

Національний лісотехнічний університет України
Лісівнича академія наук України

НАУКОВІ ПРАЦІ

ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Випуск 28

Започатковано у 2001 р.

Львів
Компанія «Манускрипт»
2025

Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: Компанія «Манускрипт», 2025. – Вип. 28. – 266 с.

У збірнику наукових праць опубліковано результати досліджень, в яких висвітлено біологічні аспекти рослинних угруповань, наукові і практичні здобутки в царині лісівництва та лісознавства, лісового насінництва і лісової селекції, лісової таксації та лісовпорядкування. Наведено результати досліджень у сфері відтворення та покращення стану лісових насаджень, захисту лісостанів від шкідників і хвороб, економіки природокористування та менеджменту, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки.

Призначений для наукових працівників, викладачів закладів освіти, широкого кола фахівців у сфері лісівництва, біології та екології лісу, лісової інженерії та деревообробної галузі.

Рекомендовано до друку Вченою радою НЛТУ України та Президією ЛАН України
(протокол № 7 від 29.08.2025 р.).

Редакційна колегія:

професор Ігор Соловій,
професор Юрій Дебринюк,
професор Норберт Вебер,
професор Анджей Возняк,
професор Анатолій Гойчук,
професор Ервін Гуссендборфер,

професор П'єр Л. Ібіш,
професор Петро Лакида,
професор Валентина Мешкова,

професор Степан Миклуш,
професор Віктор Ткач,

наук. співр. Володимир Троцюк,

доцент Олег Часковський,
професор Петер Шпатгельф,
професор Василь Лавний,
професор Володимир Крамарець,
професор Надія Олексійченко,

професор Григорій Криницький,
професор Володимир Заїка,
професор Мирослава Сорока,
професор Марія Нижник,
професор Лідія Заднік-Штірн,
професор Ллойд Ірленд,

професор Павло Бехта,
професор Володимир Голубець,
професор Юрій Грицюк,
професор Ігор Озарків,
професор Ян Седлячек,

д-р економічних наук – головний редактор;
д-р с.-г. наук – заступник головного редактора;
д-р габілітований, Технічний університет Дрездена, Німеччина;
д-р габілітований, Університет Природничий в Любліні, Польща;
д-р с.-г. наук, Національний ун-т біоресурсів і природокор. України, м. Київ;
д-р габілітований, Університет прикладних наук Вайснштефан-Трісдорф, м. Фрайзінг, Німеччина;
д-р габілітований, Університет сталого розвитку Еберсвальде, Німеччина;
д-р с.-г. наук, Державне підприємство «Ліси України», м. Київ;
д-р с.-г. наук, Український наук.-дослід. інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, м. Харків;
д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р с.-г. наук, Український наук.-дослід. інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, м. Харків;
канд. с.-г. наук, Швейцарський федеральний інститут досліджень лісу, снігу і ландшафтів, Бірменсдорф;
канд. с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р, Університет сталого розвитку Еберсвальде, Німеччина;
д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р с.-г. наук, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків;
д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р ек. і соц. наук, Джеймс Хаттон Інститут, м. Абердин-Данді, Великобританія;
д-р економічних наук, Університет м. Любляна, Словенія;
д-р філософії з лісової політики та економіки, Факультет лісових ресурсів Університету Мен, США;
д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р техн. наук, Національний університет «Львівська політехніка», м. Львів;
д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;
д-р філософії, Технічний університет в м. Зволєн, Словаччина.

Науковий редактор: *Юрій ДЕБРИНЮК*
Літературний редактор: *Анна ПАВЛИШИН*
Редактор англomовних текстів: *Володимир ЛЕНТЯКОВ*
Технічне забезпечення видання: *Маріанна КУК*
Відповідальний секретар: *Неля ЛУКЯНЧУК*

Адреса видавництва: Видавництво «Компанія «Манускрипт»»
вул. Руська, 16/3, м. Львів, 79008

Тел: (032) 235-30-12; E-mail: lan@nltu.edu.ua; <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

**Ukrainian National Forestry University
Forestry Academy of Sciences of Ukraine**

PROCEEDINGS
**OF THE FORESTRY ACADEMY OF SCIENCES
OF UKRAINE**

Volume 28

Founded in 2001

Lviv
Company “Manuscript”
2025

Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Collection of Research Papers. – Lviv : Company “Manuscript”, 2025. – Vol. 28. – 266 p.

The Collection of Research Papers presents the results of studies highlighting the biological aspects of plant communities, scientific and practical achievements in the field of forestry and forest science, forest seed production and forest tree breeding, forest inventory and forest management planning. The results of studies in the field of regeneration and improvement of the condition of forest stands, pest control and diseaseless management, environmental economics and management, resource-saving and environmentally friendly woodworking technologies are presented.

The Collection is intended for researchers, teaching staff at educational institutions, and a wide range of professionals in the fields of forestry, forest biology and ecology, forest engineering, and woodworking.

The Collection is recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian National Forestry University and the Presidium of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine
(*decision record sheet No. 7 dated August 29, 2025*).

Editorial board:

<i>Professor Ihor Soloviy,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ.), Chief Editor;</i>
<i>Professor Iurii Debryniuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Deputy Chief Editor;</i>
<i>Professor Norbert Weber,</i>	<i>Dr. rer. silv. habil., the Technische Universität Dresden, Germany;</i>
<i>Professor Andrzej Wozniak,</i>	<i>Dr. habil., University of Life Sciences, Lublin, Poland;</i>
<i>Professor Anatoliy Goychuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;</i>
<i>Professor Erwin Hussendörfer,</i>	<i>Dr. habil. the Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences, Freising, Germany;</i>
<i>Professor Pierre L. Ibisch,</i>	<i>Dr. habil., Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde, Germany;</i>
<i>Professor Petro Lakyda,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), State Enterprise “Forests of Ukraine”, Kyiv;</i>
<i>Professor Valentyna Meshkova,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. N. Vysotsky, Kharkiv;</i>
<i>Professor Stepan Myklush,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Victor Tkach,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. N. Vysotsky, Kharkiv;</i>
<i>Doctor Volodymyr Trotsiuk,</i>	<i>Data Scientist, Swiss Federal Research Institute WSL, Birmensdorf;</i>
<i>Associate professor Oleg Chaskovskyy,</i>	<i>PhD (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Peter Spathelf</i>	<i>Dr. rer. nat., Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde, Germany;</i>
<i>Professor Vasyl Lavnyy,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Volodymyr Kramarets,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Nadiia Oleksiichenko,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv;</i>
<i>Professor Hryhoriy Krynytskyy,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Myroslava Soroka,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Volodymyr Zaika,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Maria Nijnik,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ. & Soc.), James Hutton Institute, Aberdeen, Dundee, United Kingdom;</i>
<i>Professor Lidija Zadnik-Stirn,</i>	<i>Dr. Sc. (Business Administration), University of Ljubljana, Slovenia;</i>
<i>Professor Lloyd Irland,</i>	<i>Ph D (Forest Policy and Economics), University of Maine School of Forest Resources, USA;</i>
<i>Professor Pavlo Bekhta,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Volodymyr Holubets,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Yuriy Hrytsyuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Lviv Polytechnic National University, Lviv;</i>
<i>Professor Ihor Ozarkiv,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Jan Sedliačik,</i>	<i>PhD (Tech.), Technical University in Zvolen, Slovak Republic.</i>

Scientific Editor: *Iurii DEBRYNIUK*

Literary editor: *Anna PAVLYSHYN*

Editor of English texts: *Volodymyr LENTIAKOV*

Technical support of the publication: *Marianna KUK*

Responsible secretary: *Nelya LUKYANCHUK*

Publishers Address:

Publishing «Company “Manuscript”»

16/3 Ruska st., Lviv, Ukraine, 79008

Tel: (032) 235-30-12; E-mail: lan@nltu.edu.ua; <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

ЗМІСТ

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

В. І. Вайданич, А. М. Дейнека, С. І. Миклуш, І. Б. Пірко, Т. В. Вайданич

КОМПЛЕКСНЕ ПРЯМЕ ВИЗНАЧЕННЯ МАС ПРОДУКТІВ ФОТОСИНТЕЗУ ДЕРЕВОСТАНІВ ЗА КВАНТАМИ ЕНЕРГІЇ СОНЯЧНОЇ РАДІАЦІЇ	11
---	-----------

П. І. Лакида, Л. М. Матушевич, О. С. Гоцик, Г. А. Сахарук

ІНФОРМАТИВНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ МОДЕЛЮВАННЯ БІОПРОДУКТИВНОСТІ ЛІСІВ ПОЛІСЬКОГО ПРИРОДНОГО ЗАПОВІДНИКА	22
--	-----------

В. В. Мороз, Г. Т. Криницький

АЛОМЕТРИЧНІ МОДЕЛІ ФІТОМАСИ КРОНИ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. ЗА БІОМЕТРИЧНИМИ ПАРАМЕТРАМИ	37
--	-----------

2. ЛІСОЗНАВСТВО, ЛІСІВНИЦТВО ТА МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

V. Meshkova, A. Vorobei, E. Vorobei, D. Baturkin

DYNAMICS OF SCOTS PINE HEALTH AFTER THE RELEASE OF <i>THANASIMUS FORMICARIUS</i> IN BARK BEETLE FOCI (Динаміка стану сосни звичайної після випуску <i>Thanasimus formicarius</i> в осередки короїдів)	48
--	-----------

П. І. Ванджурак, Ю. М. Дебринюк, С. І. Миклуш

ВПЛИВ ОСВІТЛЕНOSTІ НА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПРОЦЕСУ ПРИРОДНОГО ПОНОВЛЕННЯ	58
--	-----------

Б. М. Міліневич, В. К. Заїка, В. А. Ковальова, Ю. М. Юсипович, М. М. Павук, В. В. Тисяк

МОРФОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ПІДРОСТУ <i>ABIES ALBA</i> MILL. В УМОВАХ ВОЛОГОЇ СМЕРЕКОВО-БУКОВОЇ СУЯЛИЧИНИ	68
---	-----------

А. В. Сасюк, В. К. Заїка, В. В. Павлюк

МОРФОФІЗІОЛОГІЧНІ ОСОБЛИВОСТІ ФУНКЦІОНУВАННЯ ПІДЛІСКОВИХ ВИДІВ У СОСНОВИХ ЛІСОСТАНАХ ШЕПЕТІВСЬКОГО ПОЛІССЯ	86
---	-----------

М. С. Чорній, Ю. С. Шпарик

ПРАЛІСИ І КВАЗІПРАЛІСИ КАРПАТСЬКОГО НАЦІОНАЛЬНОГО ПРИРОДНОГО ПАРКУ: РІЗНОМАНІТТЯ, ДИНАМІКА, МЕНЕДЖМЕНТ	99
---	-----------

Р. А. Ярощук, В. В. Лавний, С. В. Ярощук

МІЖНАРОДНИЙ ДОСВІД РЕНАТУРАЛІЗАЦІЇ ДЕВАСТОВАНИХ ТЕРИТОРІЙ ЛІСІВНИЧИМИ МЕТОДАМИ	112
---	------------

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО

А. Г. Булат

**ВПЛИВ ІНТЕНСИВНОСТІ РУХУ ТРАНСПОРТУ В УМОВАХ УРБАНІЗОВАНОГО
СЕРЕДОВИЩА НА ПОСІВНІ ЯКОСТІ НАСІННЯ *CATALPA BIGNONIOIDES* (WALT.).....** 127

Ю. І. Гайда, С. А. Лось, Л. І. Терещенко, Г. А. Шлончак, В. В. Митроченко

**ЛІСОВА СЕЛЕКЦІЯ НА ОСНОВІ ІНДИВІДУАЛЬНОГО ВІДБОРУ В УКРАЇНІ:
QUO VADIMUS?** 136

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

V. P. Pasternak, T. S. Pyvovar, A. V. Garmash

**BIOPRODUCTIVITY AND CARBON STOCK DYNAMICS OF MODAL PINE STANDS
IN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE (Біопродуктивність та
динаміка запасів вуглецю модальних соснових насаджень у Лівобережному
Лісостепу України)** 149

*В. Ю. Дебринюк, Л. Ф. Мацап'як, М. М. Нечай, Я. І. Зеленчук, І. І. Коляджин, В. В. Лавний,
С. І. Миклуш, М. І. Сорока, Ю. М. Дебринюк*

**ЛІСІВНИЧО-ТАКСАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІСОСТАНІВ *PICEA ABIES* (L.)
KARST. У ПРАЛІСОВИХ УГРУПОВАННЯХ ЧИВЧИНО-ГРИНЯВСЬКИХ ГІР
НПП «ВЕРХОВИНСЬКИЙ»** 157

В. В. Лавний, Т. В. Юськевич, О. Б. Михайлів, А. П. Іванюк, Б. З. Нагорняк, П. Шпатгельф

**ЛІСІВНИЧО-ТАКСАЦІЙНА ОЦІНКА МАРТЕЛОСКОПІВ УКРАЇНСЬКОГО
РОЗТОЧЧЯ** 189

В. В. Трикур, П. Г. Хомюк

**ЛІСІВНИЧО-ТАКСАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА МОДАЛЬНИХ БУКОВИХ
ДЕРЕВОСТАНІВ ЗАКАРПАТСЬКОГО ПЕРЕДГІР'Я І ВУЛКАНІЧНОГО ХРЕБТА.....** 202

5. ЕКОЛОГІЯ, ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

О. Р. Пелюх, І. Зайдль, А. Бйорнсен

**ПЕРЕХІД ДО ЕНЕРГЕТИЧНОЇ АВТОНОМІЇ ШКІЛ У КАРПАТСЬКОМУ РЕГІОНІ:
АНАЛІЗ ДУМОК СТЕЙКХОЛДЕРІВ.....** 215

6. ДЕРЕВООБРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ

Ю. М. Губер, З. П. Копинець, О. І. Олійчук, Ж. Я. Гуменюк, Ю. В. Рубінський

**ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДУБОВИХ ЗАГОТОВОК
ВИСУШЕНИХ У РІЗНОГО ТИПУ СУШИЛЬНИХ КАМЕРАХ.....** 229

7. РЕЦЕНЗІЇ, ВІДГУКИ ТА ВІТАННЯ

Р.Д. Василюшин, Г.Т. Криницький

У ГАРМОНІЇ З ПРИРОДОЮ: БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕКОСИСТЕМНІ ФУНКЦІЇ ЛІСІВ УКРАЇНИ (до 70-річчя від дня народження академіка та Першого віце-президента Лісівничої академії наук України, професора П.І. Лакиди)..... 241

В.Л. Мешкова

ФАХІВЕЦЬ З ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ, ЛІСОВОЇ ТАКСАЦІЇ, ЛІСОЗНАВСТВА І ЛІСІВНИЦТВА (до 60-річчя від дня народження академіка Лісівничої академії наук України, професора В.П. Пастернака)..... 246

Л.І. Терещенко, В.Г. Григор'єва

СТОРІНКИ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЛІСОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ (до 60-річчя від дня народження С.А. Лось, члена-кореспондента Лісівничої академії наук України, члена Президії ЛАН України) 251

8. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

Р. Шпек, В. Самоплавський, Ю. Туниця, Г. Криницький, Ю. Дебринюк, В. Кучерявий, А. Дейнека, В. Голубець, А. Бойко, І. Калущий, О. Голубчак

БЛАГОРОДНА СПРАВА ЙОГО І НЕВМИРУЩИЙ РОДОВІД – ПРОДОВЖУЮТЬСЯ (Пам'яті Почесного академіка Лісівничої академії наук України Петра Петровича Дурдинця) 257

Ю. Гайда, С. Лось, Л. Терещенко, Л. Торосова

СЕЛЕКЦІЙНІ ТА ГЕНЕТИКО-ЕКОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ НАСІННИЦТВА І СОРТОВИПРОБУВАННЯ АБОРИГЕННИХ ТА ІНТРОДУКОВАНИХ ВИДІВ ЛІСОВИХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УКРАЇНІ (спомин до 90-річчя від дня народження видатного українського лісівника, селекціонера, освітянина І.М. Патлая) 261

ДО УВАГИ АВТОРІВ 264

CONTENTS

1. BIOLOGICAL ASPECTS OF PLANT COMMUNITIES

<i>V. Vaidanych, A. Deineka, S. Myklush, I. Pirko, T. Vaidanych</i> INTEGRATED DIRECT DETERMINATION OF THE BIOMASS OF PHOTOSYNTHESIS PRODUCTS IN FOREST STANDS BASED ON QUANTA OF SOLAR RADIATION ENERGY	11
<i>P. Lakyda, L. Matushevych, O. Hotsyk, H. Sakharuk</i> INFORMATION SUPPORT FOR MODELLING BIOPRODUCTIVITY OF FORESTS OF THE POLISSIA NATURE RESERVE	22
<i>V. Moroz, H. Krynytskyy</i> ALLOMETRIC MODELS OF CROWN BIOMASS OF <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. BASED ON TREE BIOMETRIC PARAMETERS	37

2. FORESTRY, SILVICULTURAL SCIENCES AND WILDLIFE RESOURCE MANAGEMENT

<i>V. Meshkova, A. Vorobei, E. Vorobei, D. Baturkin</i> DYNAMICS OF SCOTS PINE HEALTH AFTER THE RELEASE OF <i>THANASIMUS FORMICARIUS</i> IN BARK BEETLE FOCI	48
<i>P. Vandzhurak, Iu. Debryniuk, S. Myklush</i> THE EFFECT OF ILLUMINATION ON THE INTENSITY OF THE NATURAL REGENERATION PROCESS	58
<i>B. Milinevych, V. Zaika, V. Kovaleva, Y. Yusypovych, M. Pavuk, V. Tusjak</i> MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF SILVER FIR YOUNG GROWTH FORMATION UNDER CONDITIONS OF MOIST FAIRLY FERTILE SPRUCE-BEECH-FIR FOREST TYPE	68
<i>A. Sasiuk, V. Zaika, V. Pavliuk</i> MORPHOPHYSIOLOGICAL FEATURES OF THE FUNCTIONING OF UNDERSTOREY SPECIES IN THE PINE FORESTS OF SHEPETIVKA POLISSIA	86
<i>M. Chornij, Y. Shparyk</i> PRIMEVAL AND QUASI-PRIMEVAL FORESTS OF THE CARPATHIAN NATIONAL NATURE PARK: DIVERSITY, DYNAMICS, MANAGEMENT	99
<i>R. Yaroshchuk, V. Lavnyy, S. Yaroshchuk</i> INTERNATIONAL EXPERIENCE OF ECOLOGICAL RENATURALIZATION OF DEVASTATED TERRITORIES USING FORESTRY METHODS	112

3. PLANTED FORESTS, PHYTOMELIORATION, TREE BREEDING, GARDENING AND PARK MANAGEMENT

A. Bulat

THE INFLUENCE OF TRAFFIC INTENSITY IN URBANIZED ENVIRONMENTS ON SEED GERMINATION OF <i>CATALPA BIGNONIOIDES</i> (WALT.)	127
--	-----

Yu. Hayda, S. Los, L. Tereshchenko, H. Shlonchak, V. Mitrochenko

FOREST TREE BREEDING BASED ON INDIVIDUAL SELECTION IN UKRAINE: QUO VADIMUS?	136
--	-----

4. FOREST BIOMETRY AND FOREST MANAGEMENT PLANNING

V. P. Pasternak, T. S. Pyvovar, A. V. Garmash

BIOPRODUCTIVITY AND CARBON STOCK DYNAMICS OF MODAL PINE STANDS IN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE	149
---	-----

*V. Debryniuk, L. Matzapyak, M. Nechai, Ya. Zelenchuk, I. Koliadzhyn, V. Lavnyy, S. Myklush,
M. Soroka, Iu. Debryniuk*

FOREST-MENSURATIONAL CHARACTERISTICS OF <i>PICEA ABIES</i> (L.) KARST. FOREST STANDS IN THE PRIMEVAL FOREST GROUPS OF THE CHYVCHYNO- HRYNIAVSKY MOUNTAINS OF THE VERKHOVYNSKYI NATIONAL NATURE PARK	157
--	-----

V. Lavnyy, T. Yuskevych, O. Mykhayliv, A. Ivaniuk, B. Nagorniak, P. Spathelf

FOREST-MENSURATION INDICATORS OF MARTELOSOPES IN THE UKRAINIAN ROZTOCHIA	189
---	-----

V. Trykur, P. Khomiuk

CHANGE IN FOREST STATISTIC INDICATORS OF MODAL BEECH STANDS WITH AGE TRANSCARPATHIAN FOOTHILLS AND THE VOLCANIC RANGE	202
--	-----

5. ECOLOGY, NATURAL RESOURCE ECONOMICS AND MANAGEMENT

O. Pelyukh, I. Seidl, A. Björnsen

TRANSITION TO ENERGY AUTONOMY OF SCHOOLS IN THE CARPATHIANS REGION: ANALYSIS OF STAKEHOLDERS' OPINIONS	215
---	-----

6. WOOD PROCESSING TECHNOLOGIES AND FOREST ENGINEERING

Yu. Huber, Z. Kopynets, O. Oliichuk, Zh. Humeniuk, Yu. Rubinsky

INVESTIGATION OF THE QUALITATIVE CHARACTERISTICS OF OAK-WOOD BLANKS DRIED IN DIFFERENT TYPES OF DRYING CHAMBER	229
---	-----

7. REVIEWS, COMMENTS, CONGRATULATIONS AND WISHES

R. Vasylyshyn, H. Krynytskyy

IN HARMONY WITH NATURE: BIOPRODUCTIVITY AND ECOSYSTEM FUNCTIONS OF UKRAINIAN FORESTS (to the 70th anniversary of birth of Professor P.I. Lakyda, Full Member and First Vice President of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine)	241
--	-----

V.L. Meshkova

AN AUTHORITY IN FOREST REGULATION, FOREST INVENTORY, FOREST SCIENCE, AND FOREST MANAGEMENT (to the 60th anniversary of birth of Professor V.P. Pasternak, Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine)	246
--	-----

L. Tereshchenko, V. Grygorjeva

PAGES OF FOREST TREE BREEDING IN UKRAINE (to the 60th anniversary of the birth of S.A. Los, a corresponding member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, member of the FASU Presidium)	251
---	-----

8. MEMORY PAGES

R. Shpeak, V. Samoplavskiy, Yu. Tynytsia, H. Krynytskyy, Iu. Debryniuk, V. Kucheriavyi, A. Deineka, V. Holubets, A. Boiko, I. Kalutskyi, O. Holubchak

HIS NOBLE DEED AND THE IMMORTAL LINEAGE – CONTINUE (In Memory of Honorary Academician of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine Petro Petrovych Durdynets)	257
--	-----

Yu. Hayda, S. Los, L. Tereshchenko, L. Torosova

PLANT-BREEDING AND GENETIC-ECOLOGICAL PRINCIPLES OF SEED PRODUCTION AND VARIETY TESTING OF ABORIGINAL AND INTRODUCED SPECIES OF FOREST TREE PLANTS IN UKRAINE (commemoration of the 90th anniversary of the birth of the outstanding Ukrainian forester, plant-breeder, and educator I.M. Patlay)	261
--	-----

INFORMATION FOR AUTHORS	264
--------------------------------------	-----

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412501>
Article received 2025.12.24
Article revised 2025.01.13
Article accepted 2025.05.19
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
✉ Correspondence author
Vasyl Vaidanych
vasyl.vaidanych@gmail.com
103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*182.4:551:521.1

Комплексне пряме визначення мас продуктів фотосинтезу деревостанів за квантами енергії сонячної радіації

В.І. Вайданич¹, А.М. Дейнека², С.І. Миклуш³, І.Б. Пірко⁴, Т.В. Вайданич⁵

Запропоновано комплексний прямий квантово-оптичний метод визначення мас продуктів фотосинтезу деревостанів за квантами енергії сонячної радіації, що надійшла за відповідний проміжок часу з середньою температурою вегетації $T \geq 5^\circ\text{C}$. Енергія сонячної радіації визначена через кількість фотонів, що потрапили в деревостан, та їх енергію в смугах поглинання хлорофілу з довжинами хвиль 440 та 660 нм.

Продукти фотосинтезу деревостанів, зокрема, фітомасу, фотосинтетично зв'язаний вуглекислий газ, депонований вуглець, воду та кисень, досі визначають непрямими методами через різноманітні зовнішні ознаки деревостану без урахування головного чинника процесу фотосинтезу – енергії сонячної радіації. Всі вони винятково трудомісткі та енерговитратні. Вуглекислий газ, кисень і депонований вуглець, зазвичай визначають непрямо через попередньо знайдену непрямим способом фітомасу шляхом її перерахунку з використанням молекулярної ваги продукту фотосинтезу. Затрачена на фотосинтез вода майже не вивчена. Запропонований квантово-оптичний прямий метод визначення мас продуктів фотосинтезу ґрунтується на тому, що енергія сонячної радіації, точніше енергія ФАР, поділяється на окремі кванти енергії – фотони, які поглинає хлорофіл з утворення молекул клітковини. Маса останніх пропорційна кількості поглинутих фотонів, тобто падаючій на деревостан енергії ФАР W . У результаті отримаємо зручний вираз прямого визначення маси продуктів фотосинтезу деревостану:

$$m = \mu \cdot A \cdot W,$$

де $A = 11,031 \cdot 10^9$ кДж – стала величина, яку визначено через енергію фотонів смуг поглинання хлорофілу;
 μ – молекулярна вага продукту фотосинтезу.

¹ Вайданич Василь Іванович – кандидат фізико-математичних наук, професор, Заслужений працівник освіти України. м. Львів, 79057, Україна. E-mail: vasyl.vaidanych@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1378-0791>

² Дейнека Анатолій Михайлович – академік Лісівничої академії наук України, доктор економічних наук, професор, начальник Західного міжрегіонального управління лісового та мисливського господарства, вул. Яворницького, 8Б, м. Львів, 79054, Україна. E-mail: andey67@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-5070-9759>

³ Миклуш Степан Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: msi_s@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

⁴ Пірко Ігор Богданович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерних наук. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: pirko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2378-2929>

⁵ Вайданич Тетяна Василівна – старший викладач кафедри маркетингу та логістики. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: vaidanych@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9930-5310>

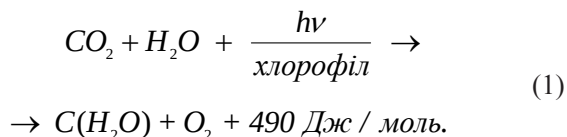
Встановлена залежність приросту мас продуктів фотосинтезу від енергії ФАР отримана для повністю зімкнутих деревостанів. У реальності потрібно вводити корегувальні коефіцієнти стану зімкнутості крон, віку насаджень, класу бонітету, деревних порід та ін.

