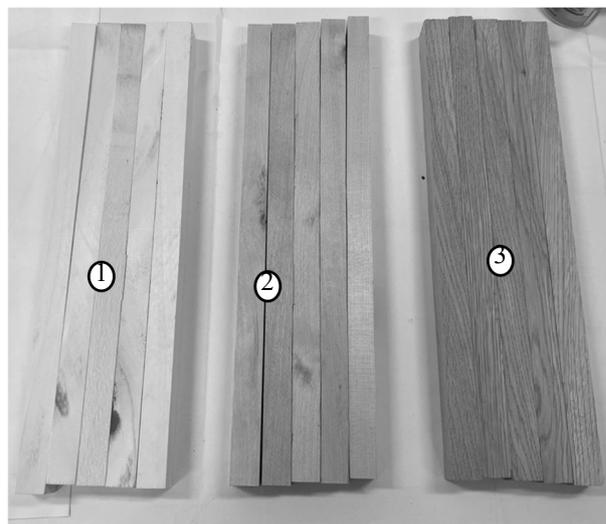


Рис. 1. Образцы из древесины различных пород:  
1 – осина; 2 – береза; 3 – дуб

На торцах заготовок на пересечении диагоналей нанесена разметка центра, на месте которой при помощи сверлильного станка были сделаны отверстия, имеющие диаметр 2 мм и глубину 30 мм. Затем в высверленные отверстия вкручены шурупы. На одном из них закреплены петли из полипропиленового шпагата (рис. 2).

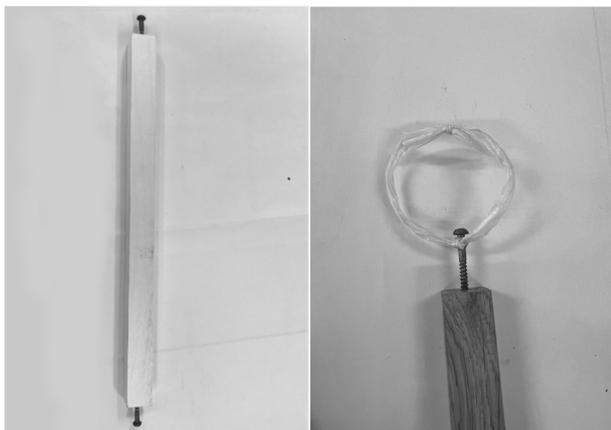


Рис. 2. Подготовка образцов к изготовлению составов материалов

С целью придания поверхности древесины лучшей адгезии подготовлена клеевая композиция и предварительно нанесена тонким слоем на 2 противоположные плоскости заготовки, которые выбирали таким образом, чтобы при испытании происходил тангенциальный изгиб. В качестве связующего выступала смола марки ЭДП, смешанная с отвердителем в соотношении 10:1. Затем образцы отправлены на выдержку (24 ч) до полного высыхания. Следующая операция заключалась в удалении излишков связующего с поверхности образцов при помощи наждачной бумаги, ацетона и скребка. Процесс создания второго слоя покрытия был аналогичен первому [8].

Во время следующей операции нити стекловолокна, имеющие линейную плотность 2400 текс, наматывались на 2 пласти образца с противоположных сторон, по 4 нити на каждую, и фиксировались при помощи шурупов на торцах заготовок (рис. 3) [9].



Рис. 3. Фиксирование нитей стекловолокна на образцах

Далее стекловолокно пропитывали клеевой композицией под направленным потоком воздуха, имеющего температуру 70°C, для того, чтобы связующее имело меньшую вязкость и легче проникало в структуру армирующего слоя. После этого

нить стекловолокна становилась прозрачной. Затем образец обертывали в бумагу (рис. 4) [10].

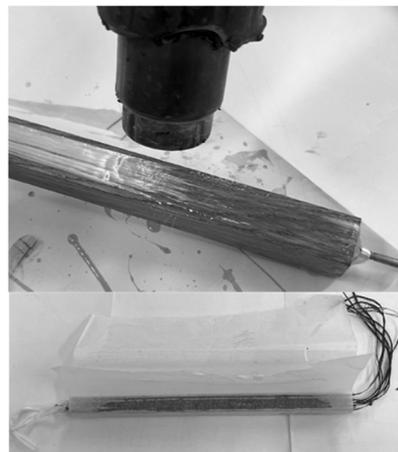


Рис. 4. Общий вид образцов в процессе армирования

На следующем этапе заготовку помещали в пресс-форму с целью ускорения процесса отверждения клеевой композиции. Температуру пресса устанавливали 75°C, а время выдержки 10 мин (рис. 5).

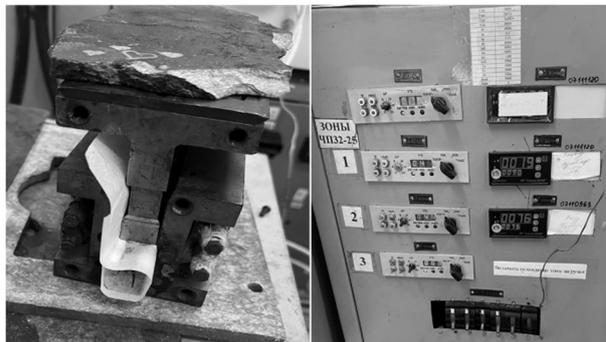


Рис. 5. Пресс форма для отверждения связующего

Затем образец извлекали из пресс-формы и после остывания удаляли излишки связующего и неровности с поверхности. Полученные составные материалы испытывали на жесткость и далее армировали, повторяя вышеописанные действия. Нити углеровинга, которые имели линейную плотность 200 текс, наносили таким же образом, как и стекловолокна (рис. 6) [11].



Рис. 6. Армирование образца нитями углеровинга

Таблица 1

## Изменение массы образцов при пошаговом увеличении количества армирующих слоев

Наименование образца	Масса, г				
	до армирования	при 4 СВ	при 8 СВ	при 8 СВ и 4 УВ	при 8 СВ и 8 УВ
О1Ж	50,8	61,6	69,4	70,6	71,7
О2Ж	51,5	61,1	67,9	70,3	71,6
О3Ж	54,8	65,4	73,1	74,2	76,4
О4Ж	52,7	62,3	70,1	71,3	72,6
О5Ж	52,4	62,3	69,7	71,3	73,3
О <sub>ср</sub> (среднее арифметическое значение образцов О1Ж–О5Ж)	52,4	62,5	70,0	71,5	73,1
Б1Ж	73,4	83,1	90,3	91,5	93,1
Б2Ж	89,4	98,7	105,2	106,7	108,7
Б3Ж	79,6	91,0	98,2	99,3	100,7
Б4Ж	91,4	100,8	108,6	109,2	111,2
Б5Ж	72,6	83,3	90,4	91,7	93,6
Б <sub>ср</sub> (среднее арифметическое значение образцов Б1Ж–Б5Ж)	81,3	91,4	98,5	99,7	101,5
Д1Ж	78,7	88,5	95,8	97,3	98,8
Д2Ж	89,3	99,2	106,8	108,5	110,2
Д3Ж	82,5	92,1	99,3	100,7	102,3
Д4Ж	90,6	101,6	109,1	110,5	112,9
Д5Ж	88,5	98,8	106,7	107,8	109,6
Д <sub>ср</sub> (среднее арифметическое значение образцов Д1Ж–Д5Ж)	85,9	96,0	103,5	105,0	106,8

*Примечание.* 4 СВ – образец, армированный четырьмя нитями стеклоровинга с двух противоположных пластей; 8 СВ – образец, армированный восемью нитями стеклоровинга с двух противоположных пластей; 8 СВ и 4 УВ – образец, армированный восемью нитями стеклоровинга и четырьмя нитями углеровинга с двух противоположных пластей; 8 СВ и 8 УВ – образец, армированный восемью нитями стеклоровинга и восемью нитями углеровинга с двух противоположных пластей.

Для получения сравнительной характеристики исследуемых образцов на протяжении эксперимента осуществляли измерение их массы на каждом этапе армирования с помощью аналитических весов, имеющих точность измерения 0,1 г.

Результаты исследования представлены в табл. 1 и на рис. 7.

Для исследования жесткости образцов за основу был взят метод определения модуля упругости при статическом изгибе по ГОСТ 16483.9–73 [6].

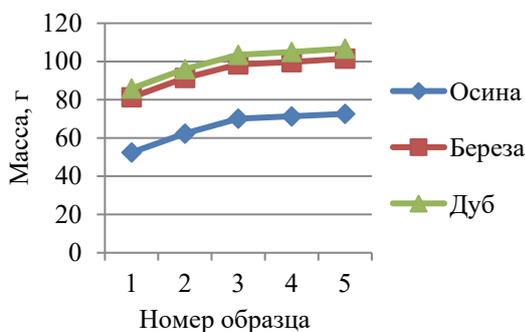


Рис. 7. Средняя масса образцов составных материалов, изготовленных из древесины осины, березы и дуба

Для проведения эксперимента применяли испытательную машину MTS Criterion Model 43, обеспечивающую равномерную скорость нагружения образца или перемещения нагружающей головки и позволяющую измерять нагрузку с погрешностью не более 1% [12].

Образец нагружали по схеме, изображенной на рис. 8.

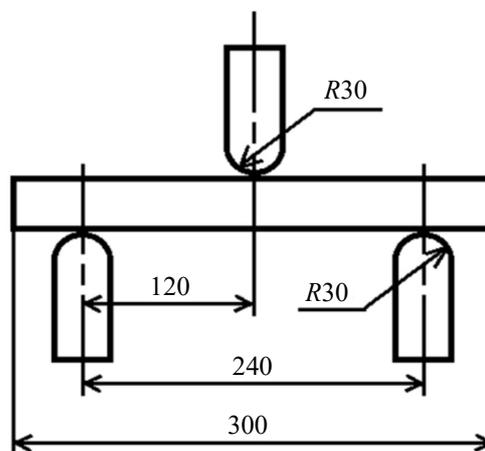


Рис. 8. Схема нагружения образца

Расстояние между центрами опор составляло 240 мм, а между нагружающим ножом и опорами 120 мм.

В ходе исследования испытательная машина фиксировала испытательную нагрузку и величину прогиба образца, автоматически строила график зависимости.

Для проведения эксперимента применяли приспособление, обеспечивающее статический изгиб за счет приложения нагрузки к его центральной части, находящейся между осями опор [13].

Ширину  $b$  и высоту  $h$  сечения образца измеряли на середине его длины с погрешностью, не превышающей 0,1 мм.

Нагрузку образца выполняли с постоянной скоростью  $v = 2,0$  мм/мин до значения 300 Н, после чего образец плавно разгружали, а испытательная машина фиксировала высоту прогиба.

Жесткость образцов  $K$ , Н/мм, вычисляли по формуле

$$K = \frac{P}{f},$$

где  $p$  – нагрузка, равная разности между верхним и нижним пределами нагружения, Н;  $f$  – прогиб образца в зоне чистого изгиба, равный разности между результатами измерения прогиба при верхнем и нижнем пределах нагружения, мм.

Суть метода заключалась в определении величины прогиба образцов при трехточечном нагружении с пошаговым усилением армирующего слоя. Результаты испытаний представлены в табл. 2 и на рис. 9.

Для определения предела прочности экспериментальных образцов за основу был взят метод, описанный в ГОСТ 16483.3–84 [6].

Эксперимент проводился с целью определения максимальной нагрузки при разрушении образца и вычисления напряжения при этой нагрузке.

Таблица 2

**Жесткость составного материала в зависимости от количества армирующих нитей**

Наименование показателя	Среднее значение				
	до армирования	при 4 СВ	при 8 СВ	при 8 СВ и 4 УВ	при 8 СВ и 8 УВ
Общее количество армирующих нитей, шт.	0	4	8	12	16
Жесткость материала, Н/мм на основе:					
осины	392	482	710	742	810
березы	476	609	762	801	863
дуба	502	585	804	820	875
Масса образцов, г:					
из осины	52,4	62,5	70,0	71,5	73,1
из березы	81,3	91,4	98,5	99,7	101,5
из дуба	85,9	96,0	103,5	105,0	106,8

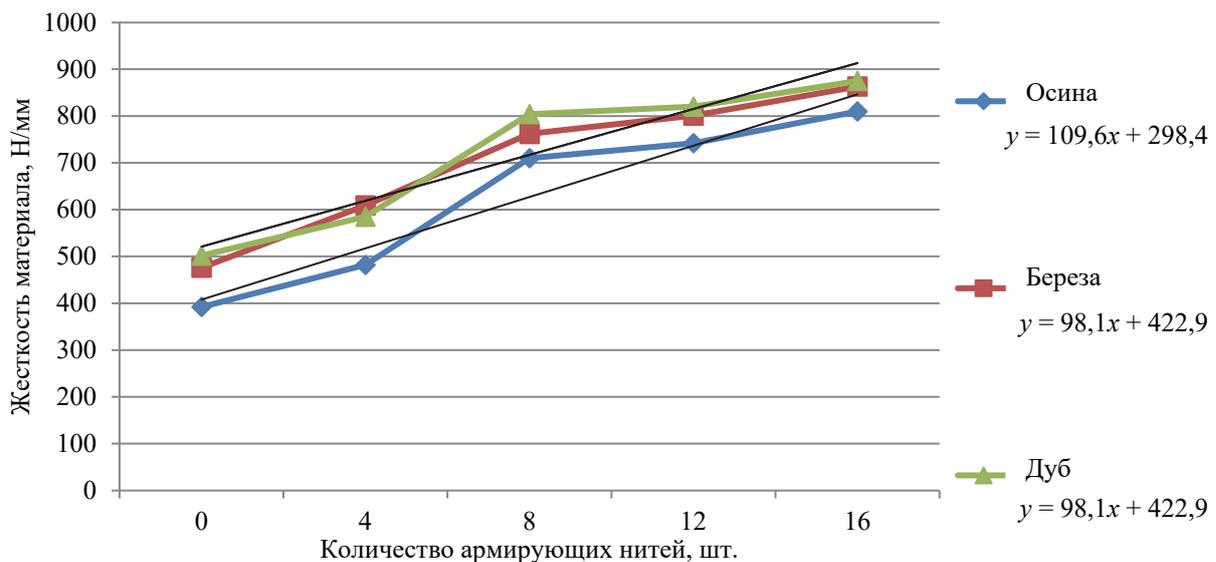


Рис. 9. График влияния количества армирующих волокон на жесткость составного материала на основе различных пород древесины

Предел прочности  $\sigma_w$ , МПа, образца в момент испытания вычисляли по формуле

$$\sigma_w = \frac{3P_{\max}l}{2bh^2},$$

где  $P_{\max}$  – максимальная нагрузка, Н;  $l$  – расстояние между центрами опор, мм;  $h$  – высота образца, мм;  $b$  – ширина образца, мм.