Лінійна залежність мас продуктів фотосинтезу від енергії сонячної радіації W дає змогу автоматизувати процес і, ввівши сталі значення A та μ , визначати маси всіх продуктів фотосинтезу одночасно як в неперервному режимі, так і за дискретні проміжки часу.

Ключові слова: фотосинтез; фотони; енергія фотонів; енергія сонячної радіації; фітомаса; депонований вуглець; квантово-оптичний метод.

Вступ (Introduction).

Лісам, яким донедавна відводилося ключове господарсько-промислове значення, в останні роки все виразніше надається еколого-суспільне значення і, насамперед, домінуюча роль у зв'язуванні парникових газів, а відтак – у збереженні довкілля, придатного для діяльності наступних поколінь. Нагромадження фітомаси деревостаном і продуктів, що утворюються в цьому процесі, відбуваються завдяки фотосинтезу під дією енергії сонячної радіації. Класичне рівняння фотосинтезу з розрахунку на елементарну комірку клітковини, відбувається за відомою схемою (Микрушин та ін., 2006):



У процесі фотосинтезу неорганічна речовина CO_2 та H_2O перетворюється на органічну. То ж вхідними продуктами фотосинтезу є вуглекислий газ і вода, а вихідними продуктами в результаті фотохімічної реакції є клітковина (фітомаса) і кисень.

Розрізняють прямі і непрямі методи визначення фітомаси деревостанів. До прямих методів відносять ваговий. На ділянці лісу вибирають модельні дерева, їх зрубують і поділяють на компоненти (стовбур, гілки, листя/хвою, коріння), зважують свіжу масу, а потім висушують для встановлення сухої маси. Отримані результати поширюють на досліджувану ділянку лісу (Brown, 1989; Лакида, 2002). Метод трудомісткий та енерговитратний, супроводжується руйнуванням деревостану, обмеженою можливістю масштабування. Практичне застосування має метод визначення фітомаси окремих частин дерева (стовбура, гілок, кори, хвої або листя) за показниками щільності деревини та інших компонентів дерева з подальшим їх перерахунком в одиниці маси (Лакида, Лашенко А., Лашенко Н., 2006). Широкого застосування також набув алометричний метод визначення біомаси дерев без знищення рослин (Brown, 1989; Dengsheng, 2006; Лакида та ін., 2006). Метод базується на математичних рівняннях, що пов'язують легко вимірювані характеристики дерев: діаметр на висоті грудей (DBH), висоту дерев (H), клас бонітету. Іноді встановлюють ще й повноту (Василишин

та ін., 2021) та визначають кореневу частину деревостану (Vasylyshyn et al., 2023). На основі цих даних за допомогою математичних моделей визначають фітомасу. Використовуючи коефіцієнтне оцінювання біомаси залежно від типу деревостанів, віку насаджень, типу лісу, визначено середній запас фітомаси в Україні (Лакида, Швиденко та ін., 2013). Дослідниками (Sytnyk et al., 2018) запропоновано рівняння для оцінювання фітомаси листя та гілок на основі об'єму крони. Якнайповніше врахування зовнішніх ознак лісостанів дало змогу оцінити високий потенціал фітомаси лісів України як джерела низьковуглецевої відновлювальної енергії (Vasylyshyn et al., 2022; Vasylyshyn et al., 2023; Vasylyshyn, Yurchuk, 2021).

Метод дистанційного зондування дав можливість оцінити надземну фітомасу лісових насаджень у важко доступних регіонах (Gwal, Singh, & Amand, 2020), здійснити великомасштабну лісову інвентаризацію (Constandache et al., 2021), відслідкувати зміни, що відбуваються у лісових екосистемах впродовж тривалого проміжку часу, зумовлених кліматичними змінами та людською діяльністю (Yude Pan et al., 2013; Myklush et al., 2024; Myroniuk et al., 2022). Отримано також попередні результати застосування аеродинамічного методу для виявлення хворіб лісу, розпізнавання деревних видів, типів лісу (Часковський та ін., 2016).

Масу депонованого деревостаном вуглецю та фотосинтетично зв'язаного в процесі фотосинтезу вуглекислого газу зазвичай визначають через встановлену фітомасу (Dixon et al., 1994; Myroniuk et al., 2022; Zibtsev et al., 2024). Використана система математичних моделей для кількісного оцінювання фітомаси дала змогу розрахувати обсяги органічного вуглецю у різних лісових екосистемах (Василишин та ін., 2021).

Вуглецепоглиняльна здатність залежить також від вікової структури деревостанів (Мороз, 2024). Проведений аналіз структури, розподілу біомаси лісів по всьому світу виявив, що, починаючи з 1990 р., щільність біомаси в усталених лісах зростає, що може свідчити про вплив глобальних факторів, зокрема підвищеного рівня вуглекислого газу (Yude Pan et al., 2013). Оцінювання таких змін важливе з погляду виконання міжнародних зобов'язань у межах Паризької кліматичної угоди.

Масу зв'язаного в процесі фотосинтезу вуглекислого газу та депонованого вуглецю визначають

також хлорофільним способом, який ґрунтується на встановленні вмісту хлорофілу в усіх органах рослин на одиниці вкритої рослинністю площі. Далі розраховують величину депонованого вуглецю на одиницю маси хлорофілу (кілограм вуглецю/кілограм хлорофілу). За отриманим результатом і молярною масою визначають масу депонованого вуглецю і масу фотосинтетично зв'язаного деревостаном атмосферного вуглекислого газу (Matthews, 1993).

Масу води, що разом з вуглекислим газом забезпечує фотосинтез, також визначають непрямим потометричним способом. Потометром вимірюють масу поглинутої води і транспірацію. За їхньою різницею знаходять масу зв'язаної в процесі фотосинтезу води (Larcher, 2003). Спосіб багатостадійний і трудомісткий, його застосовують в основному в лабораторних умовах.

Разом із формуванням фітомаси внаслідок фотосинтезу виділяється молекулярний кисень. Його масу визначають знову ж таки непрямим способом – шляхом виокремлення з сухої фітомаси, враховуючи хімічний склад останньої. Встановлено, що для утворення однієї тонни абсолютно сухої деревини виділяється від 1,398 (для сосни) до 1,423 т/га (для осики) кисню (Миклуш, 2011).

Зазначені вище методи визначення маси продуктів фотосинтезу деревостанів, окрім того, що вони непрямі, вони ще й винятково трудомісткі та енерговитратні. Жоден із дослідників не спромігся визначити всі компоненти фотосинтезу на одній виокремленій ділянці деревостану, а лише фрагментарно, що ускладнює їхнє порівняння. Але найважливішим аспектом є те, що в жодній з робіт не використано для оцінювання маси продуктів фотосинтезу важливий компонент – енергію сонячної радіації, що надходить у деревостан. Якщо на ділянку лісу надійде менше вологи, або в атмосферному повітрі виявиться недостатня концентрація вуглекислого газу, то фотосинтез буде відбуватися, але його інтенсивність зменшиться. Водночас якщо інтенсивність світла буде збережена, але без ділянки спектра, що відповідає смугам поглинання хлорофілу, то фотосинтез взагалі припиниться. Сонячній радіації належить визначальна роль у процесах фотосинтезу і без цієї складової оцінювання мас продуктів фотосинтезу є неповними.

У наших попередніх роботах енергію сонячної радіації використано для встановлення окремих фрагментів продуктів фотосинтезу: фітомаси (Вайданич В., Вайданич Т., 2008; Вайданич В., Довга, Вайданич, Т., 2008); зв'язаного в процесі фотосинтезу атмосферного вуглекислого газу і депонованого вуглецю (Вайданич та ін., 2008); продуктового кисню (Вайданич та ін., 2012). Встановлено, що маси всіх продуктів фотосинтезу прямо пропорційні енергії сонячної радіації, що дає підстави щодо їхнього узагальнення. Фрагментарне, покрокове визначення мас продуктів фотосинтезу створює труднощі в їх вимірюванні, розбалансованості

і, головне, складності і навіть неможливості повного аналізу отриманих результатів.

З огляду на те, що енергія сонячної радіації відіграє домінуючу роль у процесі фотосинтезу, *актуальним завданням* є встановлення зв'язку між величиною цієї енергії, що поступає в деревостан і масами продуктів фотосинтезу, які утворюються у цьому процесі. Важливим є і те, що існуючі методи вимірювання мас продуктів фотосинтезу є непрямыми.

Мета роботи – обґрунтувати засади комплексного прямого визначення мас продуктів фотосинтезу за квантами енергії сонячної радіації впродовж вегетаційного періоду або іншого проміжку часу.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – процес фотосинтезу у природних екосистемах. *Предмет досліджень* – встановлення залежності маси продуктів фотосинтезу (фітомаси, продуктового кисню, фотосинтетично зв'язаного вуглекислого газу, депонованого вуглецю та затраченої на процес фотосинтезу води) від величини енергії сонячної радіації.

Для загального розгляду запропоновано повністю зімкнутий однорідний деревостан без аналізу його продуктивності, віку насаджень, деревних видів, характеристики ґрунту тощо. Ці величини потрібно визначати експериментально додатково.

Використано прямий квантово-оптичний метод знаходження мас продуктів фотосинтезу, який започатковано для визначення фітомаси деревостану (Вайданич В., Вайданич Т., 2008) і не передбачає використання лісівничо-таксаційних показників деревостанів, таких як середній діаметр, висота та вік, продуктивність (клас бонітету), об'єм крони та інші. Метод враховує як надземну, так і підземну частини деревостану і ґрунтується на тому, що енергія сонячної радіації поділяється на окремі кванти енергії – фотони, які поглинає хлорофіл з утворенням молекул клітковини. Маса останніх пропорційна кількості поглинутих фотонів, тобто падаючій на деревостан енергії сонячної радіації. Не всі фотони зумовлюють реакцію фотосинтезу. Для цього введено коефіцієнт квантової ефективності.

Результати (Results).

Для знаходження мас продуктів фотосинтезу використаємо алгоритм, наведений у роботі В. Вайданич, Т. Вайданич (2008). Рівняння фотосинтезу (1) лінійне, всі складові одно-молекулярні. Тому кількість вхідних і вихідних молекул однакова. Вуглекислий газ, вступаючи в фотохімічну реакцію з водою під дією квантів світла, призводить до утворення такої ж кількості елементарних молекул клітковини і молекул вільного кисню. Позаяк це єдиний процес, тому маси вихідних, а відтак і вхідних, продуктів фотосинтезу пропорційно залежать від енергії сонячної радіації. Не кожен поглинутий фотон здатний до утворення молекул клітковини і кисню, його енергії у такому разі недостатньо. Встановлено, що в процесі фотосинтезу

на перетворення однієї молекули вуглекислого газу у молекулу вуглеводню (клітковину) і молекулу кисню потрібно затратити 8-12 фотонів (квантів світла) (Giancoli, 1984; Микрушин та ін., 2006), які утворюють пакет фотонів n . Прийmemo усереднене значення цієї величини: $n = 10$. Таким чином, для знаходження маси вибраного продукту фотосинтезу потрібно у затраченій енергії сонячної радіації знайти кількість пакетів фотонів, які забезпечують фотосинтез, і пов'язати їх з кількістю синтезованих молекул продукту фотосинтезу.

Число фотосинтетично зв'язаних молекул продуктів фотосинтезу становить:

$$N_{mol} = N \cdot B, \quad (2)$$

де N – кількість пакетів фотонів (по 10 фотонів у пакеті), що беруть участь у реакції фотосинтезу; B – коефіцієнт, що визначає квантову ефективність процесів фотосинтезу. Для деревостанів $B = 0,05$ (Кучерявий, 2001).

Масу фотосинтетично утвореного продукту фотосинтезу m визначимо через молярну масу:

$$m_i = \frac{\mu_i \cdot N_{mol}}{N_A} = \frac{\mu_i \cdot N \cdot B}{N_A}, \quad (3)$$

де μ_i – молярна маса розглядуваного продукту; $i = 1, 2, 3, 4, 5$; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23}$ моль⁻¹ – стала Авогадро.

Кількість пакетів фотонів, які беруть участь у процесах фотосинтезу, знайдемо через загальне число фотонів:

$$N = N' / n,$$

де N' – загальне число фотонів енергії сонячної радіації.

Ні вуглекислий газ, ні вода безпосередньо не поглинають світло. Посередником у взаємодії цих молекул з квантами енергії сонячної радіації слугує хлорофіл, в якому протікають винятково складні біохімічні перетворення. Хлорофіл поглинає фотони в ділянці видимого спектра випромінювання сонячної енергії 400-700 нм, яка отримала назву фотосинтетично активної радіації (ΦAP , PAR) з максимумами поглинання хлорофілу $\lambda_b = 440$ нм – у синій ділянці видимого спектра і $\lambda_r = 660$ нм – у червоній ділянці (Микрушин та ін., 2006). Максимальне значення поглинання хлорофілом та інтенсивність фотосинтезу спостерігається під час освітлення червоним світлом (Бессонова, Яковлева-Носарь, 2004). У подальшому обмежимося червоною довжиною хвилі. Тому загальна кількість фотонів ΦAP , що надійшла на ділянку деревостану впродовж вегетаційного періоду, становить:

$$N' = \frac{W}{h\nu},$$

звідки

$$N = \frac{W}{h\nu \cdot n} = \frac{\lambda \cdot W}{hc \cdot n}, \quad (4)$$

де W – сумарна енергія ΦAP , що відповідає усередненій температурі вегетації рослин $T \geq 5$ °C; ν та λ – відповідно, частота і довжина хвилі поглинання хлорофілом червоного світла; c – швидкість світла; $h = 6,626 \cdot 10^{-34}$ (Джс · с) – стала Планка.

Остаточно для маси нагромадженого зімкненим деревостаном продукту фотосинтезу отримаємо вираз:

$$m_i = \frac{\mu_i \cdot B \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot n \cdot N_A} \cdot W = \mu_i \cdot A \cdot W, \quad (5)$$

де $A = \frac{B \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot n \cdot N_A}$ – стала величина.

Відтак, маса будь якого продукту фотосинтезу залежить лише від його молярної маси та величини енергії ΦAP , що надійшла на досліджувану ділянку деревостану впродовж вегетаційного періоду.

Якщо ввести в коефіцієнт A необхідні величини: $B = 0,05$ (на процеси фотосинтезу використовується близько 5% сонячної енергії (Кучерявий, 2001), $\lambda = 660$ нм та інші відомі величини, то отримаємо: $A = 11,031 \cdot 10^{-9}$ моль/Джс.

Введемо позначення:

$i = 1$; $m_1 = m_f$; $\mu_1 = \mu_f$ – фітомаса, нагромаджена деревостаном впродовж вегетаційного періоду та її молярна вага;

$i = 2$; $m_2 = m_0$; $\mu_2 = \mu_0$ – маса утвореного в результаті фотосинтезу кисню та його молярна вага;

$i = 3$; $m_3 = m_c$; $\mu_3 = \mu_c$ – маса зв'язаного деревостаном атмосферного вуглекислого газу та його молярна вага;

$i = 4$; $m_4 = m_w$; $\mu_4 = \mu_w$ – маса зв'язаної деревостаном внаслідок фотосинтезу води та її молярна вага.

Підставивши у вираз (5) почергово відповідні молярні маси та значення сталої величини A , отримаємо зручні вирази для знаходження продуктів фотосинтезу деревостанів:

$$\begin{aligned} m_f &= 0,331 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Джс}; \\ m_0 &= 0,353 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Джс}; \\ m_c &= 0,485 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Джс}; \\ m_w &= 0,199 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Джс}. \end{aligned} \quad (6)$$

Оскільки поряд з клітковиною виділяється кисень, то з вуглекислого газу як з вхідного продукту, залишається вуглець, який депонується (вуглецевий стік) у сухій деревині і вилучається з атмосфери. Таким чином, зменшується його згубна дія на довкілля і зміну клімату. Масу депонованого вуглецю m_{cs} виразимо через фітомасу m_f , а в кінцевому підсумку теж через енергію сонячної радіації W :

$$m_5 = m_{cs} = \frac{\mu_c \cdot m_f}{\mu_f} = 0,4 \cdot m_f = 0,132 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг/Джс}. \quad (7)$$

Зауважимо, що вираз (7), як і попередній (6), отримані з розрахунку на один гектар продукту за один рік. Маса депонованого вуглецю, як і кожного з продуктів фотосинтезу, на всіх залісених площах вибраного регіону становить:

$$M_i = m_i \sum_{j=1}^n \Delta S_j, \quad (8)$$

де ΔS_j – площі залісених ділянок.

Дискусія (Discussion).

У таблиці наведено порівняльні результати отриманих нами теоретичних розрахунків параметрів

продуктів фотосинтезу за виразами (6), (7) і даними літературних джерел, отриманих традиційними методами. Загалом теоретичні розрахунки співмірні з наведеними експериментальними результатами. Розходження у визначенні фітомаси деревостанів пояснюються тим, що в наведених експериментах з визначення фітомаси врахована лише надземна частина деревостану без урахування підземної частини і мортмаси. Коренева фітомаса може становити 20,3% від загальної фітомаси деревостану, а мортмаса – понад 10% від загального запасу біомаси (Василишин та ін., 2021).

Таблиця. Порівняльні результати теоретичних розрахунків мас продуктів фотосинтезу деревостанів з літературними джерелами, $m/(га \cdot рік)$

Table. Comparison of the results of theoretical calculations of the masses of photosynthesis products of forest stands with literary sources, $t/(ha \cdot year)$

Регіон (деревостан, бонітет)	Вік, років	W $T \geq 5^\circ C$ $\times 10^{12}$, Дж/га	Фітомаса, m_f		Кисень, m_o		Вода, m_w		Вуглекислий газ, m_c		Депонований вуглець, m_{cs}	
			За джерелами	За виразами (6)	За джерелами	За виразами (6)	За джерелами	За виразами (6)	За джерелами	За виразами (6)	За джерелами	За виразами (7)
Единбург	–	12,09* (a)	3,99* (a)	4,00	–	4,27	–	2,41	–	5,86	1,80 (a)	1,60
Ковель	80	15,22 (b)	3,22 (e)	5,04	–	5,37	–	3,03	–	7,38	–	2,01
Українські Карпати (повні ялицеві насадження, II)	40 50 60 70 80	16, 50 (b)	–	5,46	8,20 7,42 6,31 5,21 4,28 (i)	5,82	–	3, 28	–	8,00	2,85 2,58 2,20 1,83 1,49 (i)	2,18
Поділля (деревостан дуба звичайного, I ^{a0})	40 50 60 70 80	16,58 (c)	4,78 4,69 4,53 4,32 4,09 (f)	5,49	–	5,85	–	3,30	8,04 (f)	8,04	–	2,64 2,58 2,48 2,35 2,22 (f)
Західне Розточчя (сосново-буковий деревостан, I ^a)	50	16,75 (b)	4,53 (g)	5,54	9,0	5,94	–	3,33	3,33 (g)	8,12	–	2,22
Південно-західна частина Поділля (грабово-буковий деревостан, I)	50	17,35 (b)	5,74 (g)	7,5	6,12	6,12	–	3,45	3,45 (g)	8,41	–	2,30
Берегово (листяні ліси Карпат)	100	17,93 (d)	5,08= 5,63	5,93	–	6,33	–	3,57	3,57	–	–	2,37

Примітки. * – енергія ФАР та маси продуктів фотосинтезу деревостанів, розраховані традиційними методами, використані з таких джерел: а – Matthews (1993); b, c – Галік, Басюк (2014); d – Вайданич В., Вайданич Т. (2008); e – Лакида (2002); f – Лакида, Лашенко А., Лашенко Н. (2006); g – Миклуш (2011); i – Василишин (2013).

Нагромаджена фітомаса також залежить від віку (Лакида та ін., 2013), деревних видів (Vasylyshyn, Lakyda, 2021; Myroniuk et al., 2022; Vasylyshyn et al., 2023), густоти насаджень (Лакида та ін., 2013; Zibtsev et al., 2024), лісорослинних, кліматичних (Vasylyshyn, Lakyda, 2021) та інших умов, що не враховано у теоретичних розрахунках. У цьому разі потрібно вводити додаткові експериментально визначені корегувальні коефіцієнти. Відсутність експериментальних даних із затрат води для фотосинтезу рослин пояснюється як труднощами її вимірювання, так і складністю процесів фотосинтезу. Вода в клітині існує у формі лінійно зв'язаної та гідратаційної, і води, що виконує транспортні функції у рослині. Лише перша з них бере участь у реакціях фотосинтезу і витрачається для продукування сухої фітомаси з утворенням кисню. Останні дві після поглинання рослиною видаляються шляхом транспірації. Середній розхід транспірації води з нагромадженням 1 г сухої фітомаси у деяких деревних видів становить: для дуба – 340, берези – 320, смереки – 230, бука – 170 г (Larcher, 2003).

Сільськогосподарські культури ще більш затратні. Так, на утворення 1 г сухої фітомаси кукурудза потребує 200-400 г води, а соняшник – 600-1000 г (Микрушин та ін., 2006). У середньому на синтез 1 г сухої речовини деревостану витрачається близько 300 г води, або лише 0,2% всієї води, що проходить крізь тіло рослини, решту 99,8% вона випаровує (Томільцева, Яцик, Мокін, 2007). Для утворення 1 тонни сухої фітомаси лісові насадження потребують в середньому від 200 (хвойні види) до 1000 тонн (листяні) води. Вологолюбні деревні види використовують води ще більше. Розхід води залежить від деревного виду, кліматичних умов, віку насаджень, типу ґрунту (Бессонова, Яковлева-Носарь, 2004). Хоча на синтез сухої продукції лісу витрачається в сотні разів менше води, ніж на транспірацію, без останньої розвиток рослини, а відтак і фотосинтез – неможливі.

Наведені у таблиці результати киснепродукційної функції повних ялицевих насаджень Українських Карпат отримані шляхом перерахунку приросту сухої фітомаси з урахуванням молярної ваги кисню. Маса депонованого вуглецю розраховано також через фітомасу з використанням відповідних перевідних коефіцієнтів: 0,5 – для деревних фракцій і 0,45 – для листя і нижніх ярусів (Василишин, 2013). Чітко простежується вплив деревних видів і віку деревостанів на отримані результати. Максимальну відповідність розрахункових та експериментальних даних спостережено для вікових груп 60-70 років.

Незважаючи на розбіжності у встановленні фітомаси за квантами енергії сонячної радіації та експериментальними методами, спостерігається задовільна кореляція показників з визначення фотосинтетично зв'язаного вуглекислого газу та депонованого вуглецю.

Визначимо коефіцієнт корисної дії процесів фотосинтезу (η). Зазначалося, що на перетворення однієї молекули CO_2 в молекулу клітковини з утворенням молекули кисню потрібно затратити в середньому $n = 10$ фотонів. Найбільше значення поглинання хлорофілу та інтенсивності фотосинтезу спостерігається з довжиною хвилі $\lambda = 660$ нм (Микрушин та ін., 2006). Затрачена енергія десяти фотонів становить:

$$w_2 = n \cdot h\nu = n \frac{h \cdot c}{\lambda}.$$

Провівши розрахунки з відомими величинами, отримаємо:

$$w_2 = 3,01 \cdot 10^{-8} \text{ Дж} = 18,81 \text{ eB}.$$

Зворотна хімічна реакція характеризується виділенням енергії $w_2 = 4,9 \text{ eB}$ на одну молекулу CO_2 (Giancoli, 1984). Тому для коефіцієнта корисної дії фотосинтезу, отримаємо:

$$\eta = \frac{w_1}{w_2} \cdot 100 \% = 26,0 \%$$

Реальний коефіцієнт корисної дії значно менший. Навіть якщо припустити, що у фотосинтезі приймає участь також синя ділянка спектра поглинання хлорофілу і провести ті ж розрахунки, то хоча цей коефіцієнт зменшиться, але все ж він буде більшим від реального. Це означає, що переважна частина енергії фотонів витрачається на забезпечення перебігу біохімічних перетворень і лише незначна частина витрачається на утворення продуктів фотосинтезу.

Запропонований метод визначення маси фотосинтетично зв'язаного впродовж року атмосферою вуглекислого газу за квантами енергії ФАР (вирази 6, 7) дає змогу запровадити дієвий спосіб здійснення моніторингу за станом рівня забрудненості конкретного регіону промисловими викидами вуглекислого газу. Порівнюючи масу фотосинтетично зв'язаного впродовж року атмосферного вуглекислого газу розглядуваного регіону m_c з масою промислових викидів цього газу m_e :

$$\Delta m_{ce} = m_c - m_e = 0,485 \cdot 10^{-9} \cdot W \text{ кг} / \text{Дж} - m_e, \quad (9)$$

можна, залежно від отриманих результатів ($\Delta m_{cs} \geq 0$; $\Delta m_{cs} < 0$), приймати відповідні заходи з недопущення згубної дії на довкілля надлишкових промислових викидів вуглекислого газу

Енергію ФАР та продукти фотосинтезу можна визначати як в автоматизованому режимі, так і без нього. Отримані теоретичні залежності застосуються для знаходження складових фотосинтезу деревостану лісів Львівської області. Для цього скористаємось виразами (6, 7). У середньому по області величину ФАР візьмемо на рівні регіону Розточчя $W = 16,75 \cdot 10^{12} \text{ Дж/(га} \cdot \text{рік)}$ (див. таблицю), що збігається з значенням на ізофарі¹ для Львівщини (Галік, Басюк, 2014). Площа лісів Львівської

¹ ізофара – лінія на поверхні Землі з однаковою енергією ФАР.

області становить 629,086 тис. га (<https://w.forest.gov.ua/>). Провівши розрахунки, отримаємо:

$$\begin{aligned} m_f &= 3851,04 \text{ тис. тонн}; m_e = 5642,76 \text{ тис. тонн}; \\ m_{cs} &= 1390,91 \text{ тис. тонн}; m_o = 3719,63 \text{ тис. тонн}; \\ m_w &= 2096,90 \text{ тис. тонн}. \end{aligned}$$

Результати отримані для повністю зімкнених деревостанів з урахуванням їхньої підземної частини. Щорічний приріст фітомаси лісів Львівської області за 2006 рік становив 1264,9 тис. тонн, а депонованого вуглецю – 206,7 тис. тонн (Василишин, Домашовець, 2008). Встановлені нами значення помітно вищі: $m_f = 3851,04$ тис. тонн і $m_{cs} = 1390,91$ тис. тонн. З урахуванням стану зімкненості деревостану і корневих систем у ньому, можливої зміни площі лісів, теоретичні розрахунки продуктів фотосинтезу стануть ближчими до традиційно визначених. Для точнішого врахування енергії ΦAP доцільно поєднувати встановлення радіометра над наметом і під наметом деревостану. Різниця між значеннями дасть додаткову інформацію про поглинуту енергію кронами дерев. Поряд з цим, теоретичні дані вказують на значний потенціал приросту фітомаси.