Результаты испытаний представлены в табл. 3 и на рис. 10.

**Закключение.** При проведении научных исследований установлено, что масса составного материала из древесины осины при полном армировании увеличилась на 40% – с 52,4 до 73,1 г. На каждый слой армирования стекловолокном приходилось порядка 18–19% увеличения мас-

сы (9–10 г) и по 1–2% на укрепляющие слои из углеволокна (около 1 г). При этом жесткость данного состава при нанесении первого слоя армирования увеличилась на 23%, второго на 81%, а при нанесении дополнительных армирующих слоев из углеволокна на 89 и 106% соответственно. Таким образом, жесткость возросла с 392 до 810 Н/мм. Этот показатель больше жесткости древесины дуба до армирования приблизительно на 61%. Прочность составного материала при испытании на статический изгиб при полном армировании возросла в 1,58 раза – с 37,9 до 59,9 МПа. Она стала сопоставимой с прочностью древесины дуба (выше на 4%), но при этом полученный состав материала оказался легче на 20%.

Таблица 3

Результаты испытаний образцов из древесины лиственных пород на предел прочности

Наименование образца	Размеры поперечного сечения образца, мм		Разрушающая нагрузка, Н		Предел прочности, МПа		Коэффициент усиления предела прочности	
	$b$	$h$	$P_{\max}$	$P_{\text{ср}}$	$\sigma$	$\sigma_{\text{ср}}$		
Образцы из осины								
О1П	19,9	20,3	1387	1728	30,4	37,9	1,58	
О2П	20,1	19,4	1814		43,2			
О3П	20,3	20,0	1661		36,8			
О4П	20,0	19,6	1847		43,3			
О5П	19,6	20,0	1933		44,4			
О1Ж	20,2	20,1	1991	2518	43,9	59,9		1,58
О2Ж	19,5	20,1	2580		58,9			
О3Ж	19,0	20,1	2832		66,4			
О4Ж	19,6	19,7	2690		63,7			
О5Ж	20,1	20,2	2498		54,8			
Образцы из березы								
Б1П	19,3	19,5	2066	2277	50,7	54,5	1,82	
Б2П	19,9	19,9	2497		57,0			
Б3П	19,5	18,4	2226		60,7			
Б4П	19,3	20,0	2992		69,8			
Б5П	19,4	20,2	1605		36,5			
Б1Ж	20,0	19,3	3789	4146	91,5	99,0		1,82
Б2Ж	19,6	19,5	4454		107,6			
Б3Ж	19,6	19,4	4241		103,5			
Б4Ж	19,8	19,8	4495		104,2			
Б5Ж	19,9	19,6	3754		88,4			
Образцы из дуба								
Д1П	19,9	19,8	2455	2608	56,6	57,5	1,57	
Д2П	19,9	20,4	2778		60,4			
Д3П	20,0	20,0	2692		60,6			
Д4П	21,2	20,3	2431		50,1			
Д5П	20,0	20,1	2685		59,8			
Д1Ж	19,7	20,1	3653	4048	82,6	90,2		1,57
Д2Ж	20,1	20,1	3918		86,8			
Д3Ж	20,0	20,2	4321		95,3			
Д4Ж	20,1	20,0	4343		97,2			
Д5Ж	20,0	20,1	4003		89,2			

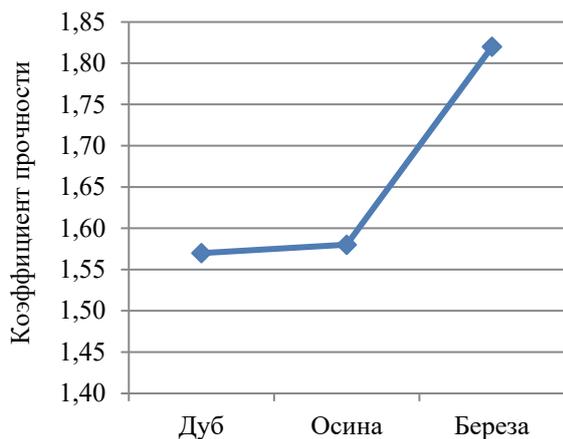


Рис. 10. Коэффициент увеличения прочности составных материалов из древесины дуба, осины, березы

Полное армирование образцов из древесины березы повлияло на массу составного материала, увеличив ее на 25% – с 81,3 до 101,5 г. На каждый слой армирования стекловолокном приходилось порядка 11% увеличения массы и по 1–1,5% на укрепляющие слои из углеволокна. При этом жесткость данного состава при нанесении первого слоя армирования увеличилась на 28%, второго на 60%, а при нанесении дополнительных армирующих слоев из углеволокна на 68 и 82% соответственно. Таким образом, она возросла с 476 до 863 Н/мм. Это больше жесткости древесины дуба до армирования на 72%. Прочность данного составного материала при испытании на статический изгиб при полном армировании возросла в 1,82 раза – с 54,5 до 99,0 МПа и стала выше прочности древесины дуба до армирования на 72%. Масса полу-

ченного составного материала при этом оказалась выше древесины дуба до армирования на 18%.

Исследование составного материала из древесины дуба показало, что при полном армировании его масса увеличилась на 24% – с 85,9 до 106,8 г. На каждый слой армирования стекловолокном приходилось порядка 10% увеличения массы и по 1–1,5% на укрепляющие слои из углеволокна. При этом жесткость данного состава при нанесении первого слоя армирования увеличилась на 17%, второго – на 60%, а при нанесении дополнительных армирующих слоев из углеволокна на 63 и 74% соответственно. Таким образом, она возросла с 502 до 875 Н/мм. Прочность составного материала на статический изгиб при полном армировании возросла в 1,57 раза с 57,5 до 90,2 МПа.

В ходе проведения эксперимента были получены уравнения регрессии (рис. 9), отражающие зависимость между количеством используемых армирующих нитей различной структуры и жесткостью конечного составного материала.

Анализ полученных данных показал, что жесткость составного материала осины при полном армировании приблизительно на 7% ниже материалов на основе березы и дуба, при этом сформированная структура обладает массой приблизительно на 45% меньшей и прочностью, сопоставимой с прочностью дуба до армирования. Таким образом, для изготовления спортивного инвентаря, работающего на жесткость, лучше использовать в качестве сердцевины древесину более легких пород, например осину, так как она позволяет значительно уменьшить массу конечного продукта, а армирующие слои при этом вносят наибольший вклад в жесткость и прочность конструкции.

### Список литературы

1. Шелемет Н. Ю., Чуйков А. С. Особенности эксплуатации, внутренняя конструкция и материалы, применяемые для облегчения спортивно-беговых лыж (обзор) // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2023. № 2 (270). С. 173–182. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-20.
2. Шелемет Н. Ю., Чуйков А. С. Современные технологии и материалы, применяемые в производстве клюшек для хоккея на траве // Леса России: политика, промышленность, наука, образование: материалы VII Всерос. науч.-техн. конф., Санкт-Петербург, 25–27 мая 2022 г. СПб., 2022. С. 292–295.
3. Хоккей на траве // Фанат спорта 2024. URL: <https://sportsfan.ru/sports-academy/summer-sports/field-hockey.html> (дата обращения: 25.02.2024).
4. Материалы клюшек для хоккея на траве // Fihockey.ru 2024. URL: <https://www.fihockey.ru/materialy-klyushek-dlya-khokkeya-na-trave> (дата обращения: 25.02.2024).
5. Наркевич А. Л. Исследование особенностей формообразования изделий из полимерных и композиционных материалов: физико-механических, технологических характеристик материалов: отчет по БП 30–23 (заключ.). Минск, 2023. 58 с.
6. Древесина. Методы определения модуля упругости при статическом изгибе: ГОСТ 16483.9–73. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.
7. Древесина. Методы определения предела прочности при статическом изгибе: ГОСТ 16483.3–84. М.: Изд-во стандартов, 1999. 7 с.
8. Эпоксидная смола // Wikipedia. URL: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эпоксидная\\_смола](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эпоксидная_смола) (дата обращения: 25.02.2024).

9. Стекловолокно // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Стекловолокно> (дата обращения: 25.02.2024).

10. Крафт-бумага // Wikipedia. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Крафт-бумага> (дата обращения: 25.02.2024).

11. Полховский А. В., Прохорчик С. А., Шетько С. В. Современные конструкции и материалы для лыж // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2019. № 1 (216). С. 169–175.

12. Машины для испытания материалов на растяжение, сжатие и изгиб. Общие технические требования: ГОСТ 28840–90. М.: Изд-во стандартов, 2004. 8 с.

13. Пилопродукция и деревянные детали. Методы определения влажности: ГОСТ 16588–91. М.: Стандартинформ, 2009. 6 с.

### References

1. Shelemet N. Yu., Chuikov A. S. Features of operation, internal design and materials used to facilitate cross-country skiing (review). *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue. 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2023, no. 2 (270), pp. 173–182. DOI: 10.52065/2519-402X-2023-270-2-20 (In Russian).

2. Shelemet N. Yu., Chuikov A. S. Modern technologies and materials used in the production of field hockey sticks. *Lesn Rossii: politika, promyshlennost', nauka, obrazovaniye: materialy VII Vserossiyskoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii* [Forests of Russia: politics, industry, science, education: materials of the VII All-Russian scientific and technical conference]. St. Petersburg, 2022, pp. 292–295 (In Russian).

3. Field hockey. Available at: <https://sportsfan.ru/sports-academy/summer-sports/field-hockey.html> (accessed 25.02.2024) (In Russian).

4. Field hockey stick materials. Available at: <https://www.fihockey.ru/materialy-klyushek-dlya-khokkeyana-trave> (accessed 25.02.2024) (In Russian).

5. Narkevich A. L. *Issledovaniye osobennostey formoobrazovaniya izdeliy iz polimernykh i kompozitsionnykh materialov' fiziko-mekhanicheskikh, tekhnologicheskikh kharakteristik materialov: otchet po BP 30–23 (zaklyuchitel'nyy)* [Study of the features of the formation of products made of polymer and composite materials, physical, mechanical, and technological characteristics of materials: report on BP 30–23 (final)]. Minsk, 2023. 58 p. (In Russian).

6. ГОСТ 16483.9–73. Wood. Methods for determining the modulus of elasticity during static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 7 p. (In Russian).

7. ГОСТ 16483.3–84. Wood. Methods for determining the tensile strength during static bending. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1999. 7 p. (In Russian).

8. Epoxy resin. Available at: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Эпоксидный\\_смола](https://ru.wikipedia.org/wiki/Эпоксидный_смола) (accessed 25.02.2024) (In Russian).

9. Fiberglass. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Стекловолокно> (accessed 25.02.2024) (In Russian).

10. Kraft paper. Available at: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Крафт-бумага> (accessed 25.02.2024) (In Russian).

11. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A., Shetko S. V. Modern designs and materials for skis. *Trudy BGTU* [Proceedings of BSTU], issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources, 2019, no. 1 (216), pp. 169–175 (In Russian).

12. ГОСТ 28840–90. Machines for testing materials in tension, compression and bending. General technical requirements. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 2004. 8 p. (In Russian).

13. ГОСТ 16588–91. Lumber and wooden parts. Methods for determining humidity. Moscow, Standartinform Publ., 2009. 6 p. (In Russian).