На сьогодні відсутні дані з визначення затрат води на суто реакцію фотосинтезу. Виведені теоретичні розрахунки процесів фотосинтезу вперше дали змогу встановити реальні потреби води для нагромадження фітомаси, які для лісів Львівщини становлять $m_w = 2096,90$ тис. тонн, і разом із затратами води на транспірацію дають можливість раціонального лісгосподарювання, зокрема і в регіонах з дефіцитом водних ресурсів.

Продуктування фітомаси в результаті фотосинтезу супроводжується виділенням молекулярного кисню. Киснепродуктивність перевищує продуктування фітомаси і поступається лише вуглецепродуктивності, що видно з величин коефіцієнтів A_i (вираз 6).

Киснепродуктивність залежить від видового складу деревостанів (Миклуш, 2011), віку насаджень (Миклуш, 2011; Василишин, 2013), класу бонітету (Василишин, 2013). Зокрема, за середньої інтенсивності енергії ΦAP для Українських Карпат $W = 16,5 \cdot 10^{12}$ Дж/(га рік), визначена за виразом (6) киснепродуктивність становить $m_o = 5,82$ т/га. Така киснепродуктивність характерна для повних ялицевих насаджень Українських Карпат віком 70 років I класу і 40 років – IV класу бонітету (Василишин, 2013). Зі зменшенням віку киснепродуктивність зростає, із збільшенням – зменшується. Наші результати відповідають усередненим даним. На завершення відзначимо, що за нашими підрахунками ліси Львівщини впродовж вегетаційного періоду продукують до 3719,63 тис. тонн кисню. Якщо перевести його в об'єм повітря за нормальних умов враховуючи, що у повітрі міститься 20,1% кисню, то отримаємо величину $V = 1,301 \cdot 10^9$ м³. За отриманим результатом можна стверджувати, що ліс представляє собою гігантську фабрику кисню.

Порівняємо масу фотосинтетично зв'язаного атмосферного вуглекислого газу лісами Львівщини з промисловими викидами цього газу. За даними Управління статистики у Львівській області, у 2021 р. викиди вуглекислого газу в атмосферу повітря стаціонарними джерелами склали $m_e = 3126,0$ тис. тонн (Регіональна доповідь..., <https://www.lv.ukrstat.gov.ua/>), що суттєво менше ніж m_{cs} . Ліси Львівщини можуть бути донорами чистого повітря для сусідніх областей, адже Львівщина – одна із найбільш лісистих областей України (Державна цільова програма..., <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/977-2009-n>).

Нагромадження фітомаси відбувається також і завдяки вирощуванню сільськогосподарських культур. Так, фітомаса злакових культур може змінюватися від 2 до 10 тонн на 1 га, що відповідає 0,2-1 кг/м² (Камінський, Асанішвілі, 2020). Зокрема, фітомаса озимих зернових культур Південного степу з внесенням добрив становить в межах 0,493-0,518 кг/м² (Drobitko, Kachanova, 2023). У той же час фітомаса рівнинних букових насаджень у свіжих дубово-грабових бучинах становить приблизно 25,6 кг/м² (Миклуш С., Миклуш Ю., 2009). Тому хоча площа сільськогосподарських земель становить 41,3 млн га (Державної служби України..., <https://land.gov.ua/>) проти 10,4 млн га зайнятих лісами, вклад перших у загальну фітомасу та інші складові фотосинтезу незначний.

Викладені теоретичні засади квантово-оптичного методу визначення мас продуктів фотосинтезу деревостанів вимагають подальшого розвитку та удосконалення. Актуальним завданням залишається з'ясування величини коефіцієнта квантової ефективності процесів фотосинтезу B для різних деревних видів, встановлення коефіцієнту зімкненості деревостану та інших кореляційних коефіцієнтів.

Лінійна залежність мас продуктів фотосинтезу деревостану від надходження енергії ΦAP дає змогу автоматизувати процес і вимірювати одночасно маси усіх продуктів фотосинтезу. Поєднання квантово-оптичного методу з комп'ютерною програмою і використання даних, отриманих від безпілотних літальних апаратів, спростить встановлення кореляційних коефіцієнтів, дасть змогу вчасно виявляти зміни у лісовій екосистемі, зумовлені зміною клімату чи людською діяльністю, і приймати відповідні рішення щодо подальшої стратегії управління лісами.

Висновки (Conclusions).

1. Запропонований комплексний прямий квантово-оптичний метод одночасного визначення мас продуктів фотосинтезу деревостану за квантами енергії сонячної радіації не передбачає використання лісівничо-таксаційних показників деревостану – середніх діаметра і висоти стовбура, віку, продуктивності (класу бонітету), об'єму крони тощо. Враховує як надземну, так і підземну частину деревостану.

2. Встановлено, що синтез молекул клітковини і нагромадження фітомаси забезпечують пакети

фотонів – квантів світла, що поглинаються хлорофілом у червоній ділянці оптичного спектра з довжиною хвилі 660 нм.

3. Отримана лінійна залежність мас продуктів фотосинтезу деревостанів від енергії ΦAP : $m_i = \mu_i \cdot A \cdot W$, де A – характерний коефіцієнт. На засадах квантової оптики визначене значення коефіцієнта A , яке становить $11,031 \cdot 10^{-9}$ моль/Дж.

4. Розраховані за отриманими теоретичними співвідношеннями маси продуктів фотосинтезу лісів Львівської області становлять: фітомаса – 3851,04 тис. тонн, депонований вуглець – 5642,76 тис. тонн, фотосинтетично зв'язаний атмосферний вуглекислий газ – 1390,91 тис. тонн та виділений кисень – 3719,63 тис. тонн. Реальна затрата води на продукування фітомаси становить 2096,90 тис. тонн. Теоретичні розрахунки задовільно співвідносяться з літературними даними, визначеними традиційними методами.

5. Лінійна залежність мас продуктів фотосинтезу від надходження енергії ΦAP дає змогу автоматизувати процес і вимірювати одночасно маси усіх продуктів фотосинтезу.

6. Застосування запропонованого методу в автоматизованій комп'ютерній системі дасть змогу для конкретного деревостану вчасно виявляти хвороби лісу, вплив зміни клімату та людської діяльності, вчасно вносити зміни у стратегію сталого управління лісами.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Bessonova, V.P., & Yakovleva-Nosar, S.O. (2004). *Plant Physiology*. Dnipropetrovsk: Svidler, A.L. Retrieved from <https://dspace.dsau.dp.ua/handle/123456789/10162>. [Бессонова, В.П., Яковлева-Носар, С.О. (2004). *Фізіологія рослин*. Дніпропетровськ: Свідлер, А.Л.] (in Ukrainian)
- Brown, S. (1989). Biomass Estimation Methods for Tropical Forests with Applications to Forest Inventory Data. *Forest Science*, 35(4), 881-902. <https://doi.org/10.1093/forestscience/35.4.881>
- Chaskovskyi, O.H., Myklush, Yu.S., Kummerle, T., & Pontus, O. (2016). Carbon balance of natural complexes in Western Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(1), 16-29. <https://doi.org/10.15421/40260102> [Часковський, О.Г., Миклуш, Ю.С., Кюмерле, Т., Понтус, О. (2016). Вуглецевий баланс природних комплексів Західної України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(1), 16-29] (in Ukrainian)
- Constandache, C., Tudor, C., Vlad, R., Dinca, L., & Popovici, L. (2021). The productivity of pine stands on degraded lands. *Scientific Papers E. Land Reclamation, Earth Observation @ Surveying. Environmental Engineering*, 10, 76-84. <https://landreclamationjournal.usamv.ro/pdf/2021/Art11.pdf>
- Dengsheng, L. (2006). The Potential and Challenge of Remote Sensing-Based Biomass Estimation. *International Journal of Remote Sensing*, 27(7), 1297-1328. <https://doi.org/10.1080/01431160500486732>.
- Dixon, K.K., Brown, S., Houghton, R.A., Solomon, A.M., Trexler, M.C., & Wisniewski, J. (1994). Carbon Pools and Flux of Global Forest Ecosystems. *February 1 Science*, 263(5144), 185-190. <https://doi.org/10.1126/science.263.5144.185>
- Drobitko, A., & Kachanova, T. (2023). Agroecological substantiation of technologies for growing grain crops in the conditions of the Southern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 27(4), 9-17. <https://doi.org/10.56407/bs.agrarian/4.2023.09>
- Giancoli, D.C. (1984). *General Physics*. V 2. Prentice Hall, Inc.
- Gwal, S., Singh, S. & Amand, S. (2020). Understanding forest biomass and net primary productivity in Himalayan ecosystem using geospatial approach. *Modeling Earth Systems and Environment*, 6(4), 2517-2534. <https://doi.org/10.1007/s40808-020-00844-4>
- Halik, O.I., & Basiuk, T.O. (2014). *Climatic Reference Data of Ukraine*. Rivne: National University of Water and Environmental Engineering. [Галік, О.І., Басюк, Т.О. (2014). *Довідкові дані з клімату України*. Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування] (in Ukrainian)
- Kaminskyi, V.F., & Asanishvili, N.M. (2020). Features of maize growth and development in crops and their photosynthetic activity depending on cultivation technology in forest-steppe conditions. *Foothill and Mountain Agriculture and Animal Husbandry*, 67(11), 92. <https://phzt-journal.isgkr.com.ua>. <https://doi.org/10.32636/01308521.2020-2-6>. [Камінський, В.Ф., Асанішвілі, Н.М. (2020). Особливості росту і розвитку рослин кукурудзи у посівах та їх фотосинтетична діяльність залежно від технології вирощування в умовах Лісостепу. *Передгірне та гірське землеробство і тваринництво*, 67(11), 92] (in Ukrainian)
- Kucheriavyi, V.P. (2001). *Ecology*. Lviv: Svit. [Кучерявий, В.П. (2001). *Екологія*. Львів: Світ. 512 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I. (2002). *Phytomass of the Forests of Ukraine*. Ternopil: Zbruch. [Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч. 282 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Lashchenko, A.H., & Lashchenko, N.M. (2006). *Biological Productivity of Oak Stands in Podillia*. Kyiv: National Scientific Center "Institute of Agrarian Economics" [Лакида, П.І., Лашченко, А.Г., Лашченко, Н.М. (2006). *Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля*. Київ: Національний науковий центр «Інститут аграрної економіки». 278 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Shvidenko, A.Z., Shchepashchenko, D.H., Vasylyshyn, R.D., Bilous, A.M., Lakyda, I.P., & Matusevych, L.M. (2013). Biotic productivity of forests of Ukraine in the European eco-

- resource context. *Bioresources and Nature Management*, 5(5-6), 111-116. [Лакида, П.І., Швиденко, А.З., Щепашенко, Д.Г., Василишин, Р.Д., Білоус, А.М., Лакида, І.П., Матусевич, Л.М. (2013). Біотична продуктивність лісів України в європейському екоресурсному вимірі. *Біоресурси і природокористування*, 5(5-6), 111-116] (in Ukrainian)
- Larcher, W. (2003). *Plant Ecology*. Berlin: Springer. <https://doi.org/10.1093/aob/mch084> https://www.researchgate.net/publication/31113128_h_edn
- Matthews, G. (1993) *The Carbon Content of Trees*. Forestry Commission. Tech. Paper 4. Edinburgh.
- Moroz, V. (2024). Bioproductivity of pine forests in Polissia. *Scientific Reports of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 20(5), 120-134. <https://doi.org/10.31548/dopovid/5.2024.120> [Мороз, В. (2024). Біопродуктивність соснових лісів Полісся. *Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 20(5), 120-134] (in Ukrainian)
- Myklush, S.I. (2011). *Plain Beech Forests of Ukraine: Productivity and Sustainable Management Organization*. Lviv: ZUKTs. [Миклуш, С.І. (2011). *Рівнинні букові ліси України: продуктивність та організація сталого господарства*. Львів: ЗУКЦ. 188 с.] (in Ukrainian)
- Myklush, S.I., & Myklush, Yu.S. (2009). General phytomass of plain beech forests of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 19(4), 16-21. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_4/16_Myklusz_19_4.pdf [Миклуш, С.І., Миклуш, Ю.С. (2009). Загальна фітомаса рівнинних букових насаджень України. Львів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 19(4), 16-21] (in Ukrainian)
- Myklush, S., Myklush, Yu., Debryniuk, Iu., & Prystupa, R. (2024). Change in the productivity of stands of the spruce (*Picea abies* L.) mountain Carpathian forests district over a 70-year period. *Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry*, 66(2), 61-71. <https://doi.org/10.2478/ffp-0006>
- Mykrushyn, M.M., Mykrushyna, Ye.M., Peterson, M.N., & Melnikov, M.M. (2006). *Plant Physiology*. Vinnytsia: New book. [Микрушин, М.М., Микрушина, Є.М., Петерсон, М.Н., Мельников, М.М. (2006). *Фізіологія рослин*. Вінниця: Нова книга. 424 с.] (in Ukrainian)
- Myroniuk, V., Bell, D.M., Gregory, M.J., Vasylyshyn, R. & Bilous, A. (2022). Uncovering forest dynamics using historical forest inventory data and Landsat time series. *Forest Ecology and Management*, 513, 120184. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120184>
- Official website of Lviv Regional Department of Forestry and Hunting. <https://lvivlis.gov.ua> [Офіційний сайт Львівського обласного управління лісового і мисливського господарства. <https://lvivlis.gov.ua>] (in Ukrainian)
- Regional Report on the State of the Environment in Lviv Oblast for 2021. Main Department of Statistics in Lviv Oblast. <https://www.lv.ukrstat.gov.ua>. [Регіональна доповідь про стан навколишнього природного середовища у Львівській області за 2021 р. Головне управління статистики у Львівській області] (in Ukrainian)
- State Service of Ukraine for Geodesy, Cartography, and Cadastre. <https://land.gov.ua/> [Державна служба України з питань геодезії, картографії та кадастру] (in Ukrainian)
- State Targeted Program of Forest of Ukraine for 2002-2015. №977 : 25. <https://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/977-2009-п> [Державна цільова програма Ліси України на 2002-2015 рр: затверджено Постановою Кабінету міністрів України від 16.09.2009 р. №977] (in Ukraine)
- Sytnyk, S., Lakuda, M., Lakuda, V., & Lakuda, P. (2018). Basic density and crown parameters of forest forming species within Steppe zone in Ukraine. *Folia Ecologica*, 45(2), 82-91. <https://www.researchgate.net/>. Publication/330677342. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0009>
- Tomiltseva, A.I., Yatsyk, A.V., & Mokin, V.B. (2007). *Ecological Principles of Water Resources Management*. Kyiv: Institute of Ecological Management and Sustainable Nature Use. [Томільцева, А.І., Яцик, А.В., Мокін, В.Б. (2007). *Екологічні основи управління водними ресурсами*. Київ: Інститут екологічного управління та збалансованого природокористування] (in Ukrainian)
- Vaidanych, V.I., & Vaidanych, T.V. (2008). Quantum approach to determining the increase of phytomass in forest stands. *Forestry, Pulp and Paper, and Wood Processing Industry: Interdepartmental Scientific and Technical Bulletin*, 34, 10-17. [Вайданич, В.І., Вайданич, Т.В. (2008). Квантовий підхід до визначення приросту фітомаси деревостанів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 34, 10-17] (in Ukrainian)
- Vaidanych, V.I., Deineka, A.M., Myklush, S.I., Krynytskyi, H.T., Dovha, N.D., & Vaidanych, T.V. (2012). Application of the quantum approach to determine the photosynthesized CO₂ sink, sequestered carbon and produced oxygen in forest stands. *Forestry, Pulp and Paper, and Wood Processing Industry: Interdepartmental Scientific and Technical Bulletin*, 38, 6-15. [Вайданич, В.І., Дейнека, А.М., Миклуш, С.І., Криницький, Г.Т., Довга, Н.Д., Вайданич, Т.В. (2012). Застосування квантового підходу для визначення фотосинтетично зв'язаного вуглекислого газу, депонованого вуглецю та продукovanого деревостаном кисню. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 38, 6-15] (in Ukrainian)
- Vaidanych, V.I., Dovha, N.D., & Vaidanych, T.V. (2008). On estimating the accumulated phytomass of plants through solar radiation energy. *Bulletin of Ternopil State Technical University*, (3), 183-187. [Вайданич, В.І., Довга, Н.Д., Вайданич, Т.В. (2008). Про оцінку накопиченої фітомаси рослин за енергією

- сонячної радіації. *Вісник Тернопільського державного технічного університету*, 3, 183-187] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D. (2013). Carbon sequestration and oxygen production functions of fir stands in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(9), 347-351. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_9/index.htm [Василишин, Р.Д. (2013). Вуглецедепонувальна та киснепродукувальна функції повних ялицевих насаджень Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(9), 347-351] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D., & Domashovets, H.S. (2008). Phytomass and sequestered carbon in forests of Lviv Oblast in the context of forest-vegetation zoning. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 18(3), 50-58. Retrieved from <https://www.research.not/publication/330854122> [Василишин, Р.Д., Домашовець, Г.С. (2008). Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18(3), 50-58] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D., Lakyda, I.P., Melnyk, O.M., Lakyda, M.O., & Rymarenko, Yu.P. (2021). Organic carbon in forest plant biomass in Kyivshchyna. *Ukrainian Journal of Forests and Wood Science*, 12(3), 63-71. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.005> [Василишин, Р.Д., Лакида, І.П., Мельник, О.М., Лакида, М.О., Римаренко, Ю.П. (2021). Органічний вуглець у рослинній біомасі лісів Київщини. *Ukrainian journal of Forests and Wood science*, 12(3), 63-71] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D., Lakyda, I.P., Vasylyshyn, I.O., & Dyachuk, V.P. (2021). Features of primary production formation in forests of the Carpathian NNP under different site conditions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 121-129. <https://doi.org/10.15421/412110> [Василишин, Р.Д., Лакида, І.П., Василишин, І.О., Дячук, В.П. (2021). Особливості формування первинної продукції лісів Карпатського НПП у різних лісорослинних умовах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 121-129] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D., & Lakyda, I.P. (2021). *Biomass and primary production of Europeanbeech (Fagus sylvatica L.) stands in Ukrainian Carpathians*. New impulses for the development of natural sciences in Ukraine and EU countries: Collective monograph. Riga, Latvia: Baltija Publishing, 1-28. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-141-1-1>
- Vasylyshyn, R.D., & Yurchuk, Yu.M. (2021). *Bio-productivity of forests in Zhytomyr region*. Achievements of Ukraine and the EU in ecology, biology, chemistry, geography and agricultural sciences: Collective monograph. Vol. 1. Latvia: Baltija Publishing. <https://doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-4>
- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Soshenskyi, O., Lakyda, M., Melnyk, O., & Slusarchuk, V. (2022). Environmentally balanced preconditions for use of logging residues in forests of Ukrainian Carpathians for energy production. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1042 (012009), <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1042/1/012009>
- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Spirochkin, A., Lakyda, M., Vasylyshyn, O., & Terentiev, A. (2023). Biomass potential of forest residues in forests of Ukrainian Carpathians as a component of regional green economy. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 1254(1), 012096. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/1254/1/012096>
- Yude Pan, Richard A. Birdsey, Oliver L. Philips, & Robert B. Jackson (2013). The structure distribution and biomass of the worlds forests. *Annual Review of Ecology and Systematics*, 44(1), 593-622. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/45295>
- Zibtsev, S., Pasternak, V., Vasylyshyn, R., Myroniuk, V., Sydorenko, S., & Soshenskyi, O. (2024). Assessment of carbon emissions due to landscape fires in Ukraine during war in 2022. *Ukrainian journal of Forest and Wood Science*, 15(1), 126-139. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2024.126>

Integrated direct determination of the biomass of photosynthesis products in forest stands based on quanta of solar radiation energy

V. Vaidanych¹, A. Deineka², S. Myklush³,
I. Pirko⁴, T. Vaidanych⁵

An integrated direct quantum-optical method is proposed for determining the mass of photosynthesis products in forest stands – including phytomass,

¹ *Vasyl Vaidanych* – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Professor, Honored Worker of Education of Ukraine. Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: vasyl.vaidanych@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-1378-0791>

² *Anatoly Deineka* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Economics, Professor. Western Interregional Department of Forestry and Hunting, 8B Yavornytskyi st., Lviv, 79054, Ukraine. E-mail: andey67@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-5070-9759>

³ *Stepan Myklush* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: msi_s@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

⁴ *Igor Pirko* – PhD in Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor at the Department of Computer Sciences. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: pirko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-2378-2929>

⁵ *Tetyana Vaidanych* – Senior Lecturer, Department of Marketing and Logistics, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: vajdanych@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-9930-5310>

sequestered carbon, photosynthetically bound atmospheric carbon dioxide, released oxygen, and the volume of water consumed in phytomass production — based on the quanta of solar radiation energy. Conventional methods for assessing photosynthesis products are generally extremely labor-intensive and energy-consuming, and are primarily used to determine phytomass accumulation and sequestered carbon. Studies focused on quantifying the amount of water consumed in the process of phytomass production through photosynthesis are virtually absent. As a result, no researcher has yet succeeded in comprehensively quantifying all photosynthesis products for a given forest stand, which makes it difficult to conduct a complete ecological analysis. Moreover, the existing methods fail to utilize the fundamental driver of the photosynthesis process — solar radiation energy.

The quantum-optical method is based on the principle that the energy of solar radiation — more precisely, the energy of photosynthetically active radiation (PAR) — is divided into discrete quanta of energy, i.e. photons, which are absorbed by chlorophyll, resulting in the formation of cellulose molecules. The mass of these molecules is proportional to the number of absorbed photons, that is, to the amount of PAR energy incident on the forest stand. However, not every photon induces a photosynthesis reaction. Therefore, a quantum efficiency coefficient, B , is introduced to account for this.

It is known that the conversion of one molecule of carbon dioxide into a molecule of carbohydrate (cellulose) and a molecule of oxygen requires the absorption of 8 to 12 photons, which form a photon packet. We will use the average value of this quantity, $n = 10$. Thus, to determine the mass of a given photosynthesis product, it is necessary to calculate the number of photon packets — from the total amount of absorbed PAR energy — that contribute to the photosynthesis process, and relate this to the number of molecules produced through photosynthesis. After some straightforward mathematical operations, we obtain an expression for the masses of the respective photosynthesis products in forest stands:

$$m_i = \mu_i \cdot A \cdot W$$

where m_i — mass of the corresponding photosynthesis product (phytomass, carbon dioxide, oxygen, water), μ_i — molecular weight of the respective product, W — energy of photosynthetically active radiation (PAR),

A — a constant expressed through the quantum characteristics of photons:

$$A = \frac{B \cdot \lambda}{h \cdot c \cdot n \cdot N_A},$$

where $c = 3 \cdot 10^8 \text{ m/s}$ — speed of light; $h = 6,626 \cdot 10^{-34} \text{ Dj} \cdot \text{s}$ — Planck's constant; $n = 10$ — number of photons per photon packet; $B = 0,05\%$ — quantum efficiency of photosynthesis; $N_A = 6,02 \cdot 10^{23} \text{ mol}^{-1}$ — Avogadro's constant; $\lambda = 660 \text{ nm}$ — wavelength of red light; $(h \cdot c)/\lambda$ — energy of a photon. It is known that chlorophyll also absorbs light in the blue region of the spectrum, with a wavelength of 440 nm ; however, its contribution is relatively minor.

Since oxygen is released along with the formation of cellulose, the carbon from the carbon dioxide — the input substrate of photosynthesis — remains as residual carbon (sequestered carbon). Its mass can be expressed through the molar masses of cellulose and carbon dioxide, as well as phytomass, and ultimately, it can also be related to the energy of solar radiation.

Thus, the mass of any photosynthesis product depends only on its molar mass and the amount of PAR energy that has reached a selected area of the forest stand during the growing season or other period of time.

The established relationship between the increase in the mass of photosynthesis products and the energy of photosynthetically active radiation (PAR) has been derived for fully closed forest stands. In fact, for each forest plot, correlation coefficients must be applied to account for canopy closure degree, stand age, tree species composition, site quality class (bonitet), soil types, and other characteristics.

The linear relationship between the mass of photosynthesis products and the incoming energy of photosynthetically active radiation (PAR) enables automation of the process and simultaneous measurement of the masses of all photosynthesis products. Combining the quantum-optical method for determining the mass of photosynthesis products with a computer program and established correlation coefficients for a selected forest stand will allow timely detection of forest diseases, climate changes, human impacts, etc. This, in turn, will allow for prompt adjustments to sustainable forest management strategies.

Key words: photosynthesis; photons; photons energy; solar radiation energy; phytomass; deposited carbon; quantum-optical method.



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412502>

Article received 2025.01.22

Article revised 2025.02.13

Article accepted 2025.06.26

Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Petro Lakyda

petro.lakyda@ukr.net

6 Bolsunovska st., Kyiv, 01601, Ukraine

УДК 630*5:502 (477.42)

Інформативне забезпечення моделювання біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника

П. І. Лакида¹, Л. М. Матушевич², О. С. Гоцик³, Г. А. Сахарук⁴

Оцінювання екологічних функцій лісів в умовах глобальної зміни клімату, як інструментарію протидії цим процесам, є нагальною та актуальною проблемою людства. Особливу увагу при цьому приділено природно-заповідним територіям (заповідникам, заказникам), які слугують певними маркерами реакції лісових екосистем на ці зміни.

Важливими етапами у процесі дослідження біопродуктивності лісів є збір, агрегування та опрацювання дослідних даних, які б відображали основні таксаційні показники та найбільш типові умови росту деревостанів головних лісотвірних деревних видів. З цією метою для оцінювання біотичної продуктивності деревостанів та моделювання основних екологічних функцій лісів Поліського природного заповідника було використано дані 48 тимчасових пробних площ, закладених у соснових лісостанах досліджуваного об'єкта науковцями кафедри таксації лісу та лісового менеджменту Національного університету біоресурсів і природокористування України. У лісостанах природного походження закладено 20, штучного – 28 тимчасових пробних площ. При цьому використана методика збору дослідного матеріалу П. І. Лакиди, яка передбачає проведення двох видів науково-дослідних робіт: польових лісотаксаційних та лабораторних. Закладені тимчасові пробні площі адекватно описують наявний стан лісів досліджуваного об'єкта.

Експериментальний матеріал дав змогу розробити коректні математичні моделі оцінювання компонентів фітомаси модальних соснових деревостанів та їхньої динаміки, і на основі цих моделей оцінити загальні обсяги фітомаси (за фракціями) з подальшим моделюванням основних екологічних функцій лісів досліджуваного природоохоронного об'єкта.

Ключові слова: тимчасові пробні площі; деревостан; таксаційні показники, модельні дерева; стовбур; гілки; деревина; кора; щільність; хвоя.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, Перший віце-президент ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, Заслужений діяч науки і техніки України, завідувач сектору наукового забезпечення ДП «Ліси України», вул. Болсуновська, 6, м. Київ, 01601, Україна. E-mail: petro.lakyda@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Матушевич Любов Миколаївна – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, доцент. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: matushevych@pubir.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-3215>

³ Гоцик Олександр Степанович – пошукач наукового ступеня кандидата наук. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: gotsyk.o@icloud.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5680-4945>

⁴ Сахарук Галина Антонівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: gsakharuk68@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2561-1385>

Вступ (Introduction).

Кожне наукове дослідження – це процес вивчення конкретного об'єкта (предмета або явища) з метою розкриття закономірностей його виникнення, розвитку і перетворення в інтересах суспільства (Грищенко, Григоренко, Борисейко, 2001). Багато вітчизняних (Лакида, 2002; Лакида та ін., 2012; Лакида, Ковальська, Білоус, 2019; Лакида, Дубровець, 2020; Ловинська, 2021; Васишин, Юрчук, 2021; Матушевич, Лакида, 2021; Матушевич, 2023; Лакида, Блищик, 2024) та зарубіжних (Nilsson, Sallnaes, & Duinker, 1992; Fisher, Turner, & Morling, 2009; Treml et al., 2021; Besnard et al., 2021; Pilli et al., 2022; Jinyu Zhao et al., 2025) вчених займаються розробкою нових і вдосконаленням вже існуючих методик збору та первинного оброблення дослідних даних для дослідження біопродуктивності лісів та їхніх екологічних функцій.

Складовими пізнання біопродуктивності лісів є дослідження процесів синтезу, трансформації та акумулювання органічної речовини; аналіз факторів, що зумовлюють продуктивність; швидкість потоків енергії та циркуляції речовин у лісових екосистемах (Пастернак, Букша, 2004; Букша, Пастернак, 2005). Процеси депонування та емісії в атмосферу вуглецю залежать від різних лісотаксацийних показників лісостанів, зокрема типів лісорослинних умов, повноти, віку, складу і структури деревної рослинності. Саме тому необхідно володіти детальною інформацією щодо біомаси рослинності та її динаміки, характеристики мортмаси, запасів органічної речовини лісових ґрунтів для визначення запасів вуглецю у лісових біоценозах. Вище зазначені науковці пропонують для встановлення динаміки продуктивності деревостанів використовувати математичне моделювання, яке дає змогу розраховувати динаміку вуглецю у лісових екосистемах через нагромадження запасів біомаси. Моделі можуть застосовуватись для різних природних умов і дають змогу прогнозувати поглинання вуглецю залежно від зміни клімату та режиму ведення господарства (Букша, Пастернак, 2005; Buksha et al., 2017). Для узагальнення результатів оцінювання динаміки вуглецю класифікаційною основою може слугувати лісівничо-екологічна типологія (Остапенко, Ткач, 2002).

У Шведському університеті аграрних наук розроблена широкомасштабна сценарна модель прогнозування динаміки стану лісів та змін у навколишньому середовищі EFISCEN, яка є однією із найпоширеніших у Європі (Lorinus, & Oeschger, 1994). Вона дає змогу врахувати баланс вуглецю у деревостанах і лісових ґрунтах, імітувати ріст лісу за зміни клімату. Для обчислення вуглецевого балансу необхідно володіти додатковою інформацією про розподіл біомаси, а також мати дані про кліматичні умови, інтенсивність опадів тощо. Ця модель використовувалась у Міжнародному інституті прикладного системного ана-

лізу (IIASA) для визначення впливу кислих опадів на європейські ліси.

Фітомаса за фракціями (стовбур, гілки, корені, листя тощо) може бути обчислена на основі розрахованого стовбурового запасу за допомогою підмоделі EFISCEN-C (Букша, Пастернак, 2005).

Завдяки моделюванню є можливість отримувати інформацію про динаміку приростів, запасів, розподіл таксацийних показників за класами віку, кількістю деревини, заготовленої у процесі рубок, дані про компоненти фітомаси, живе ґрунтове вкриття, вміст гумусу в ґрунтах тощо.

Дані багатьох публікацій (Phua, & Satio, 2003; Лакида та ін., 2012; Дубровець, Лакида, 2017; Мороз, Никитюк, 2019) свідчать, що найпоширеніший підхід до оцінювання сухої органічної маси деревостанів і депонованого у ній вуглецю пов'язаний із перевідним (конверсійним) коефіцієнтом (співвідношення між компонентами фітомаси лісостану та запасом стовбурової деревини). Причини його застосування полягають у тому, що: а) оцінювання фітомаси за фракціями під час лісовпорядкування потребує додаткових затрат праці, які за обсягом не можуть бути порівняні з традиційним оцінюванням запасів стовбурової деревини; б) для основних лісотвірних деревних видів уже розроблено нормативи для оцінювання запасів стовбурової деревини, таблиці ходу росту (ТХР), цільові програми лісовирощування, а тому повторювати весь цей шлях для фітомаси недоцільно з погляду значних витрат часу та обчислювальних ресурсів.

В Україні вже понад 40 років у цьому напрямі досліджень працює наукова школа П.І. Лакиди (Лакида та ін., 2012, 2019; Ловинська, 2021; Васишин, Юрчук, 2021; Матушевич, Лакида, 2021; Матушевич, 2023; Лакида, Блищик, 2024). Тому, у процесі досліджень загальної біотичної продуктивності лісів Поліського природного заповідника (Поліського ПЗ) та їх динаміки за основу використано методику збору дослідних даних (Лакида, 2002), яка ґрунтується на вдало поєднаних біометричних і таксацийних прийомах та передбачає у своєму проведенні два види науково-дослідних робіт: польових лісотаксацийних та лабораторних. Від існуючих методик (Phua, Satio, 2003) вона відрізняється тим, що увесь комплекс нормативів як для окремого дерева, так і для деревостану побудований на базі моделей фітомаси дерев і закономірностях будови деревостанів за діаметром. Поряд з цим, методика модифікована відповідно до об'єкта досліджень.

В сучасних умовах екологічних викликів дедалі більшої актуальності набувають дослідження біопродуктивності лісових екосистем природно-заповідних територій. У зв'язку з цим, *актуальність дослідження* полягає в тому, що його результати стануть основою для розроблення моделей компонентів фітомаси модальних соснових деревостанів Поліського природного заповідника.

Це дасть змогу оцінити внесок лісів заповідника у глобальний вуглецевий цикл та визначити його роль у пом'якшенні наслідків зміни клімату.

Мета роботи полягає в агрегації експериментальних даних для розробки нормативно-інформаційного забезпечення щодо оцінювання біотичної продуктивності лісів Поліського природного заповідника.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси формування біотичної продуктивності деревостанів Поліського природного заповідника залежно від таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних деревних видів на основі експериментальних даних, зібраних у досліджуваному об'єкті. *Предмет дослідження* – стан і продуктивність деревостанів Поліського ПЗ залежно від їхніх таксаційних показників, зібраних на тимчасових пробних площах (ТПП).

Загальна площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок Поліського ПЗ складає 16948,7 га, а загальний запас лісостанів – 3421,14 тис. м³. Лісова рослинність займає 84,3% сучасної терито-

рії заповідника, причому переважну роль у формуванні лісового намету відіграють хвойні деревостани (88,5% від загального запасу). М'яколистяні лісостани у структурі лісового фонду за запасом складають 11,4%, а твердолистяні майже відсутні (0,1%). Сосна звичайна посідає панівне місце серед деревних видів й росте на площі 14549,7 га, що становить 85,8% площі вкритих лісовою рослинністю ділянок. Відповідно й запас сосни звичайної найбільший – 3028,58 тис. м³, або 88,5% від загального запасу деревостанів заповідника (рис. 1).

Під час збору експериментальних даних використана апробована методика збору дослідного матеріалу (Лакида, 2002). Відповідно до неї, в процесі досліджень загальної біотичної продуктивності лісів Поліського ПЗ та їх динаміки використано дані 48 тимчасових пробних площ, закладених співробітниками та аспірантами кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України (м. Київ). У лісостанах природного походження закладено 20, штучного – 28 тимчасових пробних площ (Гоцик, Сахарук, 2018; Гоцик, Лакида, Сахарук, 2021).

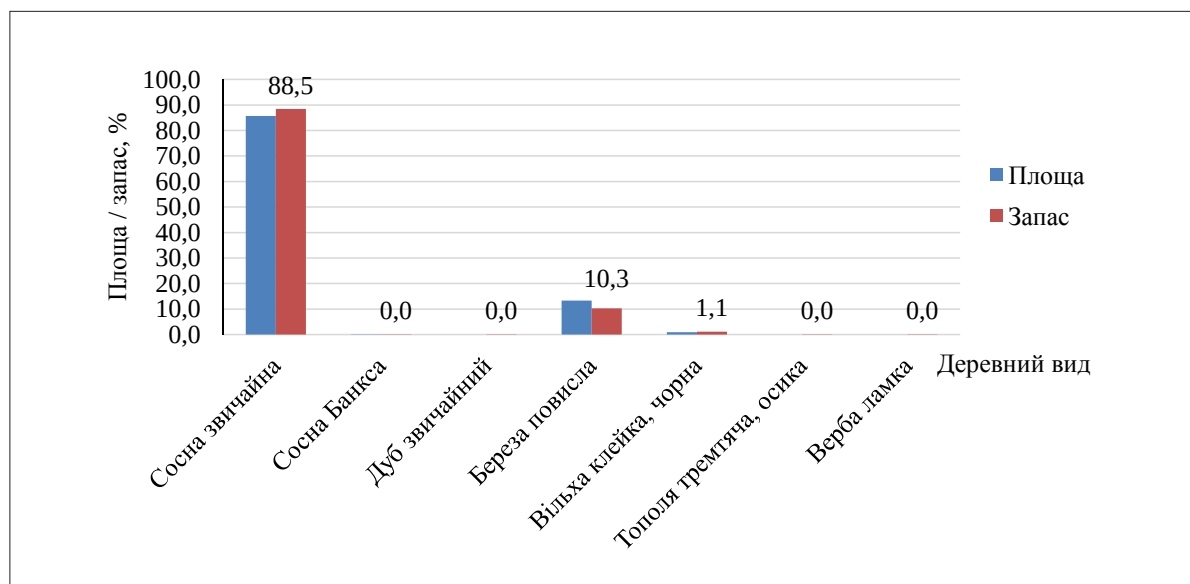


Рис. 1. Розподіл площі й запасу деревостанів Поліського природного заповідника за деревними видами, %

Fig. 1. Distribution of the area and stock of stands of the Polissia Nature Reserve by tree species, %

Оскільки у лісостанах Поліського ПЗ домінує сосна звичайна із часткою у загальному запасі 88,5%, то ТПП було закладено саме в соснових деревостанах досліджуваного об'єкта, а також у подібних типах лісорослинних умов (ТЛУ) інших лісгосподарських підприємств – суміжних Житомирської, Волинської та Рівненської областей.

Усі пробні площі були підібрані та закладені згідно з лісівничими та лісотаксаційними вимогами у переважаючих для заповідника типах лісорослинних умов, з продуктивністю деревостанів І^a-V класів бонітету. Вік деревостанів ТПП стано-

вить від 11 до 125 років, діапазон відносних повнот – від 0,34 до 1,20.

У натурі ТПП оформляли відповідно до вимог інструктивно-методичних вказівок лісовпорядкування (Інструктивно-методичні..., 2024). Вони мали прямокутну форму зі співвідношенням сторін не більше як 1:2. Довша сторона ТПП паралельна довшій стороні лісової ділянки. Площу ТПП встановлювали залежно від кількості дерев головного деревного виду: в молодняках їх обліковано не менше 300, у середньовікових – 250, у пристиглих і стиглих деревостанах – 200 штук на проб-

ній площі. На кожній ТПП було здійснено перелік дерев за ярусами, породами і категоріями технічної придатності стовбурів. Одночасно за лісівничими вимогами, у деревостані виділяли зрубівану частину для здійснення рубок догляду слабкої і середньої інтенсивності. У мішаних деревостанах цей облік проводили у межах кожного деревного виду. Окремо враховували сухостій.

Перелік дерев здійснювали за такими ступенями товщини: за середнього діаметра деревостану до 5,9 см – 1 см; від 6,0 см до 16,9 см – 2 см; 17 см і більше – 4 см. Вимірювали діаметри та висоти 3-12 ростучих дерев кожного деревного виду ярусу, для яких не планували зрубівання і опрацювання модельних дерев.

Використані в процесі досліджень ТПП повною мірою репрезентують деревостани Поліського природного заповідника. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за типами лісорослинних умов наведено в табл. 1. Ліси в Поліському ПЗ ростуть переважно у борах (59,9% площі території заповідника), у суборах (38,9% площі), і незначна частка – у сугрудах (1,2%). Варто відзначити, що сосна

звичайна має найвищу продуктивність у свіжих та вологих суборах і сугрудах. Останні в сукупності займають лише 29,7% території заповідника. Вологих сугрудів у заповіднику всього 0,2%. Відповідно до такого розподілу типів лісорослинних умов, ТПП було закладено саме в найбільш поширених типах лісорослинних умов (бори та субори).

Незначна кількість ТПП була закладена у низькоповнотних (0,3; 0,4) лісостанах (табл. 2). Невелика кількість закладених площ пояснюється нетиповістю таких повнот для деревостанів цього об'єкта досліджень. Частина ТПП (5 шт.) має відносну повноту більшу ніж одиниця. Причиною цього можуть бути певні неточності у нормативах, використаних під час розрахунку відносної повноти, де значення табличних сум площ поперечних перерізів за повноти 1,0 є дещо заниженими порівняно з існуючими, які трапляються в деяких модальних деревостанах (Білоус та ін., 2021). Найбільша кількість пробних площ (27 шт.) закладена у лісостанах з відносною повнотою 0,7-0,9, які і є найбільш характерними для Поліського природного заповідника.

Таблиця 1. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за породами та типами лісорослинних умов, шт.

Table 1. Distribution of the number of temporary trial plots by species and types of forest growth conditions, pcs.

Деревний вид і походження	Тип лісорослинних умов							Усього
	A ₁	A ₂	A ₃	A ₄	B ₂	B ₃	B ₅	
Сосна звичайна природного походження	–	2	3	2	4	8	1	20
Сосна звичайна штучного походження	4	7	–	–	13	4	–	28
Разом	4	9	3	2	17	12	1	48

Таблиця 2. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за відносною повнотою, шт.

Table 2. Distribution of the number of temporary trial plots by relative density, pcs.

Деревний вид і походження	Повнота									Усього
	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0	>1,1	
Сосна звичайна природного походження	–	–	2	1	6	4	2	1	4	20
Сосна звичайна штучного походження	1	2	3	3	8	4	3	3	1	28
Разом	1	2	5	4	14	8	5	4	5	48

Серед лісостанів Поліського природного заповідника 78,5% від їх загальної площі займають середньовікові деревостани. Порівняно незначні площі посідають молодняки (8,2%), пристиглі (8,4%) та стиглі і перестійні (4,9%) деревостани.

Аналізуючи дані розподілу кількості ТПП за класами віку (табл. 3), можна стверджувати, що їхній розподіл за цим показником повною мірою відображає вікову структуру панівних деревостанів Поліського природного заповідника.

Таблиця 3. Розподіл кількості тимчасових пробних площ за класами віку, шт.

Table 3. Distribution of the number of temporary trial plots by age classes, pcs.

Деревний вид і походження	Класи віку										Усього
	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XIII	
Сосна звичайна природного походження	–	–	5	3	6	1	1	2	1	1	20
Сосна звичайна штучного походження	6	15	2	2	1	1	–	1	–	–	28
Разом	6	15	7	5	7	2	1	3	1	1	48

Розподіл ТПП за походженням та групами віку наглядно демонструє рис. 2. Оскільки штучні лісостани сосни звичайної у Поліському ПЗ представлені молодняками та середньовіковими насадженнями, то в таких деревостанах закладено порівняно більшу кількість ТПП (26 шт.). У лісостанах природного походження тимчасові пробні площі закладені загалом рівномірно, відповідно до їх вікового діапазону.

Розподіл тимчасових пробних площ за класами бонітету (табл. 4) засвідчує, що вони в цілому коректно характеризують продуктивність лісостанів Поліського природного заповідника.

Залежно від віку і складу лісостанів, на кожній ТПП підбирали 3-15 модельних дерев (МД) за принципом пропорційно-ступінчатого представництва. Саме цей метод рекомендовано низкою вчених (Lakyda et al., 2012; Vasylyshyn et al., 2018; Lakyda et al., 2018), як оптимальний для оцінювання компонентів фітомаси лісостанів та їхньої біотичної продуктивності. Варто зауважити, що рубка більше 10 шт. модельних дерев на кожній ТПП призводить до надмірних затрат часу та коштів, які не компенсуються точністю досліджень (Лакида та ін., 2012). Для кожного модельного дерева обов'язково вказували його приналежність до певної частини деревостану – залишається воно чи вибирається під час проведення рубок догляду.

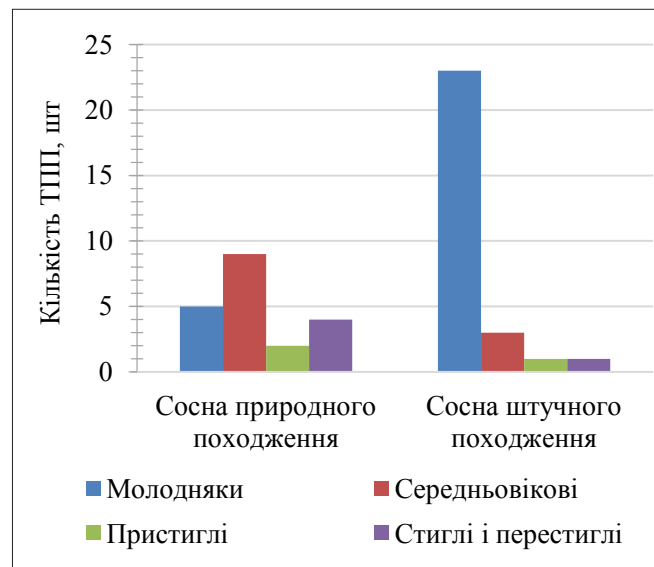


Рис. 2. Розподіл кількості ТПП за походженням і групами віку, шт.

Fig. 2. Distribution of the number of TTP by origin and age groups

Перед зрубанням для кожного модельного дерева вимірювали проекцію крони у двох взаємно перпендикулярних напрямках (Пн-Пд, Зх-Сх) та наносили позначку на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту.

Таблиця 4. Розподіл кількості ТПП за породами та класами бонітету, шт.

Table 4. Distribution of the number of TTP by species and site classes, pcs.

Деревний вид і походження	Бонітет						Усього
	I ^a	I	II	III	IV	V	
Сосна звичайна природного походження	4	5	7	2	2	–	20
Сосна звичайна штучного походження	1	5	11	7	3	1	28
Разом	5	10	18	9	5	1	48

Вік дерева визначали шляхом підрахунку кількості річних кілець на пеньку (з урахуванням вікової поправки). На зрубаному модельному дереві відокремлювалися фракції фітомаси (деревна зелень, живі гілки) і мортмаси (мертві гілки) крони, після чого ваговим методом визначали їхню масу.

Також визначали діаметр стовбура у корі, товщину кори та приріст дерев у висоту і за діаметром стовбура за останні 5-10 років на рівні пенька, на висоті грудей та на серединах секцій. Довжину секцій приймали залежно від висоти модельних дерев: 0,5 м – за середньої висоти модельних дерев на пробі до 6 м; 1 м – за висоти дерев від 6 до 12 м; 2 м – у дерев заввишки понад 12 м.

Для кожного модельного дерева визначали: 1) масу деревної зелені, живих і мертвих гілок завдовжки до 3 м ваговим методом; 2) у гілок завдовжки від 3 до 8 м вимірювали довжину, діаметр у корі та товщину кори у верхньому, нижньому торці і на середині довжини; 3) двійчатки, пасинки і гілки завдовжки понад 8 м умовно поділяли на 2-метрові секції, де вимірювали їхню загальну довжину, діаметр у корі і товщину кори в нижньому торці та на серединах секцій.

Результати перелікової таксації та обміру модельних дерев на ТПП було опрацьовано на ПК за програмою ПЕРТА, розробленою співробітниками кафедри таксації лісу та лісового менеджменту НУБіП України А.З. Швиденком та Я.А. Юдицьким (Лакида, 2002). Вихідними матеріалами для розрахунків програми слугували переліки дерев (за видами) та результати обмірів стовбура на серединах секцій для кожного модельного дерева. В результаті такого аналізу було отримано детальну таксаційну характеристику дослідних деревостанів, а саме: 1) середні таксаційні характеристики деревостану в цілому та окремо за деревними видами; 2) для кожного модельного дерева, залежно від його діаметра у корі ($d_{l,3}$) і висоти (h), розраховано об'єм у корі (v_{yk}), без кори та п'ять років тому; середній і поточний прирости за об'ємом, відсотки приростів за діаметром, висотою, сумою площ поперечних перерізів та об'ємом (P_v); видові числа у корі та без кори; коефіцієнти і класи форми (Гоцик, Сахарук, 2018).

Окрім параметрів стовбура, на кожному модельному дереві оцінювали параметри крони, а саме: діаметр (поперечник) крони ($d_{кр}$) та її довжину ($l_{кр}$); масу деревної зелені (ДЗ), живих і мертвих гілок.

Для отримання характеристики кількісних та якісних параметрів фітомаси дерев сосни звичайної здійснили біометричне оброблення дослідних даних за наступними прикладними програмами (Лакида, 2002):

1. PLOT (розраховували середню природну і базисну щільність деревини та кори деревного стовбура на основі дослідних даних, відібраних безпосередньо на ТПП).

2. ZRIZ, ZRIZ-K (знаходили об'ємні параметри дослідних зрізів стовбурів і гілок крон дерев: діаметр, товщину та площу поверхні зрізу, об'єм зрізу в корі та без кори, об'єм і частку кори).

3. KRON (обчислювали бічну поверхню та об'єм приросту, який займає крона дерева залежно від величини поперечників, протяжності та габітусу крони).

4. GIL (розраховували об'єм гілок крон завдовжки від 3 до 8 м у корі та без кори за простою формулою Симпсона (Ньютона-Рикке).

5. PAS (обчислювали об'єм пасинків, двійчаток і гілок у корі та без кори, довжина яких перевищує 8 м за складною формулою Симпсона).

6. FITO (розраховували масу компонентів фітомаси живої крони (деревна зелень + живі гілки) на 1 га лісостану за результатами вимірів цих показників на модельних деревах і преліком дерев за ступенями товщини на ТПП).

7. RATIO (за даними таксаційної оцінки деревостанів на ТПП та біометричної характеристики модельних дерев визначали коефіцієнти відношення основних компонентів надземної фітомаси лісостанів в абсолютно сухому стані до запасів стовбурової деревини).

Результати (Results).

У насадженнях Поліського ПЗ для дослідження процесів формування біопродуктивності деревостанів залежно від їхніх таксаційних показників закладено всього три тимчасові пробні площі. Причиною цього є те, що на природно-заповідних територіях забороняється або обмежується будь-яка діяльність, що порушує природні процеси, які відбуваються в них, відповідно до вимог, встановлених для природних заповідників (Інструктивно-методичні..., 2024). Тимчасові пробні площі закладено в соснових деревостанах, які є найбільш поширеними на території заповідника. Деревостани ТПП характеризуються такими середніми таксаційними показниками: віком – 42, 51 та 66 років; діаметром – 8,8, 8,9 та 13,3 см; висотою – 8,8, 9,0 та 15,1 м; відносно повнотою – 0,61, 0,69 та 0,68; продуктивністю – III, IV та V класи бонітету, ростуть у сухих борах (A_1).

На кожній пробній площі за описаною вище методикою відібрано модельні дерева в кількості трьох штук. Всього на ТПП зрубано та пофракційно оцінено дев'ять модельних дерев сосни звичайної. Діапазон віку МД становить від 41 до 66 років, діаметра – від 3,5 до 16,4 см, висоти – від 4,9 до 15,8 м, діаметра крони – від 1,2 до 4,8 м, довжини крони – від 2,8 до 7,7 м.

Маса деревної зелені (входить хвоя та гілки діаметром до 1 см) модельних дерев змінюється у межах від 0,9 до 26 кг. Оскільки дрібні гілки чотирьох МД увійшли до фракції деревної зелені, маса живих гілок наявна лише у п'ятих найбільших за розмірами модельних дерев. На всіх модельних деревах, окрім одного, відзначено наявність мертвих гілок, маса яких змінюється від

0,2 до 3,2 кг. Характеристики модельних дерев на тимчасових пробних площах, закладених безпосередньо у соснових лісостанах заповідника, наведені в табл. 5.

Для встановлення показників щільності деревини і кори стовбура та живих гілок крони, на пробних площах були відібрані дослідні зрізи відповідних компонентів фітомаси з трьох модельних дерев (по одному МД з кожної ТПП). Ці показники використано для оцінювання маси та об'єму цих

фракцій. Вік модельних дерев, з яких брали зразки на щільність та аналізували параметри фракції деревної зелені, становить 41, 51 та 66 років. Дослідні зрізи випилювали завтовшки 1-3 см на пні, висоті 1,3 м та на відносних висотах стовбура 0,10h, 0,25h, 0,50h та 0,75h. За результатами таксаційної обробки зрізів стовбурів модельних дерев отримані локальні (табл. 6) значення природної і базисної щільності деревини, кори, стовбура в корі у свіжозрубаному та абсолютно сухому стані.