### Информация об авторах

**Шелемет Никита Юрьевич** – аспирант кафедры технологии дизайна и изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [nikitashelmet88@gmail.com](mailto:nikitashelmet88@gmail.com)

**Наркевич Анна Леонидовна** – кандидат технических наук, доцент кафедры механики и конструирования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [narkevich\\_ann@belstu.by](mailto:narkevich_ann@belstu.by)

**Чуйков Алексей Сергеевич** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [offlex88@mail.ru](mailto:offlex88@mail.ru)

**Полховский Антон Викторович** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: [antonpolx1@mail.ru](mailto:antonpolx1@mail.ru)

### Information about the authors

**Shelemet Nikita Yurievich** – PhD student, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: nikitashelmet88@gmail.com

**Narkevich Anna Leonidovna** – PhD (Engineering), Associate Professor, the Department of Mechanics and Design. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: narkevich\_ann@belstu.by

**Chuikov Aleksey Sergeevich** – PhD (Engineering), Head of the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: offlex88@mail.ru

**Polkhovsky Anton Viktorovich** – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antonpolx1@mail.ru

*Поступила 20.03.2024*

УДК 621.792.05:678.061

**А. В. Полховский, С. А. Прохорчик**

Белорусский государственный технологический университет

**ВЛИЯНИЕ РЕЦЕПТУРЫ СВЯЗУЮЩЕГО ДЛЯ ПРЕПРЕГОВ  
НА ПРОЧНОСТЬ СКЛЕИВАНИЯ**

Изготовлены семь партий связующего для препрега с различным содержанием 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола для изготовления испытательных образцов по определению прочности при растяжении вдоль волокон. Выполнен анализ параметров, оказывающих влияние на прочность склеивания. Определены постоянные (порода древесины, влажность, температура среды, содержание ЭД-20, фенолформальдегидной смолы, ацетона, время прессования, температура прессования) и переменные (содержание ускорителя отверждения 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола) факторы. Выбран выходной параметр – прочность склеивания. Проведены испытания по определению прочности клеевых соединений. Осуществлена статистическая обработка результатов эксперимента, рассчитаны коэффициент вариации, средняя квадратическая ошибка выборочного среднего и показатель точности среднего значения. Показатели точности для всех выборок находились в диапазоне от 1,14 до 4,07, что указывает на достаточную надежность измерений.

Установлена зависимость прочности клеевого соединения, образованного разработанным препрегом, от содержания ускорителя отверждения. За оптимальное содержание ускорителя отверждения в составе связующего приняты 1,25 мас. ч.

**Ключевые слова:** связующее, препрег, ускоритель отверждения, испытания, склеивание, прочность, статистическая обработка.

**Для цитирования:** Полховский А. В., Прохорчик С. А. Влияние рецептуры связующего для препрегов на прочность склеивания // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 218–224.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-27.

**A. V. Polkhovsky, S. A. Prokhorchik**

Belarusian State Technological University

**INFLUENCE OF BINDER FORMULATION FOR PREPREGS  
FOR ADHESION STRENGTH**

Seven batches of prepreg binder with different contents of 2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol were produced for the production of test samples to determine tensile strength along the fibers. An analysis of the parameters influencing the bonding strength was carried out. Constant (wood species, humidity, ambient temperature, content of ED-20, phenol-formaldehyde resin, acetone, pressing time, pressing temperature) and variable (content of curing accelerator 2,4,6-tris(dimethylaminomethyl)phenol) factors were determined. Output parameter selected (adhesive strength). Misses were excluded from the samples. Statistical processing of the experimental results was carried out, the coefficient of variation, the root mean square error of the sample average and the accuracy indicator of the average value were calculated. Accuracy scores for all samples ranged from 1.14 to 4.07, indicating reasonable measurement reliability.

A relationship has been established between the strength of the adhesive joint formed by the developed prepreg and the content of the curing accelerator. The optimal content of the curing accelerator in the binder composition was taken to be 1.25 parts by weight.

**Keywords:** binder, prepreg, curing accelerator, testing, gluing, strength, statistical processing.

**For citation:** Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A. Influence of binder formulation for prepregs for adhesion strength. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 218–224 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-27.

**Введение.** В качестве конструкционных и адгезионных материалов при производстве изделий различного назначения широко используются препреги. Помимо изделий, выполненных полностью из препрега, они могут содержать в своей конструкции элементы, состоящие из других

материалов. Для обеспечения адгезионной связи между отдельными слоями в конструкции изделия, а также для соблюдения гигиенических требований в качестве связующего компонента в композиционных материалах применяются составы на основе эпоксидной смолы. Также для

бесперебойного производства изделий с применением препрегов на основе термореактивного связующего существует потребность в длительном периоде хранения, в том числе при отрицательных температурах, – не менее 6 мес. [1].

Препрег является одним из основных компонентов, применяемых в производстве спортивно-беговых пластиковых лыж. Поэтому в целях импортозамещения в производстве лыжной продукции, на основании анализа существующих пропиточных составов [2–4] было разработано связующее для препрега, которое содержало эпоксидную диановую смолу (ЭД-20) – 38,5 мас. ч., фенолформальдегидную новолачную смолу (ФФС) – 15 мас. ч., 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол – 1,25 мас. ч., органический растворитель (ацетон) – 50,0–60,0 мас. ч. Препрег изготавливали при помощи пропитки наполнителя (однонаправленная стеклянная лента на основе ровингов, нетканое полотно). Разработанный состав связующего позволил обеспечить достаточную эластичность для формирования минимального радиуса изгиба 3 мм без проявления хрупких повреждений. При температуре 20°C обеспечивалась достаточная липкость связующего для объединения слоев материалов между собой, а при температуре отверждения проявилась достаточная текучесть в процессе заполнения пустот между слоями, обеспечена достаточная адгезия к различным материалам (наполнителю, древесине, акрилонитрилбутадиенстирольному пластику, полиэтилену) [5].

Для более глубокого изучения вопроса была поставлена задача практически исследовать влияние различного содержания ускорителя в препреге с получением фактических показателей прочности склеивания.

Цель исследования – определение оптимального содержания ускорителя в составе связующего для производства препрега с заданными показателями склеивания.

**Основная часть.** В разработанном составе связующего для препрега на основе эпоксидной смолы в качестве отвердителя применяли фенолформальдегидную смолу новолачного типа, которая относится к группе олигомерных отвердителей, так как они гораздо менее токсичны по сравнению с отвердителями-мономерами и при отверждении позволяют формировать материалы с высокой химической стойкостью и термостабильностью, способностью длительное время сохранять технологические свойства [6]. Выбор данного типа отвердителя обусловлен доступностью сырья и его невысокой ценой.

Отверждение происходит благодаря реакции гидроксильных групп отвердителя и эпоксидных групп смолы. Для протекания реакции отверждения нужна более высокая энергия активации, чем при использовании аминных отвердителей

(реакция протекает при температуре 160–180°C) [6], что не удовлетворяет необходимым технологическим требованиям (температура 120°C). Для ускорения протекания реакции отверждения могут быть применены катализаторы (третичные амины), которые послужат тому, что реакция будет проходить при температурах от 75 до 100°C. Процесс отверждения эпоксидного олигомера фенолформальдегидной смолой представляет собой реакцию полиприсоединения, которая активируется донорами водорода (рис. 1) [6].

Для определения оптимального содержания ускорителя отверждения в связующем, удовлетворяющем технологическим требованиям (отверждение в течение  $8 \pm 1$  мин при температуре  $120 \pm 2^\circ\text{C}$ ), провели эксперимент, заключающийся в изготовлении и испытании семи составов связующего для препрегов с различным содержанием ускорителя, так как разное его содержание оказывает влияние на скорость протекания реакции полимеризации. При недостаточном содержании ускорителя связующее реагирует не до конца, что в свою очередь влияет на функцию склеивания. Степень полимеризации может быть определена методом экстрагирования, суть которого заключается в том, что взвешенный образец композиционного материала экстрагируют в аппарате Сокслета, затем высушивают и взвешивают массу остатка [7]. В нашем случае провели эксперимент по определению прочности клеевого соединения при растяжении вдоль волокон древесины [8].

Порядок изготовления испытательных образцов состоял из следующих этапов:

1) приготовление семи растворов связующего с различным содержанием ускорителя отверждения (2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол): от 0,5 до 2,0 мас.ч. с шагом 0,25 мас. ч. Смешивание смол с растворителем (ацетоном) проводилось при нормальных условиях. Порошок измельченной фенолформальдегидной смолы (размер частиц 0,5 мм) был помещен в сухой реактор. В отдельной емкости смешали эпоксидную смолу ЭД-20 (ГОСТ 10587–84) [9] с ацетоном (ГОСТ 2768–84) [10]. Полученную смесь влили в реактор с порошком фенолформальдегидной смолы и произвели гомогенизацию смол до полного растворения порошка. Далее в полученную смесь ввели ускоритель (2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол) (УП-606/2, ТУ У 6-00209817.035-96);

2) изготовление из полученного связующего семи партий препрегов (табл. 1) путем пропитки наполнителя, который был пропущен через систему валков с последующей сушкой при температуре 70–80°C до полного удаления растворителя (ацетона) из готового препрега. В качестве наполнителя было использовано нетканое полотно (ТУ 23.14.12-001-213875232020) [11];

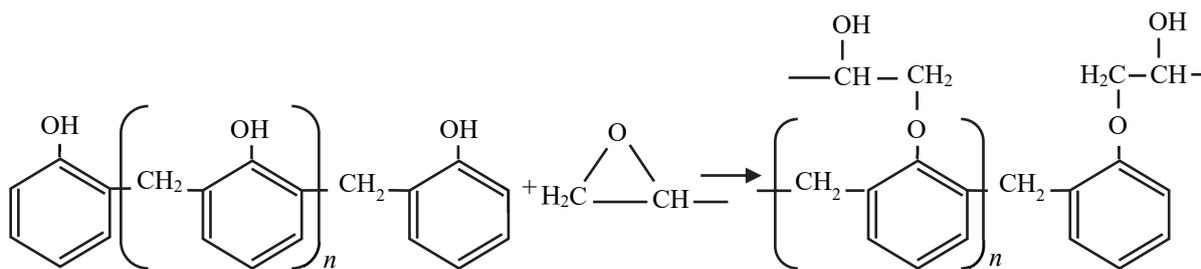


Рис. 1. Реакция полиприсоединения

3) подготовка с использованием полученного препрега семи партий образцов для испытания на прочность соединений при растяжении вдоль волокон [8].

Таблица 1

Составы связующих

Номер состава	Содержание компонентов, мас. ч.			
	ЭД-20	ФФС	Ацетон	Ускоритель
1	38,50	15,00	60,00	0,50
2				0,75
3				1,00
4				1,25
5				1,50
6				1,75
7				2,00

Образцы изготавливали следующим способом. Из заготовок древесины бука влажностью 12% выпиловали пластины толщиной 6 мм. Полученные пластины строгали до толщины 5 мм. Волокна древесины в образцах располагались по направлению растяжения, годичные кольца – под углом 30–90° к плоскости склеивания. Для создания склеивающего слоя из изготовленного препрега вырезали листы длиной 150 мм и шириной 20 мм. Образцы получали в результате склеивания двух пластин по пластям. Размеры пластин: длина – 150 мм, ширина – 20 мм, толщина – 5 мм. Между пластинами располагали лист препрега,

который под действием температуры ( $120 \pm 2^\circ\text{C}$ ) и давления (1 МПа) за определенный промежуток времени ( $8 \pm 1$  мин) образовывал клеевое соединение. Полученные образцы выдерживали в течение 24 ч при нормальных условиях. Затем на них делались поперечные пропилы (шириной  $2,5 \pm 0,5$  мм) на расстоянии 10 мм. На рис. 2 приведена схема образца [12].

В процессе получения различных вариантов связующего было замечено, что спустя 48 ч раствор связующего с содержанием ускорителя, равным 2,0 мас. ч., перешел в твердую фазу. Через 5 сут в твердую фазу перешел раствор с содержанием ускорителя 1,75 мас. ч. Также следует обратить внимание на тот факт, что препреги, в которых содержание ускорителя превышало 1,25 мас. ч. (1,5–2,0 мас. ч.), не обладали липкостью.

Испытание клевого соединения, образованного препрегом, на прочность проводили на основании методики из ГОСТ 33120–2014 «Метод определения предела прочности клевого соединения при растяжении вдоль волокон» (рис. 3) [8].

Склеенные образцы испытывали на разрывной машине МТС Criterion C43.504 (США) с использованием специального приспособления (разрывного устройства). Концы образца зажимались в разрывном устройстве [12] и подвергались растягивающей нагрузке со скоростью 50 мм/мин до разрушения. Прочность клевого соединения определяли по формуле, приведенной в ГОСТ 33120 [8].

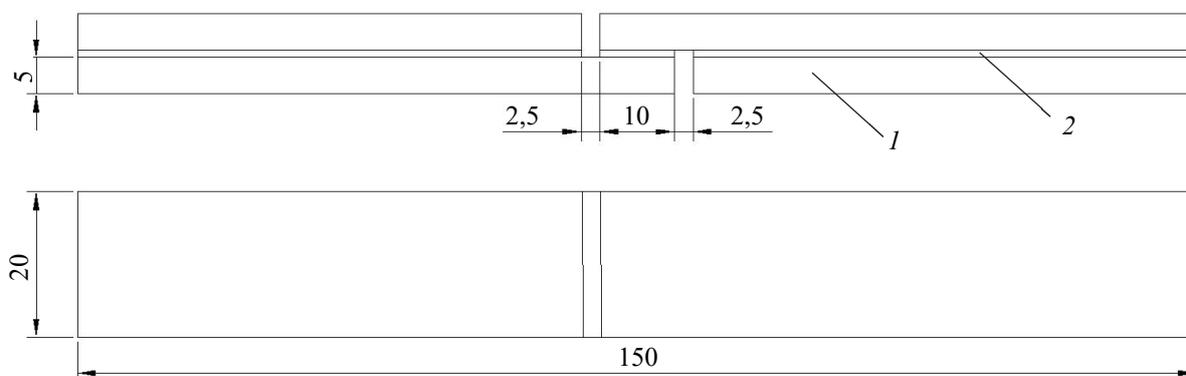


Рис. 2. Схема образца:  
1 – пластины; 2 – склеивающий слой

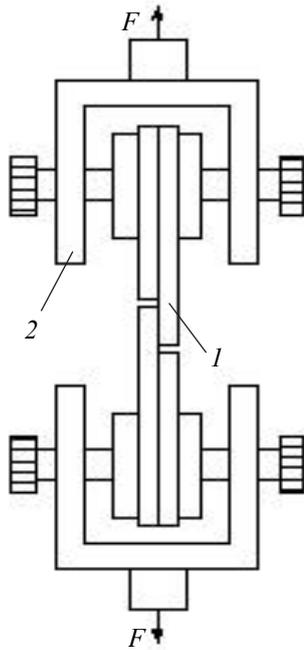


Рис. 3. Схема испытания:  
1 – склеенные образцы;  
2 – разрывное устройство

Экспериментальные исследования проводили для определения зависимости прочности склеивания от содержания в составе связующего ускорителя отверждения. Для повышения эффективности исследования и нахождения зависимостей был выполнен однофакторный эксперимент, так как данный метод исследования нагляден, можно прогнозировать результаты и достаточно легко обнаружить ошибку [13–15].