Таблиця 5. Характеристика модельних дерев на ТПП

Table 5. Characteristics of model trees in TPP

Шифр ТПП	№ МД	Вік МД, років	Стовбур				Крона				
			$d_{l,3}$, см	h , м	$v_{ук}$, м ³	P_v , %	$d_{кр}$, м	$l_{кр}$, м	маса, кг		
									ДЗ	гілок	
										живі	мертві
201601	1	48	3,5	4,9	0,004	25,0	1,2	2,8	0,9	–	–
	2	51	8,1	9,5	0,026	26,9	2,0	5,2	5,0	–	0,4
	3	51	11,6	9,0	0,051	27,5	2,5	4,0	10,2	2,8	0,9
201602	1	41	7,4	7,5	0,018	22,2	2,7	2,7	2,1	–	0,2
	2	41	12,7	12,0	0,062	24,2	3,7	7,7	10,5	3,2	1,0
	3	42	16,4	11,1	0,114	11,4	4,8	7,1	26,0	18,9	3,2
201603	1	66	7,6	12,4	0,033	21,2	1,5	2,4	1,8	–	0,2
	2	66	12,8	14,3	0,100	15,0	3,0	6,1	10,1	6,8	1,4
	3	66	13,6	15,8	0,138	9,4	3,1	5,5	12,5	10,0	1,0

Таблиця 6. Показники локальної природної та базисної щільності модельних дерев

Table 6. Indicators of local natural and basic density of model trees

Шифр ТПП	№ МД	Деревина та кора стовбура, т·(м³) ⁻¹									
		свіжозрубана					абсолютно суха				
		відносна висота стовбура					відносна висота стовбура				
		0	0,10 <i>h</i>	0,25 <i>h</i>	0,50 <i>h</i>	0,75 <i>h</i>	0	0,10 <i>h</i>	0,25 <i>h</i>	0,50 <i>h</i>	0,75 <i>h</i>
Щільність деревини стовбурів модельних дерев											
201601	3	1,092	0,986	1,002	1,020	1,018	0,612	0,570	0,478	0,483	0,446
201602	2	0,971	0,996	0,981	1,013	0,982	0,498	0,526	0,487	0,474	0,428
201603	2	1,015	0,933	0,873	0,918	0,998	0,515	0,468	0,424	0,410	0,335
Щільність кори стовбурів модельних дерев											
201601	3	0,461	0,566	0,902	1,000	0,759	0,327	0,377	0,368	0,391	0,447
201602	2	0,514	0,559	0,960	1,288	1,386	0,345	0,358	0,432	0,456	0,523
201603	2	0,565	0,631	0,804	0,847	0,954	0,381	0,369	0,325	0,321	0,369
Щільність деревини у корі стовбурів модельних дерев											
201601	3	0,860	0,885	0,994	1,018	0,976	0,507	0,523	0,468	0,474	0,411
201602	2	0,802	0,883	0,978	1,041	1,037	0,442	0,482	0,481	0,472	0,440
201603	2	0,904	0,895	0,867	0,912	0,993	0,482	0,456	0,416	0,402	0,339

Природна щільність відображає сумарну масу абсолютно сухої речовини та нагромадженої вологи, а базисна – виражає вміст абсолютно сухої речовини в компоненті фітомаси. Останню використовують для оцінювання маси компонента дерева або деревостану в абсолютно сухому стані, що потрібно для встановлення нагромадженого в них вуглецю (Лакида та ін., 2012).

Локальна природна щільність деревини сосни звичайної на відносних висотах стовбура має значну мінливість і залежить від віку дерев (рис. 3а). За даними спостереження, найменшу щільність деревини стовбура на нульовому зрізі ($971 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) виявлено у дерева віком 41 рік, а найбільшу ($1092 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) у дерева 51-річного віку. Зі збільшенням відносної висоти стовбура та віку модельних дерев значення природної щільності деревини значно варіюють. Вони мають тенденцію як до збільшення, так і до зменшення, і стають наближе-

ними на відносній висоті $0,75h$. Для зразків, взятих з модельного дерева віком 66 років, спостережено зменшення природної щільності деревини стовбура від окоренка до відносної висоти стовбура $0,25h$, та подальше збільшення до відносної висоти $0,75h$. На значну мінливість природної локальної щільності деревини стовбура, крім віку та висоти дерев, значно впливає також вміст нагромадженої вологи у деревині.

Базисна локальна щільність не містить вологи у деревині, вона стійкіша і характеризується значно меншою мінливістю вздовж стовбура (рис. 3б). Найвищі показники базисної щільності деревини спостережено в окоренковій частині стовбура, які поступово спадають до його верхівки. Залежність як природної, так і базисної щільності деревини від віку дерев підтверджується навіть у випадку малої вибірки. Зі збільшенням віку дерев базисна щільність деревини стовбура зменшується.

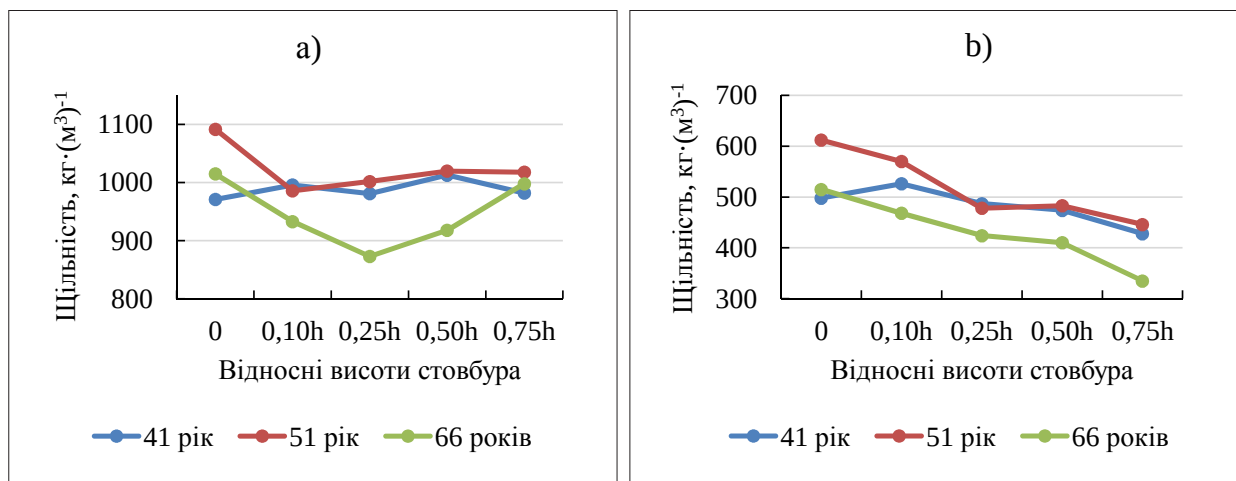


Рис. 3. Зміна локальної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної: а) природна; б) базисна

Fig. 3. Change in local wood density of Scots pine model trees: a) natural; b) baseline

Локальна природна щільність кори стовбурів сосни звичайної, аналогічно до деревини, теж характеризується мінливістю значень на відносних висотах й залежить від віку дерев. Найменші показники природної щільності кори ($461\text{-}565 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) виявлено в окоренковій частині стовбура, але вони мають характер стрімкого зростання з висотою ($1386 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ на висоті $0,75h$). У цьому випадку різниця між мінімальним та максимальним значенням природної щільності кори становить 66,7%. Зі збільшенням віку дерев значення природної щільності кори стовбурів на відносних висотах (починаючи від $0,25h$) мають тенденцію до зменшення.

Мінливість базисної локальної щільності кори стовбурів сосни звичайної, аналогічно до природної, незалежно від віку дерев, є незначною від окоренка стовбура до $0,1h$. Зі збільшенням висоти показники базисної щільності кори характеризуються зростаючим типом, характер якого залежить від віку дерев. Найнижчі показники базисної щіль-

ності кори стовбура на проміжку від $0,25h$ до $0,75h$ спостережено у модельного дерева віком 66 років, а найвищі – у модельного дерева 41-річного віку.

Отримані результати підтверджують мінливість щільності компонентів фітомаси в межах стовбура та її неоднаковість за його довжиною. Базисна щільність деревини стовбура сосни звичайної зменшується від комлевої частини до вершини стовбура (Лакида, 2002; Repola, 2006).

Зважаючи на мінливість локальної щільності, важливою характеристикою якості деревного стовбура є його середня щільність. У цьому дослідженні середня щільність деревини і кори стовбурів сосни звичайної розглядається як один із важливих показників під час вивчення біопродуктивності лісів Поліського ПЗ. Дані про базисну щільність використовують для розрахунку біомаси лісів та кількості депонованого в них вуглецю, що є важливим аспектом у контексті глобальної зміни клімату. Обчислені (на основі локальних даних за

допомогою прикладної програми PLOT) результати середньої природної та базисної щільності деревини, кори і деревини у корі стовбурів модельних дерев сосни представлені в табл. 7.

Середня щільність фракцій стовбура сосни звичайної (деревини, кори, деревини в корі) у свіжозрубаному та абсолютно сухому станах залежить від віку модельних дерев, але характеризується значно меншою мінливістю. Відмінність щільності фракцій стовбура МД у свіжозрубаному стані від обчисленого середнього значення щільності деревини $977 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ становить відповідно 0,6, 4,7 та -5,4%; кори – $604 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 2,6, -11,8 та 9,1%; деревини в корі – $935 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 0,9, 2,9 та -3,8%. Відмінність в абсолютно сухому стані від загального середнього значення щільності деревини

($467 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$) становить, відповідно, 3,1, 6,3 та -9,4%; кори – $353 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 3,4, -6,8 та 3,4%; деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ – 3,4, 4,3 та -7,7%.

Більш сталою величиною є середня щільність фракцій стовбура сосни звичайної в абсолютно сухому стані. Її значення, за даними спостережень, варіюють у межах $\pm 10\%$. Знаючи середню щільність фракцій стовбура та їхній об'єм, можна обчислити кількість сухої речовини в них.

Для визначення щільності деревини й кори живих гілок на модельних деревах було відібрано дев'ять зрізів різної довжини і товщини із середньої частини довжини гілок (по три зрізи з кожного МД). Щільність деревини та кори гілок у свіжозрубаному та абсолютно сухому стані наведено в табл. 8.

Таблиця 7. Середня щільність фракцій фітомаси стовбурів модельних дерев

Table 7. Average density of phytomass fractions of model tree trunks

Шифр ТПП	№ МД	Щільність, $\text{т} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$					
		свіжозрубаний стан			абсолютно сухий стан		
		деревина	кора	деревина + кора	деревина	кора	деревина + кора
201601	3	1,023	0,533	0,962	0,496	0,329	0,469
201602	2	0,983	0,620	0,944	0,481	0,365	0,465
201603	2	0,924	0,659	0,900	0,423	0,365	0,415

Таблиця 8. Щільність фракцій фітомаси гілок крони модельних дерев

Table 8. Density of phytomass fractions of crown branches of model trees

Шифр ТПП	№ МД	№ МГ	Щільність, $\text{т} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$					
			природна			базисна		
			деревина	кора	деревина + кора	деревина	кора	деревина + кора
201601	3	1	0,992	1,813	1,087	0,451	0,813	0,493
		2	1,190	0,772	1,060	0,587	0,333	0,508
		3	1,191	0,897	1,132	0,626	0,379	0,576
201602	2	1	0,936	0,963	0,941	0,496	0,481	0,493
		2	0,938	1,231	0,997	0,445	0,523	0,461
		3	0,968	0,938	0,964	0,491	0,484	0,490
201603	2	1	0,925	1,684	1,071	0,375	0,632	0,424
		2	1,000	0,958	0,992	0,437	0,396	0,430
		3	0,874	1,000	0,892	0,396	0,441	0,402

Природна щільність деревини, кори і деревини в корі гілок сосни звичайної навіть у дерев однакового віку значно коливається за своїми значеннями: деревини – від 874 до $1191 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; кори – від 772 до $1813 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; деревини в корі – від 892 до $1132 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Менш мінливою є базисна щільність компонентів гілок, оскільки під час її визначення

не враховується волога, яка міститься у гілках на момент зрізу.

Значення базисної щільності змінюються для деревини гілок – від 375 до $626 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; кори – від 333 до $813 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$; деревини в корі – від 402 до $576 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Розраховане середньозважене значення базисної щільності деревини гілок становить

478 кг·(м³)⁻¹; кори – 497 кг·(м³)⁻¹; деревини в корі – 475 кг·(м³)⁻¹.

Для встановлення частки хвої у загальній фітомасі деревної зелені дерев сосни звичайної проаналізовано 30 модельних гілок, дев'ять наважок свіжої хвої та дев'ять наважок хвої, висушеної до абсолютно сухого стану. Таксаційні показники цих модельних дерев, частка хвої у деревній зелені (P_l) та частка вмісту абсолютно сухої речовини в хвої (S_l) наведено в табл. 9.

Таблиця 9. Вміст хвої у деревній зелені та вміст абсолютно сухої речовини в хвої модельних дерев

Table 9. Needle content in tree foliage and oven-dry matter content in needles of model trees

Шифр ТПП	Номер МД	Параметри модельних дерев				
		a , років	$d_{1,3}$, см	h , м	P_l , %	S_l
201601	3	51	11,6	9,0	58,2	0,46
201602	2	41	12,7	12,0	64,0	0,43
201603	2	66	12,8	14,3	62,9	0,43

Частку хвої у фракції деревної зелені визначали за результатами зважувань вкритих хвоєю модельних гілок у свіжозрубаному стані та після відокремлення хвої у безлистих пагонів. Спостережено мінливість частки хвої для окремих модельних

дерев – від 58,2 до 64%. Причиною цього є те, що на частку хвої у деревній зелені впливає вік і загальний стан дерева, висота прикріплення гілок, а також індивідуальні морфологічні особливості його асиміляційного апарату.

Вміст абсолютно сухої речовини обчислювали як відношення маси зразка в абсолютно сухому до маси у свіжозрубаному стані. За отриманими результатами спостережено незначну мінливість цього показника – від 0,43 до 0,46. Це зумовлено тим, що модельні дерева, з яких брали зразки хвої, росли в подібних за вологістю та родючістю лісорослинних умовах (сухих борах). Крім умов росту, на вміст абсолютно сухої речовини можуть впливати вік хвої, санітарний стан дерева та хвої, індивідуальні особливості дерев.

Дискусія (Discussion).

В умовах зовнішніх антропогенних і техногенних впливів, особливо в період глобальної зміни клімату, ліси слугують одним із основних наземних компонентів стабілізації довкілля та збереження життя на планеті. В цьому напрямі особливу увагу приділяють об'єктам природно-заповідного фонду, які певною мірою слугують маркерними об'єктами, на основі яких можна наочно прослідкувати вплив основних екологічних функцій лісів (вуглецедепонування, киснепродукування) на довкілля.

Отримані показники локальної природної та базисної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної Поліського ПЗ порівнювали з результатами локальної щільності деревини модельних дерев сосни звичайної Байрачного Степу України (Ловинська, 2021) (рис. 4).

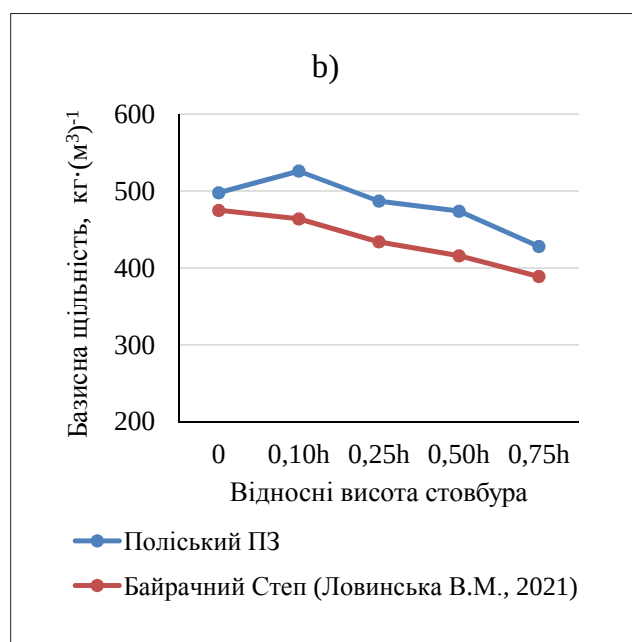
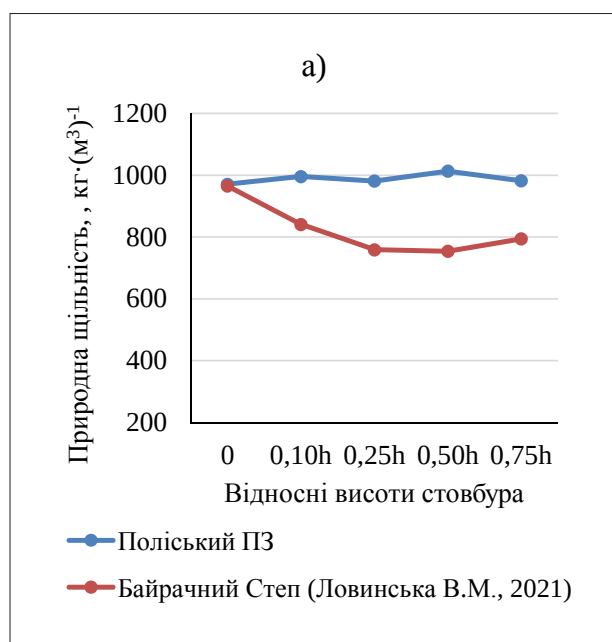


Рис. 4. Порівняння локальної природної (а) та базисної (б) щільності деревини стовбурів сосни звичайної

Fig. 4. Comparison of local natural (a) and baseline (b) wood density of Scots pine tree trunks

З'ясовано, що на всіх локальних точках відносних висот стовбура показники щільності деревини сосни Поліського ПЗ виявилися вищими, ніж аналогічні показники локальної щільності деревини сосни звичайної, що росте в умовах Степу. Натомість показники середньої природної щільності деревини на нульовому зрізі виявилися доволі близькими. Причинами відмінності між показниками є умови місцезростання дослідних деревостанів, які визначаються їхньою приналежністю до різних природних зон. Зазначені зони значно відрізняються природно-кліматичними умовами, зокрема показниками вологості (Генсірук, 2002).

Однією із основних характеристик деревостанів, що впливає на обсяги депонування вуглецю, є базисна щільність основних компонентів фітомаси: деревини та кори стовбура, гілок і коренів (Sytynuk et al., 2018). Для стовбурів дерев сосни зви-

чайної Поліського ПЗ встановлено, що середня базисна щільність деревини становить $467 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$, кори – $353 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ і для деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

Значення середньої базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної порівнювали із результатами подібних досліджень, проведених у різних регіонах і лісорослинних умовах та різних за походженням і віком дерев (рис. 5): самосійні ліси Українського Полісся (Блищик, 2022), соснові ліси НПП «Голосіївський» (Лакида, Дубровець, 2020), соснові ліси Лісостепової Придніпровської височини (Ковалевський, 2016), штучні соснові деревостани Черкаського бору (Лакида, Шамрай, 2013) та соснові ліси Полісся України за нормативно-довідковими матеріалами (Лакида та ін., 2011; Нормативно-інформаційне..., 2018).

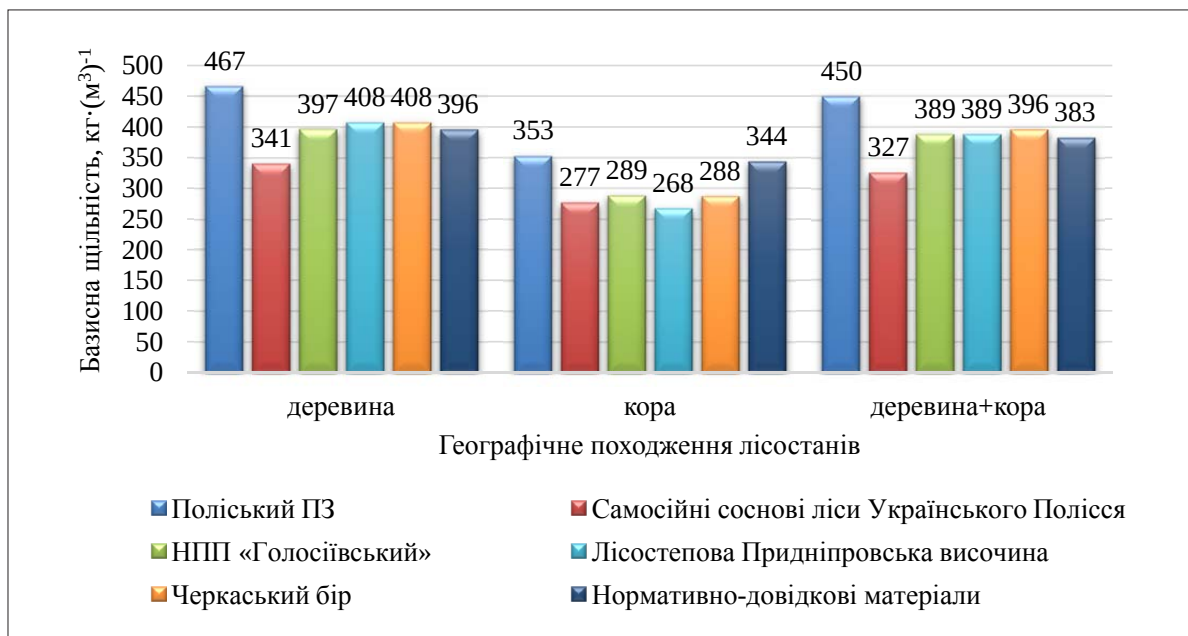


Рис. 5. Середня базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної різного географічного походження

Fig. 5. The average basic density of phytomass components of Scots pine tree stems of different provenance

Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі стовбурів дерев сосни звичайної у лісостанах Поліського ПЗ, за нашими даними, виявилась значно вищою, порівняно із показниками базисної щільності компонентів фітомаси, отриманих в Україні іншими авторами, але на різних за характеристиками об'єктах.

Загалом, отримані показники базисної щільності компонентів фітомаси дерев пояснюються особливостями росту сосни звичайної в умовах Поліського природного заповідника та унікальністю досліджуваного об'єкта.

Отримані дослідні дані характеризують таксаційні параметри деревостанів та біотичну структуру компонентів фітомаси дерев соснових лісів Поліського ПЗ, що дає змогу побудувати достовірні

моделі оцінювання компонентів біотичної продуктивності та екологічних функцій лісових екосистем досліджуваного заповідного об'єкта.

Таким чином, інформаційне забезпечення відіграє ключову роль у моделюванні біопродуктивності лісів. На його основі ґрунтується фундамент для точності статистичного оцінювання, динамічного прогнозування, розробки стратегій адаптації лісів до глобальних змін клімату.

Висновки (Conclusions).

1. Для збору та аналізу різномірних даних доцільно застосовувати комплексний підхід. Безпосередньо від повноти, точності та актуальності зібраних даних залежить якість моделей, які дають змогу оцінити динаміку нагромадження фітомаси, депонування вуглецю та загальний екологічний по-

тенціал лісових екосистем Поліського природного заповідника.

2. Лісова рослинність посідає 84,3% площі Поліського природного заповідника, де домінуючу роль у формуванні лісового намету відіграють деревостани сосни звичайної природного та штучного походження (88,5% від загального запасу лісового фонду).

3. Локальна щільність деревини та кори стовбурів сосни звичайної не є сталим показником і має різний характер мінливості вздовж стовбура. Як природна, так і базисна локальна щільність деревини та кори залежить від віку дерев, що підтверджується навіть за малої вибірки. Зі збільшенням віку дерев базисна локальна щільність деревини та кори стовбура зменшуються. Зі збільшенням висоти стовбура показники базисної щільності деревини характеризуються спадним, а кори – зростаючим типом, характер якого залежить від віку дерев.

4. Значно меншою мінливістю фракцій стовбура та гілок сосни звичайної, порівняно з базисною, характеризується середня щільність. Більш сталою величиною є середня щільність в абсолютно сухому стані. Її значення для фракцій стовбура сосни варіюють у межах $\pm 10\%$, середнє значення щільності деревини становить 467; кори – 353; деревини в корі – $450 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$. Середньозважене значення базисної щільності деревини гілок становить 478; кори – 497; деревини в корі – $475 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

5. Встановлено мінливість частки хвої у межах окремих модельних дерев сосни звичайної – від 58,2 до 64%. Ця відмінність частково пояснюється взяттям модельних гілок з різних частин крони, куди могла потрапити хвоя різного віку, а також індивідуальними морфологічними особливостями асиміляційного апарату дерев. Незначна мінливість вмісту абсолютно сухої речовини у хвої (від 0,43 до 0,46) зумовлена тим, що модельні дерева, з яких брали зразки, росли в однакових за вологістю та родючістю лісорослинних умовах (сухих борах).

6. На всіх відносних висотах стовбура показники щільності деревини сосни звичайної Поліського ПЗ виявилися вищими, ніж аналогічні показники локальної щільності деревини сосни, що росте в умовах Байрачного Степу. Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі стовбурів дерев сосни за даними дослідження виявилась значно вищою, порівняно із показниками, отриманими в Україні іншими авторами, але на різних за характеристиками об'єктах.

7. Для точного моделювання біопродуктивності лісів Поліського ПЗ необхідний комплексний підхід до збору, оброблення та аналізу дослідних даних, створення бази даних, що включає результати наземних досліджень. Інформаційне забезпечення є незамінним інструментом у розумінні та прогнозуванні біопродуктивності лісів в умовах зміни клімату.