Также были определены постоянные и переменные факторы, оказывающие влияние на процесс отверждения (табл. 2).

Таблица 2

**Постоянные и переменные факторы**

Фактор	Значение
Постоянные факторы	
Порода древесины	Бук
Влажность, %	12
Температура среды, °С	20
ЭД-20, мас. ч.	38,50
Фенолформальдегидная смола, мас. ч.	15,00
Ацетон, мас. ч.	50,00
Время прессования, мин	8 ± 1
Температура прессования, °С	120
Переменные факторы	
2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол, мас. ч.	0,50; 0,75; 1,00; 1,25; 1,5; 1,75; 2,00

Породу древесины, влажность и температуру среды брали согласно требованиям ГОСТ 33120 к проведению эксперимента. Компоненты связую-

щего (ЭД-20, фенолформальдегидная смола и ацетон) выбирали согласно патенту [5]. В соответствии с приведенной выше методикой испытывали изготовленные образцы, определяя прочность клеевых соединений (табл. 3).

Таблица 3

**Первичные результаты эксперимента**

Номер образца	Разрушающая нагрузка F, Н	Прочность соединения τ, МПа	Характер разрушения
<b>0,50</b>			
1.1	1850,00	9,25	По древесине
1.2	1350,00	6,75	По клею
1.3	1250,00	6,25	По клею
1.4	1100,00	5,50	По клею
1.5	1100,00	5,50	По клею
1.6	1150,00	5,75	По клею
<b>0,75</b>			
2.1	1150,00	5,75	По клею
2.2	1350,00	6,75	По клею
2.3	1150,00	5,75	По клею
2.4	1300,00	6,50	По клею
2.5	1750,00	8,75	По древесине
2.6	1350,00	6,75	По клею
<b>1,00</b>			
3.1	1500,00	7,50	По клею
3.2	1350,00	6,75	По клею
3.3	1450,00	7,25	По клею
3.4	1450,00	7,25	По клею
3.5	1400,00	7,00	По клею
3.6	1350,00	6,75	По клею
<b>1,25</b>			
4.1	2000,00	10,00	По древесине
4.2	1950,00	9,75	По древесине
4.3	1850,00	9,25	По древесине
4.4	1900,00	9,50	По древесине
4.5	1850,00	9,25	По древесине
4.6	1950,00	9,75	По древесине
<b>1,50</b>			
5.1	1900,00	9,50	По древесине
5.2	1850,00	9,25	По древесине
5.3	1850,00	9,25	По древесине
5.4	1800,00	9,00	По древесине
5.5	1900,00	9,50	По древесине
5.6	1950,00	9,75	По древесине
<b>1,75</b>			
6.1	2000,00	10,00	По древесине
6.2	1850,00	9,25	По древесине
6.3	1850,00	9,25	По древесине
6.4	1950,00	9,75	По древесине
6.5	1900,00	9,50	По древесине
6.6	1800,00	9,00	По древесине
<b>2,00</b>			
7.1	1250,00	6,25	По клею
7.2	2000,00	10,00	По древесине
7.3	1950,00	9,75	По древесине
7.4	1900,00	9,50	По древесине
7.5	1850,00	9,25	По древесине
7.6	1200,00	6,00	По клею

Так как прочность склеивания образцов 1.1 и 2.5 выглядела подозрительной, они были исключены из выборок, и уже по оставшимся результатам определяли среднее значение выборки (прочность) и проводили оценку выборочной дисперсии [13].

Также исключили значения 7.1 и 7.6, так как разрушение произошло по клеевому слою.

Из табл. 1 распределения Стьюдента (приложение) [13] по уровню значимости  $q$  (для деревообработки приняли равным 0,05) и числу степеней свободы  $f = n - 1 = 5$  нашли  $t_{\text{табл}} = 2,78$ . Если  $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$ , то сомнительный результат является промахом и должен быть исключен из выборки. После этого исследовали следующий за ним сомнительный результат и т. д.

Выборочная дисперсия  $S^2$  для образца 1.1 равна 0,24 МПа, для образца 2.5 – 0,21 МПа. Выборочное стандартное отклонение  $S$  для образца 1.1 равно 0,49 МПа, для образца 2.5 – 0,46 МПа. Расчетные критерии Стьюдента  $t_{\text{расч}}$  для образца 1.1 равны 6,81, для образца 2.5 – 5,35. Так как  $t_{\text{расч}} > t_{\text{табл}}$ , то подозрительные значения исключили из выборок.

Данные расчета основных статистических показателей выборок представлены в табл. 4. Значение коэффициента вариации, который характеризует относительное рассеивание случайной величины от выборочного среднего, средней квадратичной ошибки выборочного среднего и показателя точности среднего значения, определяли в соответствии с источником [13].

Чем меньше показатель точности, тем надежнее результаты исследования. Для лесной и деревообрабатывающей промышленности показатель точности не должен превышать 5% [13]. В нашем случае показатели точности для всех выборок находились в диапазоне от 1,14 до 4,07, что указывает на достаточную надежность измерений.

Зависимость прочности образца от содержания ускорителя отражена на рис. 4.

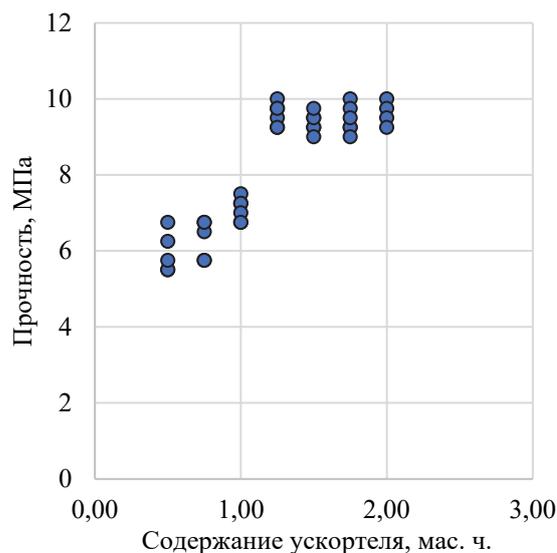


Рис. 4. Зависимость прочности от содержания ускорителя

На основании статистической обработки результатов эксперимента установлено, что при недостаточном количестве катализатора (0,5–1,0 мас. ч) требуемая прочность клеевого соединения не была достигнута, следовательно, реакция протекала не до конца.

При количестве ускорителя 1,5–2,0 мас. ч. прочность полученного клеевого соединения была достигнута, при этом 2 образца под № 7 были исключены из выборки на основании разрушения по клеевому соединению, – это может указывать на то, что избыточное содержание ускорителя может привести к повышению хрупкости отвержденного связующего. Также раствор связующего при добавлении 2,0 мас. ч. ускорителя отличался низкой жизнеспособностью, т. е. через 2 сут он полностью затвердевал.

По совокупности факторов, с учетом технологических свойств полученного препрега (липкость), наилучшие результаты были достигнуты при содержании ускорителя 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенола в количестве 1,25 мас. ч.

Таблица 4

#### Основные статистические показатели выборок

Номер связующего состава	Среднее арифметическое выборки, МПа	Выборочная дисперсия $S^2$ , МПа	Выборочное стандартное отклонение $S$ , МПа	Объем выборки $n$	Коэффициент вариации	Средняя квадратичная ошибка	Показатель точности
1	5,95	0,29	0,54	5	9,11	0,24	4,07
2	6,30	0,26	0,51	5	8,13	0,23	3,63
3	7,08	0,09	0,30	6	4,27	0,12	1,75
4	9,58	0,09	0,30	6	3,15	0,12	1,29
5	9,38	0,07	0,26	6	2,80	0,11	1,14
6	9,46	0,14	0,37	6	3,89	0,15	1,59
7	9,63	0,10	0,32	4	3,35	0,16	1,68

Таким образом, исследования подтвердили ранее полученные данные по составу связующего для изготовления препрега, включающего следующие компоненты: 1) эпоксидно-диановая смола (ЭД-20) – 38,5 мас. ч.; 2) фенолформальдегидная смола новолачного типа – 15,0 мас. ч.; 3) 2,4,6-трис(диметиламинометил)фенол – 1,25 мас. ч.; 4) органический растворитель (ацетон) – 60,0 мас. ч.

**Заключение.** Таким образом, установлена зависимость прочности клеевого соединения, образованного разработанным препрегом, от содержания ускорителя отверждения. Эксперимент позволил сделать вывод, что при недостаточном

его содержании (0,5–1,0 мас. ч.) прочность клеевого соединения не достигала требуемого значения, что может быть связано с неполным отверждением смолы. Избыток ускорителя отверждения (1,5–2,0 мас. ч.) в свою очередь приводил к тому, что клеевое соединение становилось излишне хрупким. Следовательно, за оптимальное содержание ускорителя отверждения в составе связующего приняли 1,25 мас. ч. Оно позволило достигнуть необходимой прочности клеевого соединения при требуемых параметрах отверждения (отверждение в течение  $8 \pm 1$  мин при температуре  $120 \pm 2^\circ\text{C}$  и давлении 1 МПа).

### Список литературы

1. Матричное связующее на основе эпоксидной смолы для производства препрегов / А. Г. Любимов [и др.] // Нефтегазохимия – 2023: материалы VI Междунар. науч.-техн. форума по химическим технологиям и нефтегазопереработке, Минск, 1–3 нояб. 2023 г. Минск, 2023. С. 102–105.
2. Эпоксидное связующее, препрег на его основе и изделие, выполненное из препрега: пат. RU 2307136 / Е. Е. Муханова, Е. Н. Каблов, Е. М. Пониткова, Р. Р. Мухаметов, А. Ф. Румянцев, Н. П. Кувшинов. Оpubл. 27.09.2007.
3. Способ получения связующего для препрега (варианты), связующее для препрега (варианты), препрег и изделие: пат RU 2420547 / А. Е. Ушаков, Ю. Г. Кленин, Т. Г. Сороина, А. П. Коробко, Т. В. Пенская. Оpubл. 10.06.2011.
4. Связующее для армированных пластиков: а. с. SU 1815974 / М. С. Тризно [и др.]. Оpubл. 20.04.1996.
5. Связующее для изготовления препрега: пат. ВУ 24191 / А. В. Полховский, А. Г. Любимов, С. В. Шетько, А. Л. Наркевич, С. А. Прохорчик. Оpubл. 11.01.2023.
6. Эпоксидные смолы, отвердители, модификаторы и связующие на их основе / Л. В. Чурсова [и др.]. СПб.: Профессия, 2020. 576 с.
7. Композиты полимерные. Препреги. Определение содержания компонентов препрега экстракцией по Сокслету: ГОСТ Р 56782–2015. М.: Стандартиформ, 2016. 23 с.
8. Конструкции деревянные клееные. Методы определения прочности клеевых соединений: ГОСТ 33120–2014. М.: Стандартиформ, 2016. 20 с.
9. Смолы эпоксидно-диановые неотвержденные. Технические условия: ГОСТ 10587–84. М.: Изд-во стандартов, 1989. 20 с.
10. Ацетон технический. Технические условия: ГОСТ 2768–84. М.: Изд-во стандартов, 1984. 15 с.
11. Сетки из стекловолокна. Технические условия: ТУ 23.14.12-001-21387523–2020. М.: Промторг, 2020. 14 с.
12. Полховский А. В., Прохорчик С. А. Оптимизация технологического режима прессования спортивно-беговых пластиковых лыж // Полимерные материалы и технологии. 2023. Т. 9, № 4. С. 65–71.
13. Стенина Е. И. Основы научных исследований. Однофакторный эксперимент. Екатеринбург: УГЛТУ, 2020. 25 с.
14. Пижурин А. А. Основы научных исследований в деревообработке: учеб. для студентов вузов. М.: МГУЛ, 2005. 305 с.
15. Пижурин А. А. Научные исследования в деревообработке. Основы научных исследований: текст лекций для студентов. М.: МГУЛ, 1999. 103 с.

### References

1. Lyubimov A. G., Polkhovsky A. V., Narkevich A. L., Prokhorchik S. A., Shetko S. V. Matrix binder based on epoxy resin for the production of prepregs. *Neftgazokhimiya – 2023: materialy VI Mezhdunarodnogo nauchno-tekhnicheskogo foruma po khimicheskim tekhnologiyam i neftegazopererabotke* [Petroleum and gas chemistry – 2023: materials of the VI International Scientific and Technical Forum on Chemical Technologies and Oil and Gas Processing]. Minsk, 2023, pp.102–105 (In Russian).
2. Mukhanova E. E., Kablov E. N., Ponitkova E. M., Mukhametov R. R., Rumyantsev A. F., Kuvshinov N. R. Epoxy binder, prepreg based on it and a product made from prepreg. Patent RU 2307136, 2007 (In Russian).

3. Ushakov A. E., Klenin Yu. S., Sorina T. G., Korobko A. R., Penskaya T. V. Method for producing binder for prepreg (options), binder for prepreg (options), prepreg and product. Patent RU 2420547, 2011 (In Russian).
4. Trizno M. S. Binder for reinforced plastics. Certificate of authorship SU 1815974, 1996 (In Russian).
5. Polkhovsky A. V., Lyubimov A. G., Shet'ko S. V., Narkevich A. L., Prokhorchik S. A. Binder for making prepreg. Patent BY 24191, 2023 (In Russian).
6. Chursova L. V., Panina N. N., Grebeneva T. A., Kutergina I. Yu. *Epoksidnyye smoly, otverditeli, modifikatory i svyazuyushchiye na ikh osnove* [Epoxy resins, hardeners, modifiers and binders based on them]. St. Petersburg, Professiya Publ., 2020. 576 p. (In Russian).
7. GOST R 56782–2015. Polymer composites. Prepregs. Determination of the content of prepreg components by Soxhlet extraction. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 23 p. (In Russian).
8. GOST 33120–2014. Glued wooden structures. Methods for determining the strength of adhesive joints. Moscow, Standartinform Publ., 2016. 20 p. (In Russian).
9. GOST 10587–84. Epoxy-diane resins, uncured. Technical specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1989. 20 p. (In Russian).
10. GOST 2768–84. Technical acetone. Technical specifications. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1984. 15 p. (In Russian).
11. TU 23.14.12-001-21387523–2020. Fiberglass mesh. Technical specifications. Moscow, Promtorg Publ., 2020. 14 p. (In Russian).
12. Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A. Optimization of the technological regime for pressing sports and cross-country plastic skis. *Polimernyye materialy i tekhnologii* [Polymer materials and technologies], 2023, vol. 9, no. 4, pp. 65–71 (In Russian).
13. Stenina E. I. *Osnovy nauchnykh issledovaniy. Odnofaktornyy eksperiment* [Fundamentals of scientific research. One-factor experiment]. Ekaterinburg, UGLTU Publ., 2020. 25 p. (In Russian).
14. Pizhurin A. A. *Osnovy nauchnykh issledovaniy v derevoobrabotke* [Fundamentals of scientific research in woodworking]. Moscow, MGUL Publ., 2005. 305 p. (In Russian).
15. Pizhurin A. A. *Nauchnyye issledovaniya v derevoobrabotke. Osnovy nauchnykh issledovaniy* [Scientific research in woodworking. Fundamentals of Scientific Research]. Moscow, MGUL Publ., 1999. 103 p. (In Russian).

#### Информация об авторах

**Полховский Антон Викторович** – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры технологии и дизайна изделий из древесины. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: antonpolx1@mail.ru

**Прохорчик Сергей Александрович** – кандидат технических наук, доцент, декан факультета заочного образования. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: prohor@tut.by

#### Information about the authors

**Polkhovsky Anton Viktorovich** – Master of Engineering, Senior Lecturer, the Department of Technology and Design of Wooden Articles. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: antopolx1@mail.ru

**Prokhorchik Sergey Aleksandrovich** – PhD (Engineering), Associate Professor, Dean of the Faculty of Extramural Studies. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: prohor@tut.by

Поступила 20.06.2024

# ПУБЛИКАЦИИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА

## PUBLICATIONS OF THE UNION STATE

---

УДК 621.31

**И. В. Войтов<sup>1</sup>, С. Г. Левицкий<sup>2</sup>, В. В. Бобров<sup>2</sup>, В. П. Тюленев<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет

<sup>2</sup>Страновой офис Госкорпорации «Росатом»

в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел»

### **МЕТОДИКА РАСЧЕТА ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ РЕСУРСОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ**

По поручению Правительства Республики Беларусь от февраля 2023 года № 03/227-44 Белорусский государственный технологический университет разработал Методику расчета экономии топливно-энергетических ресурсов для внедрения систем накопления электрической энергии.

Методика является первым нормативно-правовым документом в Республике Беларусь, который дает возможность предприятиям Республики Беларусь выполнить обоснование окупаемости при внедрении новейшей технологии – систем накопления электрической энергии.

Данная Методика рассмотрена экспертной рабочей группой, созданной по поручению Правительства Республики Беларусь № 03/542-15 от июля 2023 года при Департаменте по энергоэффективности Госстандарта. С учетом полученных замечаний от 11 министерств и концернов и решения Межведомственного экспертного совета по вопросам применения энергоэффективных технологий, оборудования, приборов и материалов рекомендовано рассматривать мероприятие по внедрению систем накопления электрической энергии как энергосберегающее, с включением его в соответствующие отраслевые документы расчета экономии топливно-энергетических ресурсов от внедрения энергосберегающих мероприятий.

На текущий момент внедрение систем накопления электрической энергии является наиболее востребованной тематикой в ведущих странах мира как с точки зрения участия в сфере торговли электроэнергией, так и осуществления регулирования графика нагрузки, в том числе при использовании электрической энергии от возобновляемых источников энергии, но реализация данного мероприятия отсутствует в Республике Беларусь, хотя вопрос оптимизации суточного графика электрической нагрузки очень актуален для режимов работы энергетического оборудования страны.

**Ключевые слова:** система накопления электрической энергии, топливно-энергетические ресурсы, суточный график нагрузки, реактивная мощность.

**Для цитирования:** Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П. Методика расчета экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 225–229.  
DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-28.

**I. V. Voitau<sup>1</sup>, S. G. Levitsky<sup>2</sup>, V. V. Bobrov<sup>2</sup>, V. P. Tsiuleneu<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Belarusian State Technological University

<sup>2</sup>Country Office of the State Corporation “Rosatom”

in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel”

### **THE METHODOLOGY FOR CALCULATING FUEL AND ENERGY RESOURCES SAVINGS TO BE IMPLEMENTED INTO ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS**

On behalf of the Government of the Republic of Belarus mandate agreement No. 03/227-44 dated February 2023, the Belarusian State Technological University has developed a Methodology for calculating fuel and energy resources savings to introduce into the electric energy storage systems.

The methodology is the first regulatory document in the Republic of Belarus, which makes it possible to justify the payback to enterprises of the Republic of Belarus when introducing the latest technology, i.e. electric energy storage systems.

This Methodology was reviewed by an expert working group, established on behalf of the Government of the Republic of Belarus mandate agreement No. 03/542-15 dated July 2023 at the Department for Energy Efficiency of the State Standard, taking into account technical comments received from 11 ministries and concerns and the decision of the Interdepartmental Expert Council on the Application of Energy-efficient Technologies, Equipment, Devices and Materials. It was recommended to consider measurements on introducing electric energy storage systems as energy-saving ones; these documents must be included into the relevant industry documents for calculating the savings of fuel and energy resources from introducing energy-saving measures.

Nowadays, the implementation of electric energy storage systems is the most in-demand trend in leading countries of the world both in terms of electricity trade and the regulation of the load schedule, including electric energy from renewable energy sources. There is no application of this Methodology in the Republic of Belarus, although the issue of optimizing the daily schedule of electric power load is quite relevant for the operating modes of the country's energy equipment.

**Keywords:** electric energy storage system, fuel and energy resources, daily load schedule, reactive power.

**For citation:** Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P. The methodology for calculating fuel and energy resources savings to be implemented into electric energy storage systems. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 225–229 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-28.

**Введение.** Системы накопления электрической энергии (СНЭ) имеют достаточно высокую экономическую эффективность при сложившихся условиях режимов энергосистемы Беларуси, связанных с необходимостью регулирования графика нагрузок в связи с вводом в работу Белорусской АЭС. При этом экономический эффект достигается не только за счет оптимизации режимов работы энергетического оборудования и электрических сетей, но и за счет снижения затрат на их ремонт. В данной статье рассмотрена эффективность внедрения систем накопления электрической энергии за счет повышения эффективности использования топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) [1–3].

**Основная часть.** Установка систем накопления позволяет обеспечить экономию топливно-энергетических ресурсов в энергосистеме Беларуси за счет следующих составляющих:

– выравнивание суточного графика нагрузки генерирующего оборудования:

а) повышение нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время (минимум нагрузок) за счет заряда систем накопления;

б) снижение нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости запуска недостаточно эффективного оборудования;

в) снижение числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии);

– компенсация реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях;

– компенсация холостого хода трансформаторов повышенной мощности для потенциального обеспечения отопления и горячего водоснабжения с использованием электрической энергии в летнее время при реконструкции распределительных сетей.

При этом необходимо учитывать, что СНЭ обеспечивает выравнивание графика потребления электрической энергии за счет потребления электроэнергии, выработанной на Белорусской АЭС в ночное время, и вытеснения электрической энергии, выработанной электростанциями на органическом виде топлива (природном газе, мазуте и др.) в дневное время в час пик.

Расчет экономии ТЭР за счет внедрения систем накопления электроэнергии.

1. Расчет экономии топлива за счет выравнивания суточного графика нагрузки генерирующего оборудования.

1.1. Расчет экономии топлива за счет повышения нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время в результате заряда системы накопления электрической энергии и потребления электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Белорусской АЭС:

$$\Delta B_{\text{тр}}^3 = N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гт}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \times \\ \times 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9}, \text{ т у. т.},$$

где  $N_{\text{эс}}^{\text{бл}}$  – минимальная мощность единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции во время ночного минимума нагрузки, кВт;  $n$  – продолжительность

использования системы накопления, сут;  $t_3$  – время заряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $\delta b_{33}^{гг}$  – изменение удельного расхода топлива единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции, при увеличении мощности на 1000 кВт (4,5 г у. т./кВт·ч) с ростом нагрузки от использования накопителя энергии, г у. т./кВт·ч 1000 кВт;  $N_{СНЭ}$  – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт;  $\eta_{СНЭ}$  – коэффициент полезного действия системы накопления электрической энергии;  $K$  – коэффициент, учитывающий объем используемой емкости системы накопления (для повышения числа циклов «разряд-заряд» коэффициент использования СНЭ не выше 0,8).

1.2. Расчет экономии топлива за счет снижения нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости запуска недостаточно эффективного оборудования:

$$\Delta B_{гп}^p = N_{СНЭ} \cdot n \cdot t_p \cdot b_{33}^{кэс} \cdot K \cdot 10^{-6}, \text{ т у. т.},$$

где  $t_p$  – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $b_{33}^{кэс}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, который принимается равным фактическому расходу топлива на замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./кВт·ч.

1.3. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет снижения числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии):

$$\Delta B_{пoo} = B_{пnc} \cdot K_{пoo} \cdot N_{СНЭ} \cdot 10^{-3}, \text{ т у. т.},$$

где  $B_{пnc}$  – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.;  $K_{пoo}$  – коэффициент пусков-остановов энергетического оборудования на 1 МВт мощности системы накопления.

В качестве коэффициента пусков-остановов принято количество пусков-остановов оборудования в течение суток исходя из следующих посылок:

- ежесуточные остановы в течение рабочих дней – 252 дней в году;
- нормативный расход условного топлива на пуск энергоблока 300 МВт из неостывшего состояния – 52 т у. т.;
- для устранения необходимости пуска-останова в режиме суточного регулирования необходимо установить систему накопления электрической энергии мощностью не менее 130 МВт

и суммарной емкостью накопления не менее 1,04 ГВт·ч.

Следовательно, коэффициент может быть рассчитан исходя из формулы  $K_{пoo} = 252 \cdot 1 / 130$ , кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

2. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях.

2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$Q_{кв} = N_{СНЭ} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{квар}, \text{ квар},$$

где  $k_{квар}$  – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности  $\cos\varphi_1$  и  $\cos\varphi_2$ , квар/кВт (Приложение 6 Методических рекомендаций по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, согласованных Национальной академией наук Беларуси № 26-09/4725 28 августа 2020 г. и утвержденных Департаментом по энергоэффективности).

2.2. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{кв} \cdot K_{э}, \text{ кВт} \cdot \text{ч},$$

где  $Q_{кв}$  – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар;  $K_{э}$  – экономический эквивалент, равный для систем накопления электрической энергии 0,17 кВт/квар.

2.3. Годовая экономия условного топлива от внедрения систем накопления электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности во время заряда с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B_{реакт} = \Delta \mathcal{E} \cdot b_{33}^{кэс} \cdot (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6}, \text{ т у. т.},$$

где  $k_{пот}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) системы ГПО «Белэнерго».

3. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации холостого хода трансформаторов повышенной мощности для потенциального обеспечения отопления и горячего водоснабжения с использованием электрической энергии в летнее время при реконструкции распределительных сетей:

$$\Delta B_{хх} = (P_{гп}^н - P_{гп}^{сущ}) \cdot K_{хх} \cdot n_{моп} \cdot 24 \cdot b_{33}^{кэс} \times \\ \times (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} \text{ т у. т.},$$

где  $P_{гп}^н$  – мощность требуемого к установке трансформатора для обеспечения нагрузки электроотопления, кВт;  $P_{гп}^{сущ}$  – мощность существующего трансформатора на комплексной трансформаторной подстанции (КТП), кВт;  $K_{хх}$  – коэффициент

холостого хода,  $K_{xx} = 0,05-0,25$ ;  $n_{\text{моп}}$  – продолжительность использования систем накопления электрической энергии в межтопильный период, сут.

4. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии:

$$\Delta B = \Delta B_{\text{гр}}^3 + \Delta B_{\text{гр}}^p + \Delta B_{\text{поо}} + \Delta B_{\text{реакт}} + \Delta B_{\text{xx}}, \text{ т у. т.}$$

5. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

5.1. Капиталовложения, связанные с внедрением систем накопления, по сравнению с установками без них, определяются по укрупненным показателям исходя из следующих предпосылок:

– стоимость оборудования и материалов  $C_{\text{об}}$  определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам конкурсных торгов на их поставку, руб.;

– стоимость проектных работ принимается равной 10–15% от стоимости строительно-монтажных работ (СМР)  $C_{\text{смп}}$ , руб.;

– стоимость СМР определяется исходя из модульно-контейнерной сборки и составляет

5–10% от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5% от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом:

$$\Delta K = C_{\text{об}} + (0,10-0,15)C_{\text{смп}} + (0,05-0,10)C_{\text{об}} + (0,03-0,05)C_{\text{об}}, \text{ руб.}$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

5.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$C_{\text{рок}} = \Delta K / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}), \text{ лет,}$$

где  $\Delta B$  – общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии, т у. т.;  $C_{\text{топл}}$  – стоимость 1 т у. т. (руб.), уточняется на момент составления расчета.

**Вывод.** Изложенная методика расчета экономии ТЭР доказывает эффективность внедрения систем накопления электрической энергии.

### Список литературы

1. Гуртовцев А. Л., Забелло Е. П. Выравнивание графика электрической нагрузки // Энергетика и ТЭК. 2008. № 8. С. 13–20.
2. Шаюхов Т. Т., Ковалев А. А. Методы выравнивания графиков нагрузки энергосистемы // Энергетика, электропривод, энергосбережение и экономика предприятий, организаций, учреждений. 2011. № 3. С. 28–37.
3. Зуев А. Э. Автоматизированная система энергетического менеджмента для выравнивания графиков электропотребления промышленных предприятий // Исследования и разработки в области машиностроения, энергетики и управления: материалы XX Междунар. науч.-техн. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, Гомель, 23–24 апр. 2020 г. Гомель, 2020. С. 133–135.

### References

1. Gurtovtsev A. L., Zabello E. P. Alignment of the electrical load schedule. *Energetika i TEK* [Energy and Fuel and Energy Complex], 2008, no. 8, pp. 13–20 (In Russian).
2. Shayukhov T. T., Kovalev A. A. Methods for leveling power system load schedules. *Energetika, elektroprivod, energosberezheniye i ekonomika predpriyatiy, organizatsiy, uchrezhdeniy* [Energy, electric drive, energy saving and economics of enterprises, organizations], 2011, no. 3, pp. 28–37 (In Russian).
3. Zuev A. E. Automated energy management systems for leveling power consumption schedules of industrial enterprises. *Issledovaniya i razrabotki v oblasti mashinostroyeniya, energetiki i upravleniya: materialy XX Mezhdunarodnoy nauchno-tekhnicheskoy konferentsii studentov, aspirantov i molodykh uchenykh* [Research and development in the field of mechanical engineering, energy and management: materials of the International scientific and technical conference of students, postgraduate students and young scientists]. Gomel, 2020, pp. 133–135 (In Russian).

### Информация об авторах

**Войтов Игорь Витальевич** – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь) E-mail: rektor@belstu.by

**Левицкий Станислав Григорьевич** – директор. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

**Бобров Владимир Владимирович** – советник директора. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

**Тюленев Виктор Петрович** – ведущий специалист Международного информационно-аналитического центра трансфера технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: victorpowersys@gmail.com

#### **Information about the authors**

**Voitau Ihar Vital'evich** – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rektor@belstu.by

**Levitsky Stanislav Grigor'evich** – Director. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

**Bobrov Vladimir Vladimirovich** – Director’s Advisor. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

**Tsiuleneu Viktor Petrovich** – Leading Specialist, the International Information and Analytical Center for Technology Transfer. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: victorpowersys@gmail.com

*Поступила 12.06.2024*

УДК 621.31

**И. В. Войтов<sup>1</sup>, С. Г. Левицкий<sup>2</sup>, В. В. Бобров<sup>2</sup>, В. П. Тюленев<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Белорусский государственный технологический университет<sup>2</sup>Страновой офис Госкорпорации «Росатом»  
в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел»**ПРИМЕРЫ РАСЧЕТОВ ЭКОНОМИИ ТОПЛИВНО-ЭНЕРГЕТИЧЕСКИХ  
РЕСУРСОВ ПРИ ВНЕДРЕНИИ СИСТЕМ НАКОПЛЕНИЯ  
ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ В СЛУЧАЯХ ОПТИМИЗАЦИИ  
НАГРУЗКИ И КОМПЕНСАЦИИ ДНЕВНЫХ СНИЖЕНИЙ  
НАПРЯЖЕНИЯ В НАСЕЛЕННОМ ПУНКТЕ ПРИ НЕОБХОДИМОСТИ  
ЗАМЕНЫ ТРАНСФОРМАТОРА**

На основании предложенной ранее Методики расчета экономии топливно-энергетических ресурсов для внедрения систем накопления электрической энергии авторами выполнены примеры расчета экономической эффективности применения систем накопления различного назначения: компенсации пикового увеличения потребления электрической энергии без замены трансформатора и увеличения сечения провода, а также использования системы накопления электрической энергии для оптимизации режимов работы энергетического оборудования за счет выравнивания суточного графика нагрузки электрической сети.

Ввиду инновационности для Беларуси направлений развития и применения систем накопления электрической энергии, многочисленности и отраслевой разрозненности в настоящее время направлений работ по данной проблеме назрела объективная потребность в определении и закреплении на нормативном уровне стратегических подходов к развитию использования систем накопления электрической энергии с точки зрения научной обоснованности масштабов развития работ в этой сфере, в том числе в целях обеспечения энергетической безопасности и повышения энергетической независимости страны.

Применение систем накопления электрической энергии дает положительный эффект как для потребителей энергии, так и производителей. В целом результатом внедрения указанных систем является снижение потребления топливно-энергетических ресурсов в стране и, как следствие, снижение энергоёмкости ВВП.

Примеры, изложенные в статье, позволяют оценить основные экономические показатели в результате применения систем накопления электрической энергии и могут служить основой для принятия решения по их использованию и рассмотрению вопросов стратегического характера.

**Ключевые слова:** система накопления электрической энергии, трансформатор, оптимизация нагрузки.

**Для цитирования:** Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П. Примеры расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии в случаях оптимизации нагрузки и компенсации дневных снижений напряжения в населенном пункте при необходимости замены трансформатора // Труды БГТУ. Сер. 1, Лесное хоз-во, природопользование и перераб. возобновляемых ресурсов. 2024. № 2 (282). С. 230–235.

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-29.

**I. V. Voitau<sup>1</sup>, S. G. Levitsky<sup>2</sup>, V. V. Bobrov<sup>2</sup>, V. P. Tsiuleneu<sup>1</sup>**<sup>1</sup>Belarusian State Technological University<sup>2</sup>Country Office of the State Corporation “Rosatom”  
in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel”**FUEL AND ENERGY RESOURCES SAVINGS CALCULATIONS EXAMPLES  
WHEN INTRODUCING ELECTRIC ENERGY STORAGE SYSTEMS TO OPTIMIZE  
THE LOAD AND TO COMPENSATE DAILY VOLTAGE DROPS IN A POPULATED  
AREA IN CASE OF REPLACING A TRANSFORMER**

Based on the previously proposed Methodology for calculating the fuel and energy resources savings to introduce into the electric energy storage systems, the authors performed examples of calculating the economic efficiency of using storage systems for various purposes: compensation for peak increases in electrical energy consumption without replacing the transformer and increasing the cross-section of the wire and using the electrical energy storage system for optimization operating modes of power equipment by leveling the daily load schedule of the electrical network.

Taking into account the innovative direction development of the use of electrical energy storage systems, a large number and sectoral fragmentation of current works in this area, there is an objective need to identify and consolidate at the regulatory level strategic approaches to the development of the use of electric energy storage systems from a scientific point of view the validity of development scale of work in this area in order to ensure energy security and increase the country's energy independence.

The use of electrical energy storage systems has a positive effect for both energy consumers and producers. In general, the result of the implementation of these systems is a decrease in the consumption of fuel and energy resources in the country resulting in a decrease in the energy intensity of GDP.

These examples allow us to evaluate the main economic indicators from the use of electrical energy storage systems and can serve as the basis for making decisions on their use and considering strategic issues.

**Keywords:** electrical energy storage system, transformer, load optimization.

**For citation:** Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P. Fuel and energy resources savings calculations examples when introducing electric energy storage systems to optimize the load and to compensate daily voltage drops in a populated area in case of replacing a transformer. *Proceedings of BSTU, issue 1, Forestry. Nature Management. Processing of Renewable Resources*, 2024, no. 2 (282), pp. 230–235 (In Russian).

DOI: 10.52065/2519-402X-2024-282-29.

**Введение.** В процессе согласования Методики расчета экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии в наш адрес были получены многочисленные пожелания от различных министерств о возможности рассмотрения наглядных примеров ее применения. В данной статье приведены примеры использования указанной Методики.

**Основная часть. 1. Примеры расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов (ТЭР) при внедрении систем накопления электрической энергии в случае оптимизации нагрузки.** Установка системы накопления мощностью 10 МВт со временем заряда 7 ч размещается в любом энергетическом узле с возможностью получения этой мощности и выдачи в сеть.

1.1. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет внедрения систем накопления электроэнергии (СНЭ).

1.1.1. Расчет экономии топлива за счет выравнивания суточного графика нагрузки генерирующего оборудования.

1.1.2. Расчет экономии топлива за счет увеличения нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время в результате заряда системы накопления электрической энергии и потребления электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Белорусской АЭС:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{гр}}^3 &= N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гт}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9} = \\ &= 110\,000 \cdot 365 \cdot 7 \cdot 4,5 \cdot 10\,000 \cdot 1 / 0,75 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = \\ &= 13\,490,4 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где  $N_{\text{эс}}^{\text{бл}}$  – минимальная мощность единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции во время ночного минимума нагрузки, кВт;  $n$  – продолжительность использования системы накопления, сут;  $t_3$  – время

заряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $\delta b_{\text{эс}}^{\text{гт}}$  – изменение удельного расхода топлива единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции, при увеличении мощности на 1000 кВт (4,5 г у. т./кВт·ч) с ростом нагрузки от использования накопителя энергии, г у. т./кВт·ч · 1000 кВт;  $N_{\text{СНЭ}}$  – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт;  $\eta_{\text{СНЭ}}$  – коэффициент полезного действия системы накопления электрической энергии;  $K$  – коэффициент, учитывающий объем используемой емкости системы накопления (для повышения числа циклов «разряд-заряд» коэффициент использования СНЭ не выше 0,8).

1.1.3. Расчет экономии топлива за счет снижения нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости запуска недостаточно эффективного оборудования:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{гр}}^{\text{р}} &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_{\text{р}} \cdot b_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot K \cdot 10^{-6} = \\ &= 80 \cdot 365 \cdot 8 \cdot 320 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 6540,8 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где  $t_{\text{р}}$  – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $b_{\text{эс}}^{\text{кэс}}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на паросиловых блоках замыкающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./кВт·ч.

1.1.4. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет снижения числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии):

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{поо}} &= B_{\text{пнс}} \cdot K_{\text{поо}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 10^{-3} = \\ &= 52 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 1040 \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где  $B_{\text{пнс}}$  – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.;  $K_{\text{поо}}$  – коэффициент пусков-остановов энергетического оборудования на 1 МВт мощности системы накопления.

В качестве коэффициента пусков-остановов принято количество пусков-остановов оборудования в течение суток исходя из следующих предпосылок:

– ежесуточные остановы в течение рабочих дней – 252 дней в году;

– нормативный расход условного топлива на пуск энергоблока 300 МВт из неостывшего состояния – 52 т у. т.;

– для устранения необходимости пуска-останова в режиме суточного регулирования необходимо установить систему накопления электрической энергии мощностью не менее 130 МВт и суммарной емкостью накопления не менее 1,04 ГВт·ч.

Следовательно, коэффициент может быть рассчитан исходя из формулы  $K_{\text{поо}} = 252 \cdot 1 / 130$ , кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

1.2. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях.

1.2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$Q_{\text{ку}} = N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{\text{квар}} = 10\,000 \cdot 365 \cdot 7 \cdot 1 = 25\,550\,000 \text{ квар},$$

где  $k_{\text{квар}}$  – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности  $\cos\varphi_1$  и  $\cos\varphi_2$ , квар/кВт (Приложение 6 Методических рекомендаций по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, согласованных Национальной академией наук Беларуси № 26-09/4725 28 августа 2020 г. и утвержденных Департаментом по энергоэффективности).