8. Отримані експериментальні дані дають можливість розв'язати низку завдань, зокрема, розробити адекватні математичні моделі загальних обся-

гів фітомаси досліджуваних деревостанів за основними фракціями та на їх основі оцінити виконання ними екологічних функцій – депонування вуглецю й продукування кисню.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Besnard, S., Santoro, M., Cartus, O., Fan, N., Linscheid, N., Nair, R., ... Carvalhais, N. (2021). Global sensitivities of forest carbon changes to environmental conditions. *Global Change Biology*, 27(24), 6467-6483. <https://doi.org/10.1111/gcb.15877>
- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V., Svinchuk, V. A., & Lesnik, O. M. (2021). *Forest inventory handbook*. Kyiv: "Vinichenko" Publishing House [Білоус, А. М., Кашпор, С. М., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., Леснік, О. М. (2021). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко»] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, V. I. (2022). The average density of the main live biomass components of Scots pine tree stems in naturally regrown forests of Ukrainian Polissia. In *Forestry, woodworking and greening: state, achievements and prospects: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 38-40. Kharkiv, November 22-23. Kharkiv: State Biotechnology University. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/19251> [Блищик, В. І. (2022). Середня щільність основних компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної у самосійних лісах Українського Полісся. *Лісівництво, деревообробка та озеленення: стан, досягнення і перспективи* : матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф. з проблем вищої освіти і науки в системі МОН України, м. Харків, 22-23 листопада 2022 р. Харків: Державний біотехнологічний університет, 38-40] (in Ukrainian)
- Buksha, I. F., & Pasternak, V. P. (2005). *Inventory and monitoring of greenhouse gases in forestry*. Kharkiv: Kharkiv National Agrarian University. [Букша, І. Ф., Пастернак, В. П. (2005). *Інвентаризація та моніторинг парникових газів у лісовому господарстві*. Харків: ХНАУ. 264 с.] (in Ukrainian)
- Buksha, I. F., Shvidenko, A. Z., Bondaruk, M. A., Tselyshev, O. G., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V., & S. V. Krakovska (2017). The methodology of modelling of the impact of climate change on forest phytocenoses in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 266, 26-38. Retrieved from <https://forestscience.com.ua/uk/journals/266-2017/myetodologiya-modyelyuvannya-ta-otsynyuvannya-vplyvu-zmini-klimatu-na-lisovi-fitotsyenozi-ukrayini>
- Dubrovets, B. V., & Lakyda, P. I. (2017). The models of conversion coefficients of tree stands phytomas's components of National natural park "Holosiiivskyi". *Ukrainian Journal of Forest and Wood*

- Science*, (278), 48-57. Retrieved from <https://forest-science.com.ua/uk/journals/278-2017/modyeli-konvyersiynikh-koyefitsiyentiv-komponyentiv-fitomasydyeryevostaniv-npp-golosiyivskiy> [Дубровець, Б.В., Лакида, П.І. (2017). Моделі конверсійних коефіцієнтів компонентів фітомаси деревостанів НПП «Голосіївський». *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво»*, 278, 48-57] (in Ukrainian)
- Fisher, B., Turner, R. K., & Morling, P. (2009). Defining and classifying ecosystem services for decision making. *Ecological Economics*, 68(3), 643-653. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2008.09.014>
- Gensiruk, S.A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Publishing House of the Shevchenko Scientific Society [Генсірук, С.А. (2002). *Ліси України*. Львів : Вид-во Наукового товариства ім. Шевченка] (in Ukrainian)
- Hotsyk, O. S., Lakyda, P. I., & Sakharuk, H. A. (2021). Experimental studies of the bioproductivity of forests of the Polissya Nature Reserve. *Aspects of sustainable development of forestry, agriculture, water and energy economies of the Polissya zone of Ukraine: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 42-43. Zhytomyr, April 8, 2021. Zhytomyr: Zhytomyr Agrotechnical College. Retrieved from https://zhatk.zt.ua/wp-content/uploads/2021/05/zbirnik-2021_final_compressed.pdf [Гоцик, О.С., Лакида, П.І., Сахарук, Г.А. (2021). Експериментальні дослідження біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника. *Аспекти сталого розвитку лісового, сільського, водного та енергетичного господарств зони Полісся України*: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Житомир, 8 квітня 2021 р. Житомир: Житомирський агротехнічний коледж, 42-43] (in Ukrainian)
- Hotsyk, O. S., & Sakharuk, H. A. (2018). Experimental database for the study of the bioproductivity of forests of the Polissya Nature Reserve. *Problems of the development of forest taxation, forest management and forest inventory: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 52-54. Kyiv, December 6-8, 2018. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Retrieved from https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u32/zbirnik_tez_mizhnarodnoyi_konferenciyi_nikitina_k.ie_6-7.12.18r.pdf [Гоцик, О.С., Сахарук, Г.А. (2018). Експериментальна база даних дослідження біопродуктивності лісів Поліського природного заповідника. *Проблеми розвитку лісової таксації, лісовпорядкування та інвентаризації лісів*: матеріали Міжнародної наук.-практ. конф., м. Київ, 6-8 грудня 2018 р. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України, 52-54] (in Ukrainian)
- Hryshchenko, I. M., Grigorenko, O. M., & Boryseiko, V. O. (2001). *Fundamentals of scientific research*. Kyiv: National University of Trade and Economics [Грищенко, І.М., Григоренко, О.М., Борисейко, В.О. (2001). *Основи наукових досліджень*. Київ: Національний торгово-економічний ун-т] (in Ukrainian)
- Instructive and methodological guidelines for the implementation of forest inventory* (2024). Approved by order of the Ukrainian State Project Forest Management Production Association dated September 6, 2024 No. 76. Irpin. Retrieved from https://lisproekt.gov.ua/fileadmin/user_upload/Instruktivno-metodichni_vkazivki-druk.pdf [Інструктивно-методичні вказівки щодо здійснення лісовпорядкування] (2024). Затверджено наказом Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання від 06 вересня 2024 р. №76. Ірпін] (in Ukrainian)
- Jinyu Zhao, Xiao Fu, Na Sa, Xuyang Kou, Xiaojia He, Shuanning Zheng, Zhaohua Lu, Gang Wu, & Weiguo Sang (2025). Forest eco-function restoration and its positive effects on biodiversity improvement in China's ecological conservation programs. *Ecological Engineering*, 212. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2025.107530>
- Kovalevsky, S. S. (2016). *Bioproductivity of forests of the Forest-Steppe Pridneprovskaya Upland under conditions of technogenic load on the environment*: Abstract doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe? [Ковалевський, С.С. (2016). *Біопродуктивність лісів Лісостепової Придніпровської височини в умовах техногенного навантаження на довкілля*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I. (2002). *Phytomasa of the forests of Ukraine*. Ternopil: Zbruch [Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч. 262 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I., Bilous, A. M., Vasylyshyn, R. D., Matushkevych, L. M., & Makarchuk, Ya. I. (2012). *Bioproductivity and energy potential of softwood stands of Ukrainian Polissya*. Korsun-Shevchenkivskiy: Publishing House of V. M. Gavryshchenko. ISBN 978-966-2464-24-5 [Лакида, П.І., Білоус, А.М., Василюшин, Р.Д., Матушевич, Л.М., Макачук, Я.І. (2012). *Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся*. Корсунь-Шевченківський: вид-во Гаврищенко В.М. 453 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P., & Blyshchyk, V. (2024). Productivity and ecological functions of self-seeding pine forests of Ukrainian Polissya. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 129-138. <https://doi.org/10.15421/412420> [Лакида, П., Блищик, В. (2024). Продуктивність та екологічні функції самосійних соснових лісів Українського Полісся. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 129-138] (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I., & Dubrovets, B. V. (2020). *Forests of the National Nature Park "Hoholivskyi": bioproductivity*

- activity and ecological functions. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I. S. [Лакида, П.І., Дубровець, Б.В. (2020). *Ліси Національного природного парку «Голосіївський»: біопродуктивність та екологічні функції*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.С. 168 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Kovalska, S.S., & Bilous, A.M. (2019). *Biomass of artificial pine forests of the Southern Dnieper Polissya: state and dynamics*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maydachenko I.V. [Лакида, П.І., Ковальська, С.С., Білоус, А.М. (2019). *Біомаса штучних сосняків Південного Придніпровського Полісся: стан та динаміка*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.В. 184 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Shamrai, A.E. (2013). Above-ground biomass and deposited carbon of Scots pine trees in artificial stands of Cherkasy Bir. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(1), 8-13. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_1/index.htm [Лакида, П.І., Шамрай, А.Є. (2013). Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах Черкаського бору. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 23(1), 8-13] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Blyshchyk, V.I., Lakyda, I.P., Terentiev, A. Eu., Domashovets, H.S., ... Stratii, N.V. (2018). *Experimental data on live biomass of Ukrainian coniferous forests*. Kyiv: "PC Comprint" LLC.
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Lashchenko, A.G., & Terentyev, A.Yu. (2011). *Standards for the assessment of aboveground phytomass components of trees of the main forest-forming species of Ukraine*. Kyiv: Publishing house "EKO-inform". Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe? [Лакида, П.І., Василишин, Р.Д., Лашченко, А.Г., Терентьев, А.Ю. (2011). *Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України*. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ». 192 с.] (in Ukrainian)
- Lorinus, C., & Oeschger, H. (1994). Climate change. Paleoperspectives: reducing uncertainties in global change? *Ambio*, 23(1).
- Lovynska, V.M. (2021). *Bioproductivity of pine plantations of the Bayrach Steppe of Ukraine*. Korsun-Shevchenkivskiy: FOP Maidanchenko I.S. [Ловинська, В.М. (2021). *Біопродуктивність соснових лісостанів Байрачного Степу України*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майданченко І.С. 164 с.] (in Ukrainian)
- Matushevych, L.M. (2023). *Primary production of tree stands of Eastern Polissya of Ukraine: monograph*. Kyiv: "CP "KOMPRINT". Retrieved from: <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/10654> ISBN 978-617-8282-73-8 [Матушевич, Л.М. (2023). *Первинна продукція деревостанів Східного Полісся України*. Київ: «ЦП "КОМПРИНТ"». 582 с.] (in Ukrainian)
- Matushevych, L., & Lakyda, P. (2021). Modeling the primary production of components of the above-ground part of Scots pine trees in Eastern Polissya, Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 141-155. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/652> [Матушевич, Л., Лакида, П. (2021). Моделювання первинної продукції компонентів надземної частини дерев сосни звичайної Східного Полісся України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 141-155] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., & Nikitiuk, Yu.A. (2019). Carbon sequestration capacity of pine forest plantations in the Kyiv Polissya. *Plant Protection and Quarantine*, 65, 143-148. <https://doi.org/10.36495/1606-9773.2019.65.133-148> [Мороз, В.В., Никитюк, Ю.А. (2019). Вуглецепоглиняльна здатність соснових лісових насаджень Київського Полісся. *Захист і карантин рослин*, 65, 133-148] (in Ukrainian)
- Nilsson, S., Sallnaes, O., & Duinker, P. (1992). *Future Forest Resources of Western and Eastern Europe*. Lancaster: The Parthenon Publishing Group. Retrieved from <https://pure.iiasa.ac.at/3589>
- Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: the V.V. Dokuchaev Kharkiv State Agrarian University. [Остапенко, Б.Ф., Ткач, В.П. (2002). *Лісова типологія*. Харків: Харківський державний аграрний університет ім. В.В. Докучаєва. 344 с.] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P., & Buksha, I.F. (2004). Methodological approaches to monitoring carbon dynamics in forest ecosystems. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 14(2), 177-180. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_2/index14_2.htm [Пастернак, В.П., Букша, І.Ф. (2004). Методичні підходи до моніторингу динаміки вуглецю у лісових екосистемах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 14(2), 177-180] (in Ukrainian)
- Phua, M.-H., & Satio, H. (2003). Estimation of biomass of a mountainous tropical forest using Landsat TM data. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 29(4), 429-440. <https://doi.org/10.5589/m03-005>
- Pilli, R., Alkama, R., Cescatti, A., Kurz, W.A., & Grassi, G. (2022). The European forest carbon budget under future climate conditions and current management practices. *Biogeosciences*, 19(13), 3263-3284. <https://doi.org/10.5194/bg-19-3263-2022>
- Repola, J. (2006). Models for vertical wood density of Scots pine, Norway spruce and birch stems, and their application to determine average wood density. *Silva Fennica*, 40(4), article id 322. <https://doi.org/10.14214/sf.322>
- Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, P., & Maslikova, K. (2018). Basic density and crown parameters of forest forming species within Steppe zone in Ukraine. *Folia Oecologica*, 45, 82-91. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0009>
- Treml, V., Mašek, J., Tumajer, J., Rydval, M., Čada, V., Ledvinka, O., & Svoboda, M. (2021). Trends in

climatically driven extreme growth reductions of *Picea abies* and *Pinus sylvestris* in Central Europe. *Global Change Biology*, 28(2), 557-570. <https://doi.org/10.1111/gcb.15922>

Vasylyshyn, R. D., Domashovets, H. S., Terentiev, A. Eu., Slyusarchuk, V. V., Vasylyshyn, O. M., Shevchuk, O. V., & Lakhovych, Y. G. (2018). *Normative and informational support for the tax assessment of the energy intensity of phytomass components of tree stands and energy productivity of forest plantations of Ukrainian Polissya. Scientific and methodological recommendations*. Kyiv: OOO "CP Komprint" [Василишин, Р. Д., Домашовець, Г. С., Терентьев, А. Ю., Слюсарчук, В. В., Василишин, О. М., Шевчук, О. В., Лахович, Ю. Г. (2018). *Нормативно-інформаційне забезпечення для таксаційної оцінки енергоємності компонентів фітомаси деревостанів та енергопродуктивності лісових лісостанів Українського Полісся. Науково-методичні рекомендації*. Київ: ТОВ «ЦП Компрінт»] (in Ukrainian)

Vasylyshyn, R., & Yurchuk, Yu. (2021). Bioproductivity of forests in Zhytomyr region. *Achievements of Ukraine and the eu in environment, biology, chemistry, geography and agricultural sciences*, 64-82. Publishing House "Baltija Publishing". <http://dx.doi.org/10.30525/978-9934-26-086-5-4> [Василишин, Р., Юрчук, Ю. (2021). Біопродуктивність лісів Житомирської області. *Досягнення України та ЄС в екології, біології, хімії, географії та сільськогосподарських науках* (с. 64-82) Видавництво: Балтія] (in Ukrainian)

Information support for modelling bioproductivity of forests of the Polissia Nature Reserve

P. Lakyda¹, L. Matushevych², O. Hotsyk³, H. Sakharuk⁴

Assessment of the ecological functions of forests in the context of global climate change as a tool for combating these processes is an urgent and relevant problem of humanity. Particular attention is paid to nature reserves, which are certain markers of the reaction of forest ecosystems to these changes.

An important stage in the process of studying forest bioproductivity is the collection, aggregation and processing of research data that would reflect the main measurement indicators and the most typical growth conditions of stands of the main forest-forming species. For this purpose, data from 48 temporal test plots (TTP) established in pine stands of the studied object by scientists of the Department of Forest Mensuration and Forest Management of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, were used to assess the biotic productivity of stands and model the main ecological functions of forests

of the Polissia Nature Reserve. 20 TTPs were established in stands of natural origin, 28 TTPs were established in artificial ones. In this case, the methodology of collecting research material by P. Lakyda was used, which involves two types of research work: field forest assessment and laboratory. The established temporary test plots adequately describe the current state of the forests of the studied object.

All the test plots were selected and established in accordance with silvicultural and forest mensuration requirements in the prevailing pine and subpine types of forest growth conditions (from A₁ to B₅), with productivity of classes I^a-V in the age range from 11 to 125 years and relative density ranging from 0.34 to 1.20.

The assessment of phytomass parameters was carried out based on the results of processing the parameters of the trunk and crown of 9 model trees selected on temporary test plots established in the pine stands of the reserve. Local and average values of the natural and basic density of wood, bark and trunk in bark, as well as crown branches in a freshly cut and oven-dry state were obtained. Based on the results of laboratory studies, the percentage of needles in tree foliage and the proportion of oven-dry state needles were calculated.

The collected experimental data make it possible to solve a number of tasks set within the framework of the work being performed, namely: to develop adequate mathematical models for estimating the total volume of phytomass of the studied stands by main fractions and their performance of the ecological functions of carbon deposition and oxygen generation in the stands of this reserve.

Key words: temporary test plots; forest stand; forest-mensuration indicators; model trees; trunk; branches; wood; bark; density; needles.

¹ Petro Lakyda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, First Vice-President of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the scientific support sector at the State Enterprise "Forests of Ukraine", 6 Bolsunovska st., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: petro.lakyda@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Lubov Matushevych – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: matushevych@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-3215>

³ Oleksandr Hotsyk – Candidate of PhD degree seeker, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: gotsyk.o@icloud.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-5680-4945>

⁴ Halyna Sakharuk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: gsakharuk68@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2561-1385>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412503>

Article received 2024.12.17

Article revised 2025.01.03

Article accepted 2025.05.30

Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Vira Moroz

vera_moroz@ukr.net

11 Lvivska st., Ternopil, 46000, Ukraine

УДК 630*[1+5]

Алометричні моделі фітомаси крони *Pinus sylvestris* L. за біометричними параметрами¹

В. В. Мороз², Г. Т. Криницький³

Встановлено статистично достовірні залежності фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* L. в абсолют-но сухому стані від біометричних параметрів дерева, зокрема віку, діаметра та висоти у деревостанах 24-122-річного віку.

Встановлено, що середня фітомаса гілок становить 13,2 кг, а зеленої маси – 26,1 кг, що підтверджує до-мінування цих компонентів у структурі крони. Мінімальні та максимальні значення фітомаси гілок окремих екземплярів сосни звичайної змінюються від 1,10 до 20,9 кг, а для зеленої – від 6,70 до 37,1 кг, що свідчить про значний діапазон розвитку крони. Оцінено варіабельність показників фітомаси: коефіцієнт варіації для гілок становить 46,1%, для деревної зеленої – 39,8%, для всієї крони – 40,8%, а для стовбура – 62,8%.

Коефіцієнти асиметрії та ексцесу для фітомаси крони мають від'ємні значення, що свідчить про пере-важання дерев із меншою масою крони. Збільшення віку, діаметра та висоти дерева супроводжується зрос-танням фітомаси крони, що підтверджено високими значеннями коефіцієнтів кореляції ($r = 0,879-0,990$). Встановлено, що діаметр і висота дерева є найінформативнішими предикторами фітомаси крони.

Розроблено алометричні рівняння для визначення фітомаси гілок і деревної зеленої, які засвідчують ви-сокий рівень придатності моделей ($R^2 = 0,93-0,98$). Встановлена фітомаса має мінімальне відхилення від нормативно-інформаційних матеріалів (до 0,03%), що підтверджує їхню практичну придатність для оціню-вання біопродуктивності штучних соснових деревостанів регіону. Встановлено відхилення базисної щільності фітофракцій від значень, отриманих іншими дослідниками для зони Українського Полісся.

Результати дослідження можуть бути використані для підвищення точності лісової інвентаризації та моніторингу біопродуктивності соснових насаджень, а також для удосконалення оцінки первинної продукції та вуглецевого балансу лісових екосистем.

Ключові слова: надземна фітопродукція; діаметр стовбура; висота дерева; об'єм стовбура; степеневі рівняння; кореляція; модельні дерева.

Вступ (Introduction).

Дослідження надземної фітомаси деревних рос-лин, зокрема компонентів крони, є важливою скла-довою оцінювання біопродуктивного потенціалу лісових екосистем. Фітомаса крони безпосередньо

пов'язана із фотосинтетичною активністю, струк-турою насаджень, адаптивністю до стресових чин-ників і загальною продуктивністю деревостанів. Упродовж останніх десятиліть проблема моделю-вання компонентів надземної фітомаси широко

¹ Робота підтримана грантом Національного фонду досліджень України, № 2021.01/0184

² Мороз Віра Василівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри агробіотехнологій, директор Навчально-наукового центру сталого енергетичного розвитку та кліматичної безпеки. Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46000, Україна. E-mail: vera_moroz@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>

³ Криницький Григорій Томкович – академік Лісівничої академії аграрних наук України, Президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

досліджувалася як у вітчизняній, так і зарубіжній лісівничій науці.

В Україні ґрунтовні дослідження біопродуктивності деревостанів започатковано в межах Міжнародної біологічної програми. Значний внесок у вивчення фітомаси лісів Полісся та Карпат зроблено В.К. Мякушом (1972), М.А. Голубцем, Л.І. Половніковим (1970, 1975), а згодом – П.І. Лакидою (2002), О.М. Колосок (2002), М.М. Петренко (2002), І.П. Білоусом (2009), Р.Д. Васишиним (2014), В.І. Блищиком (2008), С.І. Миклушем (2011), В.П. Пастернаком (2011), В.В. Мороз, Ю.А. Никитюк та ін. (2020, 2021), Л.М. Матушевич (2021) та іншими. Вітчизняні дослідження охоплюють структуру надземної фітомаси дерев, зокрема *Pinus sylvestris* L. у різних регіонах України, та базуються на польових даних і нормативно-довідкових матеріалах.

Крона є одним із найважливіших компонентів дерева, що відображає санітарний стан, продуктивність та адаптаційні можливості лісостанів. Відповідно, розробка адекватних моделей крони сприяє підвищенню точності оцінювання фітомаси, прогнозуванню продуктивності лісів та екологічного стану екосистем.

Зокрема, Bílek et al. (2017) провели поглиблене дослідження взаємозв'язку між шириною крони *Pinus sylvestris* та діаметром стовбура у насадженнях Центральної Європи. Вони використали регресійні моделі, які враховують різні фактори росту та конкуренції, що дало змогу більш ретельно описати варіабельність параметрів крони у різних умовах. Аналогічно, Sporek, & Sporek (2023) розробили та валідували алометричну модель довжини крони для сосни у Польщі, яка базується на вимірах польових насаджень і дає змогу оперативно оцінювати структуру крони залежно від висоти і діаметра дерева. Diéguez-Aranda et al. (2013) звернули увагу на моделювання профілю крони сосни в Північно-Західній Іспанії, здійснивши детальний опис вертикального розподілу діаметрів крони і встановивши їх взаємозв'язок із фактором віку та щільності насаджень.

Ще одним вагомим внеском у цей напрям досліджень є робота Altanzagas et al. (2020), які запропонували алометричні функції для оцінювання фітомаси сосни в Монголії, базуючись на інтеграції таких морфометричних параметрів, як висота, діаметр стовбура, вік і висота до основи крони. Ці функції забезпечують надійний інструмент для розрахунку надземної фітомаси, що є ключовим показником для кількісного оцінювання поновлення лісів і запасів вуглецю.

За даними Yang et al. (2025) такі параметри крони, як її довжина, радіус, а також співвідношення цих розмірів до загальної висоти дерева, істотно залежать від віку, щільності лісостану та екологічних умов.

Вікові зміни призводять до трансформації структури крони, що відображає адаптивні відпо-

віді дерев на конкуренцію за світло і ресурси. Аналіз біофізичних характеристик крони, проведений Varo-Martínez & Navarro-Cerrillo (2021), виявив можливості використання цих параметрів для виявлення ослаблених лісових ділянок, що є важливим аспектом для моніторингу стану лісових екосистем і своєчасного прийняття управлінських рішень. Значний внесок у розуміння механізмів розвитку крони внесли Kellomäki, & Strandman (1995), які моделювали процес росту крони сосни з урахуванням інтенсивності перехоплення світла пагонами. Такий підхід дає змогу прогнозувати зміну форми крони залежно від доступності світлових ресурсів, що особливо актуально в густих і високостовбурних лісах.

Однак останнім часом основна тенденція у розробленні моделей розвитку крони – це застосування просторово-адаптивних підходів, коли до традиційних таксаційних параметрів додають екологічні змінні, топографічні характеристики, кліматичні умови і дані дистанційного зондування (Aguirre et al., 2020). Запровадження цих змінних дає можливість суттєво підвищити точність прогнозів фітомаси крони, площі листового вкриття, а також фотосинтетичної активності, що є критично важливим в контексті глобальної зміни клімату та загрози деградації лісових екосистем. Залучення дистанційних сенсорів (напр., LiDAR та супутникових знімків) дає можливість оперативно отримувати детальні просторові дані щодо структури крони у масштабах ділянки, району та регіону, що особливо цінно для екосистем, які швидко змінюються через антропогенні та природні чинники.

Таким чином, інтеграція класичних таксаційних методів з інноваційними екологічними та дистанційними даними відкриває перспективи для ефективного моделювання параметрів крони, оцінювання фітомаси і продуктивності лісів.

Попри значну кількість досліджень у цьому напрямі, низка важливих аспектів залишаються недостатньо вивченими. Зокрема, у вітчизняній практиці відсутні моделі, що дають змогу з високою точністю оцінювати фітомасу крони в абсолютно сухому стані за фітомасою стовбура, віком, діаметром і висотою дерева. Не вирішено також питання зворотної залежності – визначення маси стовбура на основі параметрів крони, що особливо актуально у застосуванні даних дистанційного зондування. Недостатньо врахованим залишається вплив морфології крони на первинну біопродуктивність деревостанів і вуглецево-поглинальну здатність фітоценозів.

Мета дослідження полягає у розробленні математичних моделей встановлення фітомаси крони *Pinus sylvestris* L. в абсолютно сухому стані у регіоні Українського Полісся, що базуються на структурних параметрах дерева та забезпечують високу точність прогнозування біопродуктивності деревостанів.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процес нагромадження фітомаси крони у штучних соснових деревостанах Українського Полісся залежно від біометричних показників дерев. Предмет досліджень – кількісне оцінювання фітомаси крони в абсолютно сухому стані з урахуванням біометричних показників дерев, зокрема віку, висоти, діаметра, а також фітомаси стовбура.

Під час проведення досліджень використано комплексну методику оцінювання фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* для умов Українського Полісся, що базується на поєднанні вагових, стереометричних, лабораторних і статистичних методів. Польові дослідження проведено у 2016-2021 рр. на 285 тимчасових пробних площах (ТПП) у трьох лісгосподарських округах – Західнополіському, Центральнопісському та Києво-Чернігівському, що забезпечило репрезентативність вибірки і достовірність отриманих результатів. Тимчасові пробні площі закладено відповідно до стандартів СОУ 02.02-37-476:2006. Методика досліджень ґрунтувалася на рекомендаціях П.І. Лакиди із модифікаціями для оцінювання фітомаси крони (Лакида та ін., 2012; Лакида, Морозюк, 2011).

Тимчасові пробні площі закладали переважно у деревостанах І-ІІІ класів бонітету з відносною повнотою 0,5-0,9. Частка сосни у складі деревостанів становила 80-100%. На пробних площах у соснових деревостанах зрубано модельні дерева, для яких ваговим методом встановлювали масу гілок та деревної зелені, а також вимірювали довжину і діаметр стовбура.

Для оцінювання надземної фітомаси використано 40 модельних дерев 24-122-річного віку діаметром 9,0-29,8 см та висотою 12,3-30,7 м. Масу гілок та деревної зелені встановлювали у польових умовах із подальшим визначенням їхньої вологості шляхом висушування зразків до постійної маси за температури 105°C. Зразки висушували у лабораторії моніторингу вуглецево-поглинальної здатності фітоценозів у Західноукраїнському національному університеті. Для сушіння зразків використовували шафу сушильну СП-50С.

Частку вмісту сухої речовини у фракції фітомаси обчислювали за формулою:

$$S = (1 - \frac{m_{nat} - m_0}{m_{nat}}) \cdot 100, \quad (1)$$

де S – вміст сухої речовини, %; m_{nat} – маса зразка фракції у натуральному (свіжозрубаному) стані, кг; m_0 – маса зразка фракції в абсолютно сухому стані, кг.

Фітомасу деревини та кори в абсолютно сухому стані визначали за об'ємом відповідних компонентів (Лісотаксаційний довідник, 2021) та базисною щільністю фітофракції:

$$m = V \times \rho_{bas} \quad (2)$$

де: m – фітомаса фракції в абсолютно сухому стані, кг; V – об'єм компонента, м³; ρ_{bas} – базисна щільність, кг/м³.

Встановлення об'єму стовбура (V_{ct}) здійснювали за класичною формулою у лісовій таксації:

$$V_{ct} = g_{1,3} \times h \times f \quad (3)$$

де: V_{ct} – об'єм стовбура, м³; $g_{1,3}$ – площа поперечного перерізу на висоті 1,3 м, м²; h – висота, м; f – виводне число.

Площу поперечного перерізу стовбура сосни звичайної визначали за рівнянням:

$$g_{1,3} = \frac{\pi}{4} \times d_{1,3}^2 = 0,785 \times d_{1,3}^2 \quad (4)$$

де $d_{1,3}$ – діаметр стовбура на висоті 1,3 м.

Для встановлення видового числа використали залежність М. Кунце:

$$f = q_2 - c \quad (5)$$

де: f – старе видове число, q_2 – другий коефіцієнт форми (для сосни 0,65 за Є.І. Цуриком, 2006), c – величина для параболоїда другого порядку (для деревного стовбура сосни становить 0,2).

Результати досліджень (Results).

Враховуючи показники формул 1-4, одержано рівняння об'єму стовбура для сосни звичайної:

$$V_{ct} = (q_2 - c) \times 0,785 \times d_{1,3}^2 \times h \quad (6)$$

де: V_{ct} – об'єм стовбура, м³, $d_{1,3}$ – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, h – висота стовбура, м.

Для встановлення адекватності отриманої формули здійснено порівняння між значеннями, вирахованими за цією формулою та існуючими значеннями в інформаційно-довідкових матеріалах (Білоус та ін., 2021) (рис. 1).

Порівняння отриманих показників об'єму стовбура сосни за отриманим рівнянням і за інформаційно-довідковими матеріалами показало, що розбіжність не перевищує 0,03%, і це дає підставу для застосування цієї формули у практиці.

Об'єм стовбура дерева розподіляли на об'єм деревини і кори, використовуючи рівняння:

$$V_d = V_{ct} \times \left(1 - \frac{P_k}{100}\right) \quad (7)$$

де: V_d – об'єм деревини, P_k – частка об'єму кори (за показниками, взятими із «Лісотаксаційного довідника»).

Для визначення первинної біотичної продукції, яка є кількісною характеристикою біопродукційного процесу і зазвичай оцінюється поточним приростом компонентів фітомаси дерев і деревостанів, досліджували фітомасу гілок та зелені. У табл. 1 наведено узагальнені статистичні показники модельних дерев.

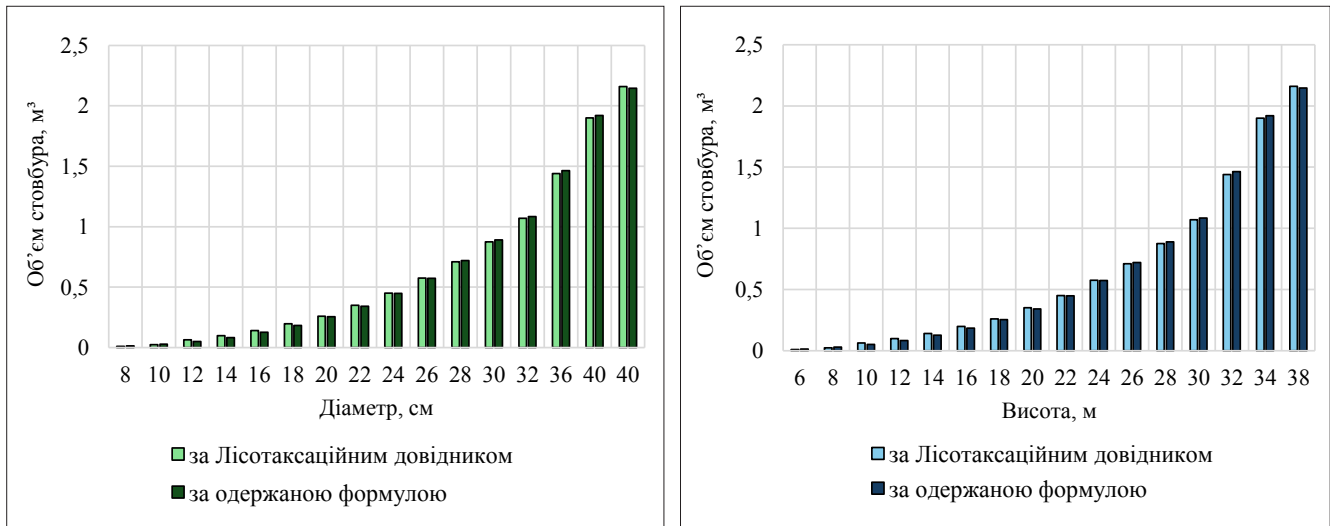


Рис. 1. Об'єм стовбура дерев *Pinus sylvestris*, встановленим за рівнянням (6) та за інформаційно-довідковими матеріалами (Білоус та ін., 2021)

Fig. 1. The trunk volume of *Pinus sylvestris* trees determined by equation (6) and reference materials (Bilous et al., 2021)

Таблиця 1. Основні статистичні характеристики модельних дерев *Pinus sylvestris* у сирому стані
Table 1. Main statistical characteristics of model *Pinus sylvestris* trees in a raw state

Показники	a (вік дерева, років)	d (діаметр дерева, см)	h (висота дерева, м)	m_{gil} (фітомаса гілок, кг)	$m_{zl, xv}$ (фітомаса зелені, кг)
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	72,1	21,6	23,6	13,2	26,1
C_v (стандартна помилка)	5,49	1,04	0,94	0,96	1,64
σ (стандартне відхилення)	34,7	6,60	5,92	6,10	10,4
D (дисперсія вибірки)	1203,6	43,6	35,0	37,2	107,7
A (коефіцієнт асиметрії)	0,127	-0,715	-0,630	-0,917	-0,634
E (ексцес)	-1,48	-0,739	-0,904	-0,406	-1,15
min (мінімум)	24,0	9,00	12,3	1,10	6,70
max (максимум)	122,0	29,8	30,7	20,9	37,1
V (коефіцієнт варіації), %	48,1	30,6	25,1	46,1	39,8

Аналіз основних статистичних характеристик модельних дерев сосни у сирому стані свідчить про значну індивідуальну мінливість як біометричних параметрів, так і фракцій фітомаси. Середні значення фітомаси гілок (13,2 кг) та фітомаси зелені (26,1 кг) вказують на переважання дерев із середніми показниками цих компонентів, проте високі коефіцієнти варіації (46,1% для гілок і 39,8% – для фітомаси зелені) свідчать про суттєве розсіювання даних навколо середнього значення.

Коефіцієнти асиметрії для фітомаси гілок ($A = -0,917$) та фітомаси зелені ($A = -0,634$) є від'ємними та мають значення понад 0,5 за абсолютною величиною, що вказує на сильну лівосто-

ронню асиметрію розподілу. Це означає, що у вибірці переважають дерева з фітомасою, більшою за середню, а значення, менші ніж середнє, трапляються рідше.

Коефіцієнти ексцесу для обох компонентів фітомаси також від'ємні ($E = -0,406$ для гілок та $E = -1,15$ для фітомаси зелені), що свідчить про туповершинний характер розподілу. Згідно з критеріями оцінювання, для фітомаси гілок ексцес свідчить про незначну туповершинність, а для фітомаси зелені – про сильну туповершинність. Це означає, що значення фітомаси менші згруповані навколо середнього, а крайні (дуже великі або дуже малі) значення трапляються рідше, ніж за нормального розподілу.

Таким чином, отримані результати досліджень засвідчують високу мінливість фітомаси гілок і зеленої маси у модельних дерев сосни, а також специфічну форму розподілу цих ознак – туповершинну та лівосторонньо асиметричну. Цю особливість потрібно враховувати під час планування лісогосподарських заходів, оцінювання запасів фітомаси та моделювання продуктивності насаджень.

Під час вивчення залежностей між випадковими величинами важливим кроком є перевірка наявності кореляційного зв'язку між ними. Це дає змогу визначити єдину міру ступеня тісноти взаємозв'язку та оцінити вплив досліджуваного чинника на загальні зміни результативної ознаки. У табл. 2 наведено результати кореляційного аналізу.

Таблиця 2. Кореляційна матриця біометричних показників і фітомаси крони дерев *Pinus sylvestris* у сирому стані

Table 2. Correlation matrix of biometric indicators and crown phytomass *Pinus sylvestris* in a raw state

Показники	<i>a</i> (вік дерева, роки)	<i>d</i> (діаметр дерева, см)	<i>h</i> (висота дерева, м)	<i>m_{gil}</i> (фітомаса гілок, кг)	<i>m_{zl, xv}</i> (фітомаса зелені, кг)
<i>a</i> (вік дерева, роки)	1,000	–	–	–	–
<i>d</i> (діаметр дерева, см)	0,933	1,000	–	–	–
<i>h</i> (висота дерева, м)	0,948	0,990	1,000	–	–
<i>m_{gil}</i> (фітомаса гілок, кг)	0,879	0,957	0,957	1,000	–
<i>m_{zl, xv}</i> (фітомаса зелені, кг)	0,935	0,987	0,984	0,971	1,000

Кореляційний аналіз виявив тісний позитивний зв'язок між віком дерев та іншими біометричними параметрами, що свідчить про односпрямовану динаміку зростання. Зі збільшенням віку значно зростають як розміри дерев (діаметр і висота), так і маса їхньої крони. Найслабший зв'язок виявлено між віком і фітомасою гілок, однак і він зберігає високу кореляційну силу, що вказує на стабільне нарощування деревини з віком.

Маса гілок та зеленої фітомаси зростає приблизно в однаковій пропорції зі збільшенням діаметра: різниця у тісноті зв'язку становить менше 3%.

Між двома основними складовими фітомаси крони – гілками та зеленою масою спостерігається практично лінійна залежність. Отже, зі збільшенням деревної частини крони відбувається пропорційне збільшення її асиміляційного апарату, що притаманно деревостанам зі стабільною морфологічною структурою.

Висота дерева виявляє дуже високу кореляцію з фітомасою гілок (0,957) і фітомасою зелені (0,984), що вказує на тісний зв'язок між розміром дерева і нагромадженням фітомаси в кроні.

Фітомаса гілок і фітомаса зелені також дуже тісно корелюють між собою (0,971), що свідчить про спільний ріст цих компонентів крони.

Під час проведення регресивного аналізу одержано рівняння залежності для гілок сосни:

$$m_{gil} = 0,039 \times a^{-0,817} \times d^{4,54} \times h^{-1,50} \quad R^2=0,945 \quad (8)$$

$$m_{gil} = 0,257 \times d^{5,05} \times h^{-3,68} \quad R^2=0,933 \quad (9)$$

та для деревної зелені сосни:

$$m_{zl, xv} = 0,283 \times a^{-0,025} \times d^{1,18} \times h^{0,242} \quad R^2=0,982 \quad (10)$$

$$m_{zl, xv} = 0,267 \times d^{1,16} \times h^{0,308} \quad R^2=0,982 \quad (11)$$

де: *a* – вік дерева, роки; *d* – діаметр дерева, см; *h* – висота дерева, м; *m_{gil}* – фітомаса гілок, кг; *m_{zl, xv}* – фітомаса зелені, кг.

В отриманих рівняннях ступінь залежності варіації залежної змінної від варіації незалежних змінних коливається в межах від 93,3 до 98,2%. Тому ці формули доцільно застосовувати у подальших розрахунках.

Під час аналізу базисної щільності фітофракцій встановлено їх відповідність показникам, запропонованих П.І. Лакидою та ін. (2011, 2013) для сосни звичайної у зоні Українського Полісся для штучних деревостанів. Згідно з його даними і даними наших досліджень, базисна щільність деревини у корі становить 410 кг/м³, а базисна щільність гілок у корі – 383 кг/м³. Саме ці значення використано в подальших розрахунках. За рівнянням 2 визначено фітомасу крони і стовбура в абсолютно сухому стані. Результати, опрацьовані статистичним методом, наведені в табл. 3.

Аналіз основних статистичних показників модельних дерев засвідчує, що фітомаса стовбура в сухому стані суттєво переважає фітомасу крони – у середньому в 7,2 рази. При цьому маса стовбура характеризується значно більшою варіабельністю (*V* = 62,8%) порівняно з кроною (*V* = 40,8%), що вказує на ширший діапазон індивідуальних

відмінностей серед дерев. Отримані результати засвідчують, що розвиток стовбура є чутливішим до впливу зовнішніх і внутрішніх чинників, ніж фор-

мування крони. Цей аспект варто враховувати під час оцінювання продуктивності насаджень і плануванні лісогосподарських заходів.

Таблиця 3. Основні статистичні показники модельних дерев *Pinus sylvestris* за біометричними параметрами та фітомасою у сухому стані

Table 3. Main statistical indicators of model trees *Pinus sylvestris* by biometric parameters and phytomass in a dry state

Показники	<i>a</i> (вік дерева, роки)	<i>d</i> (діаметр дерева, см)	<i>h</i> (висота дерева, м)	M_{kr} (фітомаса крони дерева, кг)	M_{st} (фітомаса стовбура, кг)
X_{cp} (середнє арифметичне значення)	72,1	21,6	23,6	27,2	194,7
C_v (стандартна помилка)	5,49	1,04	0,936	1,76	19,3
σ (стандартне відхилення)	34,7	6,6	5,9	11,1	122,2
D (дисперсія вибірки)	1203,6	43,6	35,0	123,2	14944,7
A (коефіцієнт асиметрії)	0,127	-0,715	-0,630	-0,692	-0,094
E (ексцес)	-1,48	-0,739	-0,904	-1,01	-1,41
min (мінімум)	24,0	9,0	12,3	6,2	14,4
max (максимум)	122	29,8	30,7	39,5	386,8
V (коефіцієнт варіації), %	48,1	30,6	25,1	40,8	62,8

Коефіцієнти асиметрії для фітомаси мають від'ємні значення (-0,692 для крони і -0,094 для стовбура), що свідчить про незначну лівосторонню асиметрію розподілу.

Ексцес для фітомаси крони (M_{kr}) становить -1,01, а для фітомаси стовбура (M_{st}) – -1,41. Отже, розподіли цих ознак є туповершинними, тобто значення фітомаси у вибірці менше сконцентровані навколо середнього, ніж у нормальному розподілі, а крайні (дуже великі або дуже малі) значення трапляються рідше. Така форма розподілу характерна для вибірок, де переважають значення, близькі до середнього, а розсіювання ознаки є відносно рівномірним.

Отримані дані кореляційної матриці підтверджують, що фітомаса як крони, так і стовбура зумовлена їхніми біометричними параметрами. Найтісніший зв'язок встановлено між віком, діаметром та висотою дерева і його фітомасою, що підтверджує їх використання як надійних індикаторів для оцінювання запасів фітомаси деревостанів (табл. 4).

Усі кореляційні коефіцієнти наближаються до 1, що вказує на тісний позитивний зв'язок між показниками. Зокрема, найвищий зв'язок спостерігається між висотою дерева (h) та діаметром стовбура (d) ($r = 0,990$), а також між віком дерева (a) та фітомасою стовбура (M_{st}) – $r = 0,985$.

Таблиця 4. Кореляційна матриця біометричних показників і фітомаси в сухому стані

Table 4. Correlation matrix of biometric indicators and phytomass in a dry state

Показники	<i>a</i> (вік дерева, роки)	<i>d</i> (діаметр дерева, см)	<i>h</i> (висота дерева, м)	M_{kr} (фітомаса крони, кг)	M_{st} (фітомаса стовбура, кг)
<i>a</i> (вік дерева, роки)	1,000	–	–	–	–
<i>d</i> (діаметр дерева, см)	0,933	1,000	–	–	–
<i>h</i> (висота дерева, м)	0,948	0,990	1,000	–	–
M_{kr} (фітомаса крони, кг)	0,928	0,985	0,983	1,000	–
M_{st} (фітомаса стовбура, кг)	0,985	0,968	0,971	0,955	1,000

Таким чином, наведені у таблиці результати узгоджуються з біологічними закономірностями росту деревних рослин – усі параметри розвиваються синхронно, а біометричні характеристики тісно пов'язані з нагромадженням сухої фітомаси як у кроні, так і в стовбурі. Таким чином, вік і розмірні характеристики дають змогу достовірно прогнозувати масу стовбура.

У процесі математичного моделювання одержано рівняння залежності фітомаси крони сосни в абсолютно сухому стані від біометричних параметрів дерева:

$$M_{kr} = 1,67 \times M_{st}^{0,543} \quad R^2=0,980 \quad (12)$$

$$M_{kr} = 0,252 \times a^{-0,088} \times d^{1,58} \times h^{0,054} \quad R^2=0,980 \quad (13)$$

$$M_{kr} = 2,21 \times a^{-0,167} \times M_{st}^{0,626} \quad R^2=0,979 \quad (14)$$

$$M_{kr} = 0,309 \times d^{1,63} \times h^{-0,180} \quad R^2=0,979 \quad (15)$$

$$M_{kr} = 10,5 \times \ln(M_{st}) - 24,2 \quad R^2=0,951 \quad (16)$$

де: M_{kr} – фітомаса крони в абсолютно сухому стані, кг; M_{st} – фітомаса стовбура в абсолютно сухому стані, кг; a – вік дерева, роки; d – діаметр стовбура на висоті 1,3 м, см; h – висота дерева, м.

Серед отриманих залежностей рівняння 12 і 13 характеризуються високим коефіцієнтом детермінації, який змінюється від 0,951 до 0,980. Для подальшого оцінювання доцільності застосування рівняння 12 здійснено порівняння з існуючими інформаційно-довідковими таблицями пофракційної фітомаси, запропонованими П.І. Лакидою та співавторами (2002, 2011), а також з результатами, отриманими за формулою 12 (рис. 2).

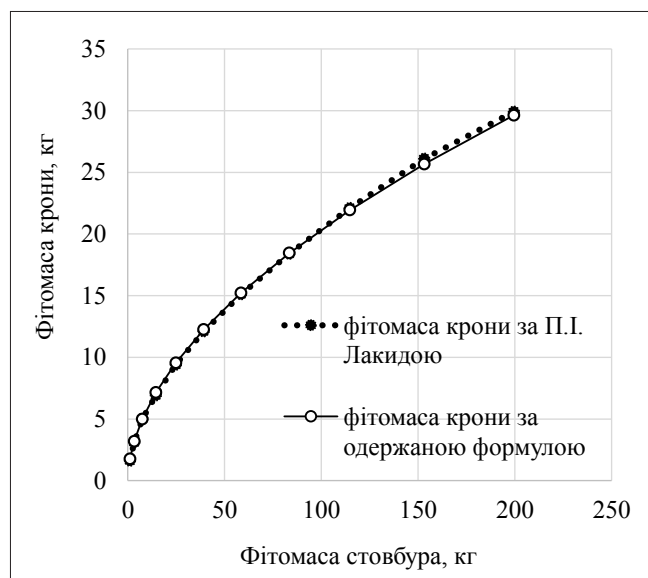


Рис. 2. Порівняння значень фітомаси крони і стовбура дерев *Pinus sylvestris* в абсолютно сухому стані, отриманих П.І. Лакидою та ін. (2002, 2011) і розрахованих за формулою (12)

Fig. 2. Comparative analysis of pine crown phytomass in oven-dry state according to P.I. Lakyda et al. (2002, 2011) and calculated by the formula (12)

Порівняння розрахункових значень фітомаси крони зі значеннями в інформаційно-довідкових таблицях показало відхилення не більше ніж на 0,04 %, що дає можливість використовувати модель для оперативного оцінювання фітомаси крони без додаткового корегування.

Запропоновані моделі фітомаси крони і стовбура для сосни звичайної мають високу точність, підтверджену статистичним і порівняльним аналізом, і можуть бути рекомендовані для практичного використання у лісовому господарстві, біомоніторингу та оцінюванні вуглецевого балансу.

Дискусія (Discussion).

Отримані результати щодо структурних і кількісних характеристик фітомаси крони соснових деревостанів Українського Полісся загалом узгоджуються з сучасними науковими уявленнями про алометричні закономірності формування фітомаси у хвойних лісах помірного кліматичного поясу (Bílek et al., 2017; Diéguez-Aranda et al., 2013; Mäkelä & Vanninen, 1998). Виявлена висока варіабельність біометричних ознак і фітомаси крони корелює з результатами досліджень, виконаних у різноманітних екологічних умовах Європи (Sporek & Sporek, 2023; Altanzagas et al., 2020), що підтверджує універсальність виявлених алометричних залежностей. Таким чином, одержані дані узгоджуються як з іноземними, так і вітчизняними джерелами (Bílek et al., 2017; Altanzagas et al., 2020; Лакида, 2002), що засвідчує стабільність основних морфометричних закономірностей формування фітомаси у соснових деревостанах помірної зони.

Встановлені у роботі тісні кореляційні зв'язки між діаметром, висотою та фітомасою крони співвідносяться з висновками щодо ключової ролі розмірних параметрів у формуванні надземної фітомаси (Cao et al., 2019; Bílek et al., 2017). Зокрема, модельні залежності для *Pinus sylvestris* L., отримані у країнах Центральної та Східної Європи, демонструють подібний характер впливу діаметра та висоти дерев на структуру крони (Bílek et al., 2017; Sporek M., Kučerka & Sporek K., 2025).

Варто відзначити, що коефіцієнти детермінації побудованих у дослідженні моделей ($R^2 = 0,93-0,98$) відповідають або перевищують аналогічні показники, наведені у сучасних іноземних публікаціях (Altanzagas et al., 2020; Diéguez-Aranda et al., 2013), що свідчить про високу прогностичну здатність використаних алометричних рівнянь.

Порівняння результатів моделювання з даними нормативно-довідкових таблиць (Лакида, 2002; Білоус та ін., 2021) показало мінімальні відхилення, що також підтверджує відповідність отриманих моделей існуючим стандартам та їхню придатність для практичного застосування у лісовому господарстві.

Одержані результати узгоджуються із сучасними уявленнями про вплив віку, бонітету та екологічних чинників на формування фітомаси крони, що відзначено у низці досліджень для різних регіонів

Європи та Азії (Aguirre et al., 2020; Lisitsyn et al., 2024). Зокрема, пластичність крони сосни звичайної у відповідь на конкуренцію та аридність середовища підтверджена роботами Aguirre et al. (2020) та Mäkelä, & Vanninen (1998).

Важливо підкреслити, що використання сучасних алометричних моделей для оцінювання фітомаси крони актуально не лише для локальних інвентаризацій, але й для задач моніторингу вуглецевого балансу та верифікації даних дистанційного зондування (Moroz et al., 2020; Moroz, & Nykytiuk, 2020; Moroz, & Nykytiuk, 2021; Vasylyshyn et al., 2021).

Таким чином, результати проведеного дослідження узгоджуються із загальноновизнаними тенденціями, відображеними у сучасних міжнародних наукових працях, та розширюють емпіричну основу для моделювання біопродуктивності соснових лісів в умовах Українського Полісся.

Практична цінність запропонованих моделей полягає у можливості їх використання для оперативного оцінювання фітомаси крони в процесі лісотаксації, обґрунтування лісгосподарських рішень, а також для проведення довгострокового екологічного моніторингу стану деревостанів.

Висновки (Conclusions).

1. Встановлено високий рівень варіабельності біометричних показників і фітомаси крони у модельних дерев ($n = 40$); коефіцієнти варіації для віку, діаметра, висоти, маси гілок і деревної зелені становлять 25-48%.

2. Виявлено тісний кореляційний зв'язок між біометричними параметрами та фітомасою крони ($r = 0,879-0,990$), що сприяло розробленню надійних степеневих регресійних моделей для оцінювання маси гілок та деревної зелені як у сирому, так і в абсолютно сухому стані. Найбільш інформативними предикаторами виступають діаметр на висоті 1,3 м та висота дерева.

3. Розроблені алометричні рівняння для оцінювання фітомаси крони мають високі коефіцієнти детермінації ($R^2 = 0,93-0,98$) і мінімальну похибку при порівнянні з нормативно-довідковими матеріалами (відхилення не перевищує 0,04%), що підтверджує придатність моделей для практичного застосування у лісовпорядкуванні, моніторингу біопродуктивності та оцінюванні вуглецевого балансу.

4. Найбільш надійною для оцінювання фітомаси крони є модель із використанням фітомаси стовбура, оскільки вона інтегрує інформацію про діаметр, висоту і щільність деревини, забезпечуючи найнижчу помилку прогнозування.