1.2.2. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{\text{ку}} \cdot K_3 = 25\,550\,000 \cdot 0,17 = 4\,343\,500 \text{ кВт·ч},$$

где  $Q_{\text{ку}}$  – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар;  $K_3$  – экономический эквивалент, равный для систем накопления электрической энергии 0,17 кВт/квар.

1.2.3. Годовая экономия условного топлива от внедрения систем накопления электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности во время заряда с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{реакт}} &= \Delta \mathcal{E} \cdot b_{\text{э}}^{\text{квс}} \cdot (1 + k_{\text{пот}} / 100) \cdot 10^{-6} = \\ &= 4\,343\,500 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = \\ &= 1515,013, \text{ т у. т.}, \end{aligned}$$

где  $k_{\text{пот}}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго».

1.3. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии составит:

$$\begin{aligned} \Delta B &= \Delta B_{\text{гр}}^3 + \Delta B_{\text{гр}}^p + \Delta B_{\text{поо}} + \Delta B_{\text{реакт}} = \\ &= 13\,490,4 + 6540,8 + 1040 + 1515,013 = \\ &= 22\,586,213 \text{ т у. т.} \end{aligned}$$

1.4. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

1.4.1. Капиталовложения, связанные с внедрением систем накопления, по сравнению с установками без них, определяются по укрупненным показателям исходя из следующих предпосылок:

– стоимость оборудования и материалов  $C_{\text{об}}$  определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам конкурсных торгов на его поставку, руб. (принимается 595 долл. США/кВт·ч при курсе доллара США к белорусскому рублю 3,19);

– стоимость проектных работ принимается равной 10–15% от стоимости строительно-монтажных работ (СМР)  $C_{\text{смп}}$ , руб.;

– стоимость СМР – 5–10% от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5% от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом:

$$\begin{aligned} \Delta K &= C_{\text{об}} + 0,10C_{\text{смп}} + 0,05C_{\text{об}} + \\ &+ 0,03C_{\text{об}} = 132\,863\,500 + \\ &+ 664\,317 + 6\,643\,175 + 3\,985\,905 = \\ &= 144\,156\,897,5 \text{ руб.} \end{aligned}$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

1.4.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$\begin{aligned} \text{Ср}_{\text{ок}} &= \Delta K / (\Delta B \cdot C_{\text{топл}}) = \\ &= 144\,156\,897,5 / (22\,586,213 \cdot 638) = 10,004 \text{ года}, \end{aligned}$$

где  $\Delta B$  – общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии, т у. т.;  $C_{\text{топл}}$  – стоимость 1 т у. т. (руб.), уточняется на момент составления расчета (принимается 200 долл. США за 1 т у. т.).

**2. Расчет экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии в случае компенсации дневных снижений напряжения в населенном пункте при необходимости замены**

**трансформатора.** Требуется замена трансформатора при электроснабжении населенного пункта из-за провалов напряжения (недостаток мощности трансформатора в дневное время) мощностью от 100 до 160 кВА.

2.1. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет внедрения систем накопления электроэнергии.

2.1.1. Расчет экономии топлива за счет выравнивания суточного графика нагрузки генерирующего оборудования.

2.1.2. Расчет экономии топлива за счет повышения нагрузки энергетического оборудования с повышением коэффициента полезного действия в ночное время за счет заряда системы накопления электрической энергии и потребления электроэнергии, вырабатываемой энергоблоками Белорусской АЭС:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{тр}}^3 &= N_{\text{эс}}^{\text{бл}} \cdot n \cdot t_3 \cdot \delta b_{\text{эс}}^{\text{гг}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 1 / \eta_{\text{СНЭ}} \cdot K \cdot 10^{-9} = \\ &= 110\,000 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 4,5 \cdot 80 \cdot 1 / 0,75 \cdot 0,8 \cdot 10^{-9} = \\ &= 61,7 \text{ т у. т.,} \end{aligned}$$

где  $N_{\text{эс}}^{\text{бл}}$  – минимальная мощность единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции во время ночного минимума нагрузки, кВт;  $n$  – продолжительность использования системы накопления, сут;  $t_3$  – время заряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $\delta b_{\text{эс}}^{\text{гг}}$  – изменение удельного расхода топлива единицы генерирующего оборудования, используемого на замыкающей станции, при увеличении мощности на 1000 кВт (4,5 г у. т./кВт·ч) с ростом нагрузки от использования накопителя энергии, г у. т./кВт·ч · 1000 кВт;  $N_{\text{СНЭ}}$  – мощность применяемой системы накопления электрической энергии, кВт;  $\eta_{\text{СНЭ}}$  – коэффициент полезного действия системы накопления электрической энергии;  $K$  – коэффициент, учитывающий объем используемой емкости системы накопления (для повышения числа циклов «разряд-заряд» коэффициент использования СНЭ не выше 0,8).

2.1.3. Расчет экономии топлива за счет снижения нагрузки энергетического оборудования в дневное время (максимум нагрузки) с исключением необходимости включения недостаточно эффективного оборудования:

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{тр}}^p &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_p \cdot b_{\text{эс}}^{\text{кэс}} \cdot K \cdot 10^{-6} = \\ &= 80 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 320 \cdot 0,8 \cdot 10^{-6} = 29,9 \text{ т у. т.,} \end{aligned}$$

где  $t_p$  – время разряда системы накопления электрической энергии, ч/сут;  $b_{\text{эс}}^{\text{кэс}}$  – удельный расход топлива на отпуск электроэнергии, принимается равным фактическому расходу топлива на замы-

кающей станции в энергосистеме (Лукомльской ГРЭС) за год, предшествующий составлению расчета, г у. т./кВт·ч.

2.1.4. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет снижения числа пусков и остановов генерирующего оборудования в течение суток с расходом ТЭР без отпуска продукции (электроэнергии):

$$\begin{aligned} \Delta B_{\text{поо}} &= B_{\text{пнс}} \cdot K_{\text{поо}} \cdot N_{\text{СНЭ}} \cdot 10^{-3} = \\ &= 52 \cdot 2 \cdot 80 \cdot 10^{-3} = 8,3 \text{ т у. т.,} \end{aligned}$$

где  $B_{\text{пнс}}$  – расход топливно-энергетических ресурсов на пуск-останов энергоблока из неостывшего состояния согласно нормативным характеристикам оборудования, т у. т.;  $K_{\text{поо}}$  – коэффициент пусков-остановов энергетического оборудования на 1 МВт мощности системы накопления.

В качестве коэффициента пусков-остановов принято количество пусков-остановов оборудования в течение суток исходя из следующих посылок:

– ежесуточные остановки в течение рабочих дней – 252 дней в году;

– нормативный расход условного топлива на пуск энергоблока 300 МВт из неостывшего состояния – 52 т у. т.;

– для устранения необходимости пуска-останова в режиме суточного регулирования необходимо установить систему накопления электрической энергии мощностью не менее 130 МВт и суммарной емкостью накопления не менее 1,04 ГВт·ч.

Следовательно, коэффициент может быть рассчитан исходя из формулы  $K_{\text{поо}} = 252 \cdot 1 / 130$ , кол-во пусков на 1 МВт установленной мощности накопителей.

2.2. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации реактивной мощности, генерируемой в ночное время, для снижения потерь в электрических сетях.

2.2.1. Определение компенсации реактивной мощности компенсирующих устройств:

$$\begin{aligned} Q_{\text{кв}} &= N_{\text{СНЭ}} \cdot n \cdot t_3 \cdot k_{\text{квар}} = 80 \cdot 365 \cdot 4 \cdot 1 = \\ &= 116\,800 \text{ квар,} \end{aligned}$$

где  $k_{\text{квар}}$  – коэффициент, получаемый из таблицы в соответствии со значениями коэффициентов мощности  $\cos\varphi_1$  и  $\cos\varphi_2$ , квар/кВт (Приложение 6 Методических рекомендаций по составлению технико-экономических обоснований для энергосберегающих мероприятий, согласованных Национальной академией наук Беларуси № 26-09/4725 28 августа 2020 г. и утвержденных Департаментом по энергоэффективности).

2.2.2. Годовая экономия электроэнергии при установке компенсирующих устройств:

$$\Delta \mathcal{E} = Q_{\text{кв}} \cdot K_3 = 116\,800 \cdot 0,17 = 19\,856 \text{ кВт·ч,}$$

где  $Q_{ку}$  – потребляемая мощность компенсирующего устройства, квар;  $K_3$  – экономический эквивалент, равный для систем накопления электрической энергии 0,17 кВт/квар.

2.2.3. Годовая экономия условного топлива от внедрения систем накопления электрической энергии за счет компенсации реактивной мощности во время заряда с учетом потерь на транспорт электроэнергии в электросетях:

$$\Delta B_{реакт} = \Delta \mathcal{E} \cdot b_{\mathcal{E}}^{кэс} \cdot (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} =$$

$$= 19\,856 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = 6,9 \text{ т у. т.},$$

где  $k_{пот}$  – коэффициент, учитывающий потери электроэнергии в электросетях (с учетом распределительных) в системе ГПО «Белэнерго».

2.3. Расчет экономии топливно-энергетических ресурсов за счет компенсации холостого хода трансформаторов повышенной мощности для потенциального обеспечения отопления и горячего водоснабжения с использованием электрической энергии в летнее время при реконструкции распределительных сетей:

$$\Delta B_{хх} = (P_{тр}^н - P_{тр}^{сущ}) \cdot K_{хх} \cdot n_{моп} \cdot 24 \cdot b_{\mathcal{E}}^{кэс} \times$$

$$\times (1 + k_{пот} / 100) \cdot 10^{-6} = (160 - 100) \cdot 0,25 \cdot 365 \times$$

$$\times 24 \cdot 320 \cdot (1 + 0,09) \cdot 10^{-6} = 30,6 \text{ т у. т.},$$

где  $P_{тр}^н$  – мощность требуемого к установке трансформатора для обеспечения нагрузки, кВт;  $P_{тр}^{сущ}$  – мощность существующего трансформатора на комплексной трансформаторной подстанции (КТП), кВт;  $K_{хх}$  – коэффициент холостого хода ( $K_{хх} = 0,05 - 0,25$ );  $n_{моп}$  – продолжительность использования систем накопления электрической энергии, сут.

2.4. Общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии:

$$\Delta B = \Delta B_{гр}^3 + \Delta B_{гр}^p + \Delta B_{поо} + \Delta B_{реакт} + \Delta B_{хх} =$$

$$= 61,7 + 29,9 + 8,3 + 6,9 + 30,6 = 137,4 \text{ т у. т.},$$

2.5. Расчет сроков окупаемости внедрения систем накопления.

2.5.1. Капитальные вложения, связанные с внедрением систем накопления, по сравнению с установками без них, определяются по укрупненным показателям исходя из следующих предпосылок:

– стоимость оборудования и материалов  $C_{об}$  определяется проектно-сметной документацией и уточняется по результатам конкурсных торгов на его поставку, руб. (принимается 737 долл. США/кВт·ч при курсе доллара США к белорусскому рублю 3,19);

– стоимость проектных работ принимается равной 10–15% от стоимости строительно-монтажных работ (СМР)  $C_{смр}$ , руб.;

– стоимость СМР – 5–10% от стоимости оборудования и материалов, руб.;

– стоимость пуско-наладочных работ – 3–5% от стоимости оборудования и материалов, руб.

Капиталовложения в мероприятие определяются следующим образом, руб.:

$$\Delta K = C_{об} + 0,15C_{смр} + 0,10C_{об} +$$

$$+ 0,05C_{об} = 752\,329,6 + 11\,284,9 +$$

$$+ 75\,233 + 37\,616,5 = 876\,464 \text{ руб.}$$

В состав затрат на оборудование и материалы входят расходы на приобретение материалов и оборудования, необходимых для реализации мероприятия.

2.5.2. Определение срока окупаемости мероприятия:

$$C_{рок} = \Delta K / (\Delta B \cdot C_{топл}) =$$

$$= 876\,464 / (137,4 \cdot 638) = 10 \text{ лет},$$

где  $\Delta B$  – общая экономия топливно-энергетических ресурсов от реализации мероприятия по внедрению систем накопления электрической энергии, т у.т.;  $C_{топл}$  – стоимость 1 т у. т. (руб.), уточняется на момент составления расчета (принимается 200 долл. США за 1 т у. т.).

**Вывод.** В статье на примерах продемонстрирована достаточно высокая окупаемость экономии ТЭР при внедрении систем накопления электрической энергии.

### Информация об авторах

**Войтов Игорь Витальевич** – доктор технических наук, профессор, ректор. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь) E-mail: rektor@belstu.by

**Левицкий Станислав Григорьевич** – директор. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

**Бобров Владимир Владимирович** – советник директора. Страновой офис Госкорпорации «Росатом» в Республике Беларусь ООО «Русатом Бел» (220006, г. Минск, ул. Мясникова, 70, Республика Беларусь). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

**Тюленев Виктор Петрович** – ведущий специалист Международного информационно-аналитического центра трансфера технологий. Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: victorpowersys@gmail.com

### Information about the authors

**Voitau Ihar Vital'evich** – DSc (Engineering), Professor, Rector. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: rektor@belstu.by

**Levitsky Stanislav Grigor'evich** – Director. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: SGrLevitsky@rosatom.com

**Bobrov Vladimir Vladimirovich** – Director’s Advisor. Country Office of the State Corporation “Rosatom” in the Republic of Belarus LLC “Rusatom Bel” (70, Myasnikova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: vvbobrov@rosatom.by

**Tsiuleneu Viktor Petrovich** – Leading Specialist, the International Information and Analytical Center for Technology Transfer. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: victorpowersys@gmail.com

*Поступила 12.06.2024*

# СОДЕРЖАНИЕ

<b>УПРАВЛЕНИЕ ЛЕСАМИ, ЛЕСОУСТРОЙСТВО И ИНФОРМАЦИОННЫЕ СИСТЕМЫ В ЛЕСНОМ ХОЗЯЙСТВЕ</b> .....	5
<b>Комар А. Ю., Ермохин М. В., Судник А. У.</b> Прадукцыйнасць хваёвых лясоў на верхавых балотах ва ўмовах уздзеяння асушальных сістэм.....	5
<b>Лукин В. В., Кныш Н. В., Ермохин М. В., Барсукова Т. Л., Савельев В. В.</b> Влияние эффекта «городского острова тепла» на динамику радиального прироста сосны обыкновенной ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	13
<b>Севко О. А., Коцан В. В.</b> Зависимость прироста растущей части древостоя от пространственного размещения вырубаемых деревьев.....	21
<b>Цай С. С.</b> Использование материалов лидарной съемки участков лесного фонда, полученных с беспилотных летательных аппаратов, для определения углов наклона местности.....	30
<b>ЛЕСНАЯ ЭКОЛОГИЯ И ЛЕСОВОДСТВО</b> .....	38
<b>Прищепов А. А., Рожков Л. Н.</b> Лесные насаждения Беларуси с установленным режимом лесопользования в форме рубок обновления.....	38
<b>Прищепов А. А., Рожков Л. Н.</b> Оценка результатов практического и научного опыта рубок обновления в сосновых насаждениях Республики Беларусь.....	46
<b>Углынец А. В., Шумак С. В., Гарбарук Д. К.</b> Запас надземной фитомассы и ценотическая характеристика живого напочвенного покрова черноольшаника снытевого в зоне отчуждения Чернобыльской атомной электростанции .....	56
<b>ЛЕСОВОССТАНОВЛЕНИЕ И ЛЕСОРАЗВЕДЕНИЕ</b> .....	67
<b>Алам М., Носников В. В.</b> Особенности удержания влаги в почве с помощью смачивающего агента для целей лесовосстановления в Ливане .....	67
<b>Татун Е. В., Носников В. В.</b> Изменчивость биометрических показателей семян березы повислой, выращенных в кассетах с разным объемом ячеек .....	76
<b>Якимов Н. И., Гвоздев В. К., Юрениа А. В.</b> Исследование роста и формирования лесных культур различных древесных видов в однородных лесорастительных условиях .....	82
<b>ЛЕСОЗАЩИТА И САДОВО-ПАРКОВОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО</b> .....	88
<b>Острикова М. Я., Разумова О. А., Константинов А. В., Пантелеев С. В., Хархасова И. А.</b> Разработка методики наработки мицелия микоризообразующих грибов для последующей инокуляции в почвенные субстраты.....	88
<b>Сазонов А. А., Кухта В. Н., Бабуль Д. А., Некраш В. Н., Пацукевич П. В.</b> Состояние древостоев в очагах синей сосновой златки ( <i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1975)) и результаты анализа ее микропопуляций.....	95
<b>Сауткин Ф. В., Лазаренко М. В., Рогинская Ю. С., Бегун А. А.</b> Специфика заселения маломобильными и скрытоживущими насекомыми-фитофагами сложных листовых пластинок караганы древовидной ( <i>Caragana arborescens</i> Lam.) в условиях декоративных зеленых насаждений .....	106
<b>Яковчик Ф. Г., Рогинский А. С., Буга С. В.</b> Поврежденность инвазивными минерами лип и конских каштанов в зеленых насаждениях насажденных пунктов в границах и пограничье некоторых особо охраняемых территорий Беларуси .....	114
<b>ТУРИЗМ И ЛЕСОХОТНИЧЬЕ ХОЗЯЙСТВО</b> .....	122
<b>Андреева В. Л., Юрениа А. В.</b> Объекты ботанического туризма Беларуси.....	122
<b>Бессараб Д. А.</b> Возможность использования национальных кулинарных традиций как существенного условия эффективного продвижения туристической дестинации .....	132

<b>Юхимук А. Н., Гордей Д. В., Решетников В. Н.</b> Идентификация сортов и внутривидовых таксонов голубики узколистной ( <i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.) на основе анализа микросателлитных локусов (SSR-маркеров). Перспективы практического использования данных .....	141
<b>ЛЕСОПРОМЫШЛЕННЫЙ КОМПЛЕКС. ТРАНСПОРТНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ</b> .....	152
<b>Вавилов А. В.</b> О дополнительных работах в связи с применением высокопроизводительной лесозаготовительной техники.....	152
<b>Леонович О. К., Дупанов С. А.</b> Исследования мореного дуба и его свойств при добыче и переработке.....	157
<b>Евкович И. А., Протас П. А.</b> Анализ методов предиктивной аналитики и обоснование их применения для прогнозирования последствий стихийных бедствий в лесном фонде.....	167
<b>Божко Д. В., Леонович О. К., Божелко И. К., Дупанов С. А.</b> Нормирование расхода древесины с использованием программного обеспечения с основами искусственного интеллекта.....	174
<b>ДЕРЕВООБРАБАТЫВАЮЩАЯ ПРОМЫШЛЕННОСТЬ</b> .....	180
<b>Божелко И. К., Коновалова А. А., Радкевич Л. В.</b> Отбеливание древесины бесхлорным составом .....	180
<b>Бовтрель А. Ю., Божелко И. К., Нехведович П. С., Генюш И. В.</b> Исследование современных биовлагозащитных препаратов для обработки древесины и деревянных конструкций. ....	187
<b>Гордиевич Е. И., Игнатович Л. В., Васеха А. П.</b> Анализ влияния параметров пружин независимого пружинного блока на анатомо-физиологические особенности человека .....	194
<b>Лосик Е. А., Игнатович Л. В.</b> Прогнозирование экономической эффективности применения уплотненного шпона в производстве композиционных материалов, столярно-строительных и мебельных изделий из древесины .....	203
<b>Шелемет Н. Ю., Наркевич А. Л., Чуйков А. С., Полховский А. В.</b> Исследование физико-механических характеристик материалов, применяемых в производстве спортивного инвентаря .....	209
<b>Полховский А. В., Прохорчик С. А.</b> Влияние рецептуры связующего для препрегов на прочность склеивания .....	218
<b>ПУБЛИКАЦИИ СОЮЗНОГО ГОСУДАРСТВА</b> .....	225
<b>Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П.</b> Методика расчета экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии .....	225
<b>Войтов И. В., Левицкий С. Г., Бобров В. В., Тюленев В. П.</b> Примеры расчетов экономии топливно-энергетических ресурсов при внедрении систем накопления электрической энергии в случаях оптимизации нагрузки и компенсации дневных снижений напряжения в населенном пункте при необходимости замены трансформатора .....	230

# CONTENTS

<b>FOREST MANAGEMENT, FOREST INVENTORY AND INFORMATION SYSTEMS IN FORESTRY</b> .....	5
<b>Komar A. Yu., Yermokhin M. V., Sudnik A. U.</b> Productivity of pine forests in raised bogs within the influence of drainage systems .....	5
<b>Lukin V. V., Knysh N. V., Yermokhin M. V., Barsukova T. L., Saveliev V. V.</b> Impact of the urban heat island effect on tree-ring dynamics of Scots pine ( <i>Pinus sylvestris</i> L.) .....	13
<b>Sevko O. A., Kotsan V. V.</b> Dependence of the growth of the growing part of the tree stand from the spatial placement of cutted trees .....	21
<b>Tsai S. S.</b> Using lidar data of forest areas received from drone for determination of terrain angles.....	30
<b>FOREST ECOLOGY AND SILVICULTURE</b> .....	38
<b>Prishchepov A. A., Rozhkov L. N.</b> Forests of Belarus with an established forest use regime in the form of renovation felling .....	38
<b>Prishchepov A. A., Rozhkov L. N.</b> Assessment of the results of practical and scientific experience of renovation felling in pine forests of the Republic of Belarus .....	46
<b>Uglyanets A. V., Shumak S. V., Garbaruk D. K.</b> The stock of aboveground phytomass and cenotic characteristics the living ground cover of the goutweed Black alder forest type in the Chernobyl Nuclear Power Plant Exclusion Zone .....	56
<b>FOREST REGENERATION AND FOREST GROWING</b> .....	67
<b>Alam M., Nosnikov V. V.</b> Features of moisture retention in soil using a wetting agent for forest restoration purposes in Lebanon .....	67
<b>Tatun Ya. U., Nosnikov V. V.</b> Variability of biometric characteristics of silver birch seedlings grown in containers with different volume.....	76
<b>Yakimov N. I., Gvozdev V. K., Yurenya A. V.</b> Research on the growth and formation of forest crops of various types woody species in homogeneous forest conditions .....	82
<b>FOREST PROTECTION AND LANDSCAPING</b> .....	88
<b>Ostrikova M. Ya., Razumova O. A., Konstantinov A. V., Pantelev S. V., Kharkhasova I. A.</b> The development of a method for mycorrhizal fungi mycelia producing for inoculation into soil substrates. ....	88
<b>Sazonov A. A., Kukhta V. N., Babul' D. A., Nekrash V. N., Patsukevich P. V.</b> Condition of tree stands in foci of Steelblue Jewel Beetle ( <i>Phaenops cyanea</i> (Fabricius, 1775)) in the results of the analysis of its micropopulations.....	95
<b>Sautkin F., Lazarenko M., Roginskaya Yu., Biahun H.</b> Specificity of colonization by sedentary and endobiontic phytophagous insects of <i>Caragana arborescens</i> Lam. leaf blades in decorative green areas	106
<b>Yakouchyk F., Roginsky A., Buga S.</b> Damage to lime and horse chestnut trees by invasive leaf miners in green stands of settlements within the borders and in the vicinity of some protected nature areas of Belarus.....	114
<b>TOURISM AND FOREST HUNTING</b> .....	122
<b>Andreeva V. L., Yurenya A. V.</b> Objects of botanical tourism in Belarus .....	122
<b>Bessarab D. A.</b> Possibility of using national culinary traditions as an essential condition effective promotion of a tourist destination .....	132
<b>Yukhimuk A. N., Gordey D. V., Reshetnikov V. N.</b> Identification of varieties and intraspecific taxons of low bush blueberry ( <i>Vaccinium angustifolium</i> Ait.) based on analysis of microsatelite locuses (SSR-markers). Prospects for the practical use of data .....	141

<b>TIMBER PROCESSING COMPLEX. TRANSPORT AND TECHNOLOGICAL QUESTIONS.....</b>	<b>152</b>
<b>Vavilov A. V.</b> About additional work in connection with the application of high-performance forestry equipment .....	152
<b>Leonovich O. K., Dupanov S. A.</b> Research of bog oak and its properties during mining and processing .....	157
<b>Evkovich I. A., Protas P. A.</b> Analysis of predictive analytics methods and substantiates of application for forecasting the consequences of natural disasters in the forest fund.....	167
<b>Bazhko D. V., Leonovich O. K., Bazhelka I. K., Dupanov S. A.</b> Rating wood consumption using software with the basics of artificial intelligence.....	174
<b>WOODWORKING INDUSTRY .....</b>	<b>180</b>
<b>Bazhelka I. K., Konovalova A. A., Radkevich L. V.</b> Bleaching wood with chlorine-free composition	180
<b>Bovtrel A. Yu., Bazhelka I. K., Nekhviadovich P. S., Genyush I. V.</b> Research of modern bio-moisture protective preparations for processing wood and wooden structures .....	187
<b>Gordiyevich E. I., Ignatovich L. V., Vasekha A. P.</b> Analysis of the influence of spring parameters of an independent spring block on the anatomic and physiological features of human.....	194
<b>Losik E. A., Ignatovich L. V.</b> Forecasting the economic effectiveness of using compacted veneer in the production of composite materials, joinery and wood furniture products .....	203
<b>Shelemet N. Yu., Narkevich A. L., Chuikov A. S., Polkhovsky A. V.</b> Research of physical and mechanical characteristics of materials used in the production of sports equipment .....	209
<b>Polkhovsky A. V., Prokhorchik S. A.</b> Influence of binder formulation for prepreps for adhesion strength .....	218
<b>PUBLICATIONS OF THE UNION STATE.....</b>	<b>225</b>
<b>Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P.</b> The methodology for calculating fuel and energy resources savings to be implemented into electric energy storage systems.....	225
<b>Voitau I. V., Levitsky S. G., Bobrov V. V., Tsiuleneu V. P.</b> Fuel and energy resources savings calculations examples when introducing electric energy storage systems to optimize the load and to compensate daily voltage drops in a populated area in case of replacing a transformer .....	230

Редакторы *Т. Е. Самсанович, Е. И. Гоман, Р. М. Рябая*  
Компьютерная верстка *Е. А. Матейко, В. А. Маркушевская*  
Корректор *Т. Е. Самсанович*

Подписано в печать 15.07.2024. Формат 60×84<sup>1/8</sup>.  
Бумага офсетная. Гарнитура Таймс. Печать ризографическая.  
Усл. печ. л. 27,9. Уч.-изд. л. 29,9.  
Тираж 42 экз. Заказ 259.

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.