5. Перспективи подальших досліджень полягають у розширенні вибірки для різних регіонів, типів лісу та вікових груп, а також у розробленні моделей для інших видів дерев і впровадженні результатів у системи цифрового лісового моніторингу.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Aguirre, A., Río, M., & Condés, S. (2020). Crown plasticity of five pine species in response to competition along an aridity gradient. *Forest Ecology and Management*, 473, 118302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118302>
- Altanzagas, B., Dorjsuren, C., Garden, B., Gerelbaatar, S., & Tunglag, M. (2020). Tree-level above-ground biomass equations for *Pinus sylvestris* L. in Mongolia. *Mongolian Journal of Biological Sciences*, 18, 13-21. <https://doi.org/10.22353/mjbs.2020.18.02>
- Bílek, L., Vacek, Z., Sharma, R., & Vacek, S. (2017). Modelling crown width–diameter relationship for Scots pine in Central Europe. *Trees*, 31, 1875-1889. <https://doi.org/10.1007/s00468-017-1593-8>
- Bilous, A.M. (2009). *Aboveground phytomass and deposited carbon of aspen stands in the Eastern Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0409U003699> [Білоус, А.М. (2009). Надземна фітомаса та депонований вуглець осикових деревостанів східного Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Bilous, A., Kashpor, S., Myronyuk, V., Svinchuk, V., & Lesnik, O. (2021). *Forest Taxation Handbook*. Kyiv: Vinichenko Publishing House [Білоус, А.М., Кашпор, С.М., Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., Лесник, О.М. (2021). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко». 424 с.] (In Ukrainian)
- Bilous, Z.P., Vainahyi, I.V., Holubets, M.A., Kovalenko, A.P., & Malinovsky, K.A. (1975). *Biological productivity of spruce forests in the Carpathians*. Kyiv: Naukova Dumka. [Білоус, З.П., Вайнагий, І.В., Голубець, М.А., Коваленко, А.П., Малиновський, К.А. (1975). *Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат*. Київ: Наукова думка. 240 с.] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, I.V. (2008). *Productivity and aboveground phytomass of alder stands in the Western Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0408U000925> [Блищик, І.В. (2008). Продуктивність та надземна фітомаса вільхи клейкої у деревостанах Західного Полісся України (дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Blyshchyk, I.V. (2008). *Productivity and aboveground phytomass of black alder in stands of the Western*

- Polissya of Ukraine* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0408U000925> [Блищик, І.В. (2008). Продуктивність та надземна фітомаса вільхи клейкої у деревостанах Західного Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Cao, X., Wu, Y., Wu, X., Zheng, X., Wang, Y., Ren, W., Li, Y., & Zhou, H. (2019). An expanded allometric model for crowns of four co-existing desert shrubs. *Trees*, 33, 1423-1433. <https://doi.org/10.1007/s00468-019-01869-8>
- Diéguez-Aranda, U., Crecente-Campo, F., Castedo-Dorado, F., Gómez-García, E., & Álvarez-González, J. (2013). Development of crown profile models for *Pinus pinaster* Ait. and *Pinus sylvestris* L. in northwestern Spain. *Forestry*, 86, 481-491. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt019>
- Holubets, M.A., & Polovnikov, L.I. (1975). *General patterns of phytomass accumulation in spruce forests*. In: *Biological productivity of spruce forests in the Carpathians*. Kyiv: Naukova Dumka. [Голубець, М.А., Половніков, Л.І. (1975). Загальні закономірності нагромадження фітомаси в смерекових лісах. Біологічна продуктивність смерекових лісів Карпат. Київ: Наукова думка.] (in Ukrainian)
- Kellomäki, S., & Strandman, H. (1995). A model for the structural growth of young Scots pine crowns based on light interception by shoots. *Ecological Modelling*, 80(2-3), 237-250. [https://doi.org/10.1016/0304-3800\(94\)00065-P](https://doi.org/10.1016/0304-3800(94)00065-P)
- Kolosok, O.M. (2002). *Productivity and structure of phytomass in artificial Norway spruce stands in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Kyiv. 20 p. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0403U000083> [Колосок, О.М. (2002). Продуктивність і структура фітомаси штучних лісостанів ялини звичайної в Українських Карпатах (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I. (2002). *Phytomass of forests of Ukraine*. Ternopil: Zbruch. ISBN 966-528-160-7 [Лакида, П.І. (2002). Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч. 256 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Moroziuk, O.V. (2011). *Forests of Cherkasy region: bioproductivity and dynamics*. Korsun-Shevchenkivskyi: V.M. Havryshenko. ISBN 978-966-2464-08-5 [Лакида, П.І., Морозюк, О.В. (2011). Ліси Черкащини: біопродуктивність і динаміка. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В.М. 222 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., & Shamrai, A. Ye. (2013). Aboveground phytomass and deposited carbon of Scots pine trees in artificial stands of the Cherkasy Forest. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 23(1), 10-13. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_1/8_Lak.pdf [Лакида, П.І., Шамрай, А.Є. (2013). Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах Черкаського бору. Науковий вісник НЛТУ України, 23(1), 10-13.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Bilous, A.M., & Vasylyshyn, R.D. (2010). *Aspen stands of the Eastern Polissya of Ukraine – aboveground phytomass and deposited carbon*. Korsun-Shevchenkivskyi: I.S. Maidachenko. <https://dnsgb.com.ua/novini/novi-nadhodzhennya/2013/listopad/lakida-petro-ivanovich.osichniki-shidno-go-polissya-ukraini-nadzemna-fitomasa-ta-deponovaniy-vuglec-tekst-monografiya-p.-i.-lakida-a.-m.-bilous-r.-d.-vasilishin.-korsun-shevchenkivskij-fop-majdachenko-i.-s.-2010.-256-s/> [Лакида, П.І., Білоус, А.М., Васишлин, Р.Д. (2010). Осичники Східного Полісся України – надземна фітомаса та депонований вуглець. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.С. 255 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Matushevych, L.M., & Blyshchuk, V.I. (2012). Methodological aspects of assessment of biotic productivity of tree crown components. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series "Forestry and Ornamental Gardening"*, 171(2), 54-60. <https://newlibrary.snau.edu.ua/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?biblionumber=108447> [Лакида, П.І., Матушевич, Л.М., Блищик, В.І. (2012). Методологічні особливості оцінки біотичної продукції компонентів крони дерев. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво», 171(2), 54-60] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn, R.D., Lashchenko, A.H., & Terentiev, A. Yu. (2011). *Reference Book of Standards for the Assessment of Aboveground Phytomass Components of Trees of Main Forest-Forming Species of Ukraine*. Kyiv: Vydavnychiy dim "EKO-inform". 192 p. ISBN 978-966-97171-1-5 [Лакида, П.І., Васишлин, Р.Д., Лашченко, А.Г., Терентьев, А.Ю. (2011). Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України. Довідник. Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ». 192 с.] (in Ukrainian)
- Lisitsyn, V., Novikov, A., & Novikova, T. (2024). Growth dynamics of *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) H. Karst., and *Pinus sibirica* Du Tour coniferous stands: modified model. *Forestry Engineering Journal*, 2, 54-69. <https://doi.org/10.34220/issn.2222-7962/2024.2/4>
- Mäkelä, A., & Vanninen, P. (1998). Impacts of size and competition on tree form and distribution of aboveground biomass in Scots pine. *Canadian Journal of Forest Research*, 28, 216-227. <https://doi.org/10.1139/x97-199>
- Matushevych, L.M. (2021). *Primary production of stands of main forest-forming tree species of the*

- Eastern Polissya of Ukraine (methodology, information support, dynamics)* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0521U101823> [Марусевич, Л. М. (2021). Первинна продукція деревостанів головних лісотвірних порід Східного Полісся України (методологія, інформаційне забезпечення, динаміка) (дис. ... док. с.-г. наук: 06.03.02). Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування.] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., & Nykytiuk, Yu.A. (2021). Current condition of pine stands in Kyiv Polissia under influence of ecological factors. *Reclamation and Water Management*, 2(114), 139-149. <https://doi.org/10.31073/mivg202102-302> [Мороз, В.В., Никитюк, Ю.А. (2021). Сучасний стан соснових насаджень Київського Полісся за впливу екологічних чинників. *Меліорація і водне господарство*, 2(114), 139-149] (in Ukrainian)
- Moroz, V.V., Nykytiuk, Y.A., Nykytiuk, P.A., Kliuchevych, M.M., & Komorna, O.M. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Journal of Ecology*, 10(2), 249-255. <https://www.ujecology.com/articles/carbon-absorption-ability-of-pine-forest-plantations-in-the-ukrainian-polissya.pdf>
- Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2020). Carbon absorption ability of pine forest plantations in Volyn Polissya. *Scientific Horizons*, 23(1), 61-70. <https://doi.org/10.33249/2663-2144-2020-86-1-61-70>
- Moroz, V., & Nykytiuk, Y. (2021). Current state of pineries in Zhytomyr Polissia under the influence of environmental factors. *Scientific Horizons*, 24(8), 37-46. [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(8\).2021.37-46](https://doi.org/10.48077/scihor.24(8).2021.37-46)
- Myakushko, V.K. (1972). Primary biological productivity of pine forests in the Ukrainian Polissya. *Ukrainian Botanical Journal*, 29(3), 328-339. [Мякушко, В.К. (1972). Первинна біологічна продуктивність соснових лісів Українського Полісся. *Український ботанічний журнал*, 29(3), 328-339.] (in Ukrainian)
- Myklush, S.I. (2011). *Plain beech forests of Ukraine: productivity and sustainable management organization*. Lviv: ZUKTs. 259 p. ISBN 978-966-1518-73-4 [Миклуш, С.І. (2011). *Рівнинні букові ліси України: продуктивність та організація сталого господарства*. Львів: ЗУКЦ. 259 с.] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P. (2011). *Bioproductivity of forests in the North-East of Ukraine in the context of changes* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0511U000493> [Пастернак, В.П. (2011). Біопродуктивність лісів Північного Сходу України в контексті змін (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Petrenko, M.M. (2002). *Dynamics of phytomass and deposited carbon in artificial pine plantations of the Ukrainian Polissya* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Kyiv. 17 p. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0403U000082> [Петренко, М.М. (2002). Динаміка фітомаси та депонованого вуглецю в штучних насадженнях сосни Полісся України (автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Polovnikov, L.I. (1970). Age dynamics of the components of biological productivity of phytomass in spruce communities of Chornohora. *Ukrainian Botanical Journal*, 27(5), 619-624. [Половніков, Л.І. (1970). Вікова динаміка складників біологічної продуктивності фітомаси ялинових ценозів Чорногори. *Український ботанічний журнал*, 27(5), 619-624] (in Ukrainian)
- Sporek, M., & Sporek, K. (2023). Allometric model of crown length for *Pinus sylvestris* L. stands in south-western Poland. *Forests*, 14(9), 1779. <https://doi.org/10.3390/f14091779>
- Sporek, M., Kučerka, M., & Sporek, K. (2025). Verification of the Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) crown length model. *Applied Sciences*, 15(6), 3124 <https://doi.org/10.3390/app15063124>
- Tsurik, Ye.I. (2006). *Mensuration of a tree and its parts*. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Цурик, Є.І. (2006). *Таксація дерева та його частин*. Львів: НЛТУ України. 328 с.] (in Ukrainian)
- Varo-Martínez, M., & Navarro-Cerrillo, R.M. (2021). Assessing tree health by canopy biophysical traits: detecting crown decline in pine forests. *Forest Ecology and Management*, 479, 118622. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118622>
- Vasylyshyn, R.D. (2007). *Productivity and above-ground phytomass of silver fir forest stands in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0407U003855> [Василишин, Р.Д. (2007). Продуктивність та надземна фітомаса лісостанів ялиці білої в Українських Карпатах (дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R.D. (2014). *Productivity and ecological-energy potential of forests in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine). Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0514U000417> [Василишин, Р.Д. (2014). Продуктивність та еколого-енергетичний потенціал лісів Українських Карпат (дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.02). Київ, Національний університет біоресурсів і природокористування] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Melnyk, O., Lakyda, M., & Rymarenko, Y. (2021). Organic carbon in the

plant biomass of forests in Kyiv region. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(3), 63-71. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.005>

Yang, X., Zhang, Z., Chen, H., Liu, P., Wang, Q., Ai, X., Wang, Y., & Tang, W. (2025). Biomass allocation, carbon content change and carbon stock distribution of Scots pine (*Pinus sylvestris* var. *mongholica*) plantation forests at different stand ages and densities in the sandy area of western Liaoning Province, China. *PeerJ*, 13, 19232. <https://doi.org/10.7717/peerj.19232>

Allometric Models of Crown Biomass of *Pinus sylvestris* L. Based on Tree Biometric Parameters¹

V. Moroz², H. Krynytskyy³

This study focuses on the development of allometric models for accurate estimation of crown biomass of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) based on tree biometric parameters in the Ukrainian Polissia region. The relevance of this paper arises from the need to improve methods for predicting forest ecosystem productivity, which is crucial for forest inventory, carbon balance monitoring, and assessing forest resilience to climate change.

Fieldwork was conducted from 2016 to 2021 on 285 temporary sample plots across three forest management districts within Ukrainian Polissia. Forty sample trees, aged 24-122 years, with diameters ranging from 9.0 to 29.8 cm and heights from 12.3 to 30.7 m, were selected. For each tree, the mass of

branches, needles, and green biomass was determined through field weighing, followed by laboratory determination of moisture content and calculation of oven-dry biomass. The stem biomass was assessed using stereometric methods and reference tables. The statistical analysis included correlation and regression analyses, as well as calculation of key sample statistics.

It was established that oven-dry crown biomass is significantly dependent on tree age, diameter at breast height (DBH), total height, and stem biomass. The mean oven-dry mass of branches was 13.2 kg, and that of needles and green biomass was 26.1 kg, which indicates the predominance of these components in crown structure. Minimum and maximum values for branch biomass ranged from 1.10 to 20.9 kg, and for needles and green biomass – from 6.70 to 37.1 kg. Coefficients of variation for branches and needles with green biomass were 46.1% and 39.8%, respectively, indicating substantial variability among trees of different ages and sizes. Negative values of skewness and kurtosis coefficients for biomass distributions indicate a prevalence of trees with lower crown mass and a flatter-than-normal distribution. High correlation coefficients ($r = 0.879-0.990$) were found between age, DBH, height, and crown biomass, confirming strong interdependence among these variables. Allometric equations for estimating branch, needle, and green biomass were developed, demonstrating high explanatory power ($R^2 = 0.93-0.98$). The proposed equations for stem volume estimation showed minimal deviation from reference tables (up to 0.03%), confirming their practical applicability. The basic density of phytomass fractions was found to correspond to normative values for the region. It was summarized that DBH and height are the most informative predictors of crown biomass, and the developed models can be effectively used to improve the accuracy of forest inventory and productivity monitoring in Scots pine stands.

In conclusion, the practical applicability of the developed allometric models for assessing the productivity of Scots pine forests in Ukrainian Polissia is substantiated. Future research should focus on refining these models by incorporating ecological variables and remote sensing data to enhance the accuracy of crown biomass prediction at the regional scale.

Key words: aboveground productivity; diameter at breast height; tree height; stem volume; power equations; correlation; sample trees.

¹ The work was supported by a grant from the National Research Foundation of Ukraine, No. 2021.01/0184

² *Vira Moroz* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Agrobiotechnology, Director of the Educational and Scientific Center for Sustainable Energy Development and Climate Security. West Ukrainian National University, 11 Lvivska st., Ternopil, 46000, Ukraine. E-mail: vera_moroz@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1457-4641>

³ *Hryhoriy Krynytskyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, President of FAS of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry at Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

2. ЛІСОЗНАВСТВО, ЛІСІВНИЦТВО ТА МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412504>
Article received 2025.01.22
Article revised 2025.02.14
Article accepted 2025.07.03
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Valentyna Meshkova
Valentynameshkova@gmail.com
86, Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine

UDC 630.4

Dynamics of Scots pine health after the release of *Thanasimus formicarius* in bark beetle foci

V. Meshkova¹, A. Vorobei², E. Vorobei³, D. Baturkin⁴

*In Eastern Polissia, a severe decline of Scots pine started in 2015. It was caused by drought and aggravated by outbreaks of *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) followed by *Ips sexdentatus* (Börner, 1776). The sanitary felling could not mitigate the effects of the bark beetle outbreak. Therefore, there was an attempt to release a predatory beetle, *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758) (Coleoptera: Cleridae) into bark beetle foci. In 2018, the rearing of this predator started in the State Specialized Forest Protection Enterprise “Kharkivlisozahyst”, and it was released into the foci of bark beetles in Chernihiv, Sumy, and Kharkiv regions. The study aimed to evaluate the effects of *Th. formicarius* introduction into the foci of bark beetles. For the purpose of analysing the situation, sample plots in the Forest zone, on the border of the Forest and Forest-Steppe, and in the Forest-Steppe zone have been selected. The analysis shows that the outbreak of bark beetles in north-eastern Ukraine started earliest in Chernihiv region (Forest zone) and latest in Kharkiv region (Forest-Steppe zone). Selyaninov's Hydrothermal index was less than the standard of the corresponding natural zones. This contributed to the development of bark beetle populations. In the year of the predator introduction (2018), the bark beetle outbreak began to decline in Chernihiv, culminated in Sumy, and started in Kharkiv. In all years, the diameter of recently died trees was smaller than the average diameter of the stand, that is, the tree mortality was not pathological, because bark beetles infested trees of different sizes. In 2018, the mortality of trees was the highest in Chernihiv region, where the outbreak began earlier. The health of the trees improved, and the proportion of recently died trees decreased in all the sample plots in 2019. The health of the trees worsened in all the sample plots in the following years, due to the new outbreak of bark beetles. The trend and level of tree health*

- ¹ Valentyna Meshkova – Full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Eastern Branch of the Forest Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (Agricultural Sciences), professor, the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>
- ² Alla Vorobei – State Forest Protection Service “Kharkivlisozahyst”, 127 Nezalezhnosti st., Pokotylyvka, 62458, Kharkiv district, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: ov4arenko-mosova@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1057-6022>
- ³ Eugene Vorobei – State Forest Protection Service “Kharkivlisozahyst”, 127 Nezalezhnosti st., Pokotylyvka, 62458, Kharkiv district, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: dgordg.vorobey.212@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1961-1245>
- ⁴ Denys Baturkin – State Forest Protection Service “Kharkivlisozahyst”, 127 Nezalezhnosti st., Pokotylyvka, 62458, Kharkiv district, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: baturkin.denis@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>

worsening were most pronounced in the sample plots in Sumy, where regular sanitary thinning was conducted. Thus, the release of *Th. formicarius* into the bark beetle foci contributed to tree health improvement the following year. However, a one-time predator release could not restrain the new outbreak and prevent further forest decline. It is possible that additional releases of predators can provide long-lasting and environmentally safe pest control.

Key words: *Ips acuminatus*; *Ips sexdentatus*; predator; tree mortality; health index.

Introduction.

A deterioration in the health of many forest tree species has been observed in recent years in various regions (Jaime et al., 2019; Liška, Knížek, & Věle, 2021; Bussotti et al., 2024; Knutzen et al., 2025). This is largely due to a decrease in the amount of precipitation against the background of rising temperatures, which leads to increased evaporation, soil and air drought, and an increase in the frequency and severity of catastrophic events (hurricanes, fires, etc.) (Hlásny, & Turčáni, 2009; Hlásny et al., 2019; Singh et al., 2024). The mineral nutrition of trees, photosynthesis, and metabolism are disrupted. Weakened trees become less resistant to xylophages and pathogens (Lantschner & Corley, 2023; Knutzen et al., 2025). In the new climatic conditions, some species of minor importance have advantages for development, survival, and range expansion (Fischbein & Corley, 2022).

The conifers, Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) and Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), the most economically important tree species in Europe, were most affected (Brichta et al., 2023). Spruce forests were infested by *Ips typographus* (Linnaeus, 1758), and pine forests by *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827) (Colombari et al., 2013; Knížek, Liška, & Věle, 2022).

In Ukraine, pine forest areas subordinated to the State Forest Resources Agency of Ukraine (SFRAU) occupy 2.4 million hectares, including 66.7% in the Forest zone, and 26% in the Forest-steppe zone (Buksha et al., 2021). Since 2010, a sharp deterioration in the health of the Scots pine forests has occurred in Ukraine, which was initially attributed to climatic factors. However, by 2017, *I. acuminatus* had been found to infest weakened stands. This species replaced *Tomicus* sp., due to its ability to colonise almost healthy trees (temporarily weakened, for example, by drought), develop in several generations per year, and successfully reproduce in thin branches and logging debris (Meshkova, 2021).

The foci of bark beetles developed over a larger area in the Forest zone with more pure pine stands of the same age, and relatively slow drying of felling residues (Meshkova & Borysenko, 2018; Meshkova & Bobrov, 2020).

Trees, severely weakened by drought and *I. acuminatus*, are infested by *Ips sexdentatus* (Börner, 1776), which also has several generations (Erdoğan, 2024). As the foci of these species collapsed, the abundance of *Tomicus piniperda* (Linnaeus, 1758) and *T. minor* (Hartig, 1834) increased (Андреева, Вишневецький, Болюх, 2019). However, *Ips acuminatus* again dominated in the new outbreak that began in 2019 (Мартиненко, 2025).

In Eastern Polissia, a pathological decline of Scots pine trees started in 2015 in the mature pure stands of the State Enterprise “Oster Forestry” (Chernihiv Region) (Жежжун, & Порохняч, 2019). As of the end of 2017, foci were present in the forests of Chernihiv region and the Forest zone of Sumy region. The first dead trees appeared singly or in groups, mainly in the southern and southwestern edges near open areas (clear-cuts, glades, etc.). Later, the foci rapidly expanded and in some cases were continuous (Порохняч, 2018).

In 2017, no significant differences were found in the parameters of *I. acuminatus* outbreak between sample plots in the Forest-Steppe and Forest parts of Sumy region (Meshkova, & Bobrov, 2020). However, in both regions, the average outbreak area, bark beetles' production, the number of infested trees, tree health indices, the proportion of recently died trees, the density of egg galleries, nuptial chambers, and young beetles were higher in pure Scots pine stands than in the mixed ones, and these indicators increased sharply from June to September.

The sanitary felling is the main way of mitigating the effects of the bark beetle outbreak. Doing it timely allows for reducing the bark beetle population and obtaining commercial timber before infested trees are inhabited by longhorn beetles and destroyed by wood-destroying fungi. However, the removal of drying and especially recently died trees leads to a decrease in the number of saproxylic species that contribute to the rapid decomposition of felling residues, and entomophages that can provide long-lasting and environmentally safe pest control (Riddick, 2023; Papek et al., 2025).

Among the entomophages, *Thanasimus formicarius* (Linnaeus 1758) (Coleoptera: Cleridae) is one of the most abundant bark beetle predators in Europe (Kenis et al., 2017; Papek et al., 2025; Schroeder, Knape, & Kärvelo, 2025). It preys on many xylophagous insects, including *I. typographus*, *I. acuminatus*, *I. sexdentatus*, *T. minor* (Hart.), and *T. piniperda*. Since 2006, *Th. formicarius* has been reared in laboratories and released for the biological control of bark beetles in Turkey (Akyol & Sarikaya, 2017).

In 2018, the rearing of *Th. formicarius* started in the State Specialized Forest Protection Enterprise “Kharkivlisoahyst”, and since 2018, this predator has been released into the foci of bark beetles in Chernihiv, Sumy, and Kharkiv regions of Ukraine. According to the 2020 assessment, the density of larval galleries of the bark beetle decreased in all the plots compared to 2018, and forest health improved (Meshkova et al., 2021). However, a new outbreak of bark beetles

started in north-eastern Ukraine in 2021. Therefore, it was important to find out whether single introductions of *Th. formicarius* could control bark beetle populations in the long term.

The object of research was the dynamics of Scots pine health in the bark beetle foci. The subject of research was the consequences of *Th. formicarius* introduction in the bark beetle foci for Scots pine health. The study aimed to evaluate the effects of *Th. formicarius* release into the foci of bark beetles. The tasks included: 1) analysis of long-term dynamics of bark beetle outbreaks' area in the north-east of Ukraine in the period 2015-2024 taking into account weather conditions; 2) assessment of the health of Scots pine (2018-2023) after predator introduction in 2018; 3) assessment of the diameter of dead and living trees in 2019 and 2023.

Material and methods.

Data on the long-term dynamics of bark beetle outbreaks' area were obtained from the archive of the State Specialized Forest Protection Enterprise "Kharkivlisozahyst" (Sumy and Kharkiv regions) and the State Forest Resources Agency of Ukraine (Chernihiv region).

Weather parameters for the years of research were obtained from the website ClimateCharts.Net (Zepner et al., 2021) based on data from Chernihiv meteorological station (51.49111°N; 31.29861°E) – Forest zone; Konotop (51.2403200°N; 33.2026300°E) – border between Forest and Forest-Steppe zones; Kharkiv (49.9808100°N; 36.2527200°E) – Forest-Steppe zone.

Selyaninov's Hydrothermal Index – HTI was calculated by the formula:

$$HTI = 10 \frac{\sum P}{\sum t}, \quad (1)$$

where $\sum P$ is the amount of precipitation for the period with mean monthly air temperature over 10°C, mm; $\sum t$ is the sum of daily air temperatures for the same period, °C.

For a comparative analysis of pine stands' health after the introduction of the predator, we selected sample plots in the Forest zone (Chernihiv region: Yalivschyna Regional Landscape Park and "Sviate" tract), on the border of the Forest and Forest-Steppe (Sumy region: Konotop), and in the Forest-Steppe (Sumy region: Sumy, Okhtyrka; Kharkiv region: Babai) (Fig. 1).

All the sample plots where the health of Scots pine trees was monitored in the period 2018-2020 and 2023 are located in fresh, relatively poor forest site conditions, in pure stands (100% Scots pine) aged 65-75 years with a relative density of stocking of 0.6-0.8. After predator introduction, no sanitary felling was conducted in these stands to assess the long-term effect of this measure. The exception was the sample plots near Sumy, where selective sanitary felling is regularly conducted, which can serve as a control.

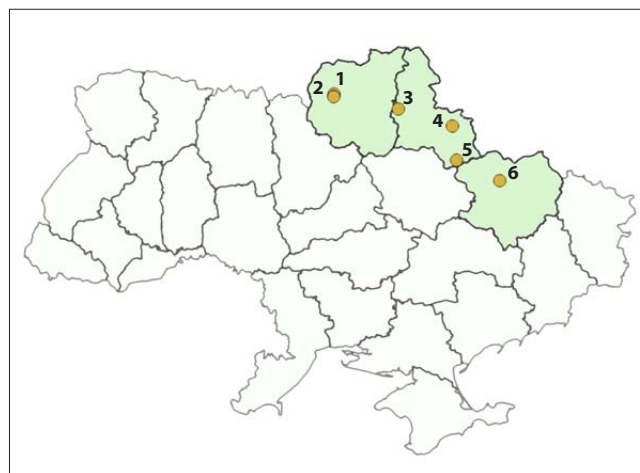


Fig. 1. Location of sample plots in the map of Ukraine.
Chernihiv region: 1 – Regional Landscape park "Yalivshchyna"; 2 – "Sviate" tract.
Sumy region: 3 – Konotop; 4 – Sumy; 5 – Okhtyrka.
Kharkiv region: 6 – Babai

At the sample plots, the diameter at breast height (DBH) of all trees was measured with an accuracy of 1 cm. In the period 2018-2020, and then in 2023, each tree was assigned to one of six classes of health condition: 1st – healthy; 2nd – weakened; 3rd – severely weakened; 4th – drying-out; 5th – recently died; 6th – died over a year ago (Sanitary Forests Regulations in Ukraine, 2016).

Health indices for all living and dead trees (HI_{1-6}) and for living trees (HI_{1-4}) have been calculated. The use of HI_{1-4} reflects the real health condition of stands, especially those where sanitary felling has not been conducted for a long time (Meshkova, Bobrov, 2020).

Tree mortality for each sample plot was calculated as the proportion of recently died trees (5th health class) of the number of trunks in 2018.

Normality of data on tree health condition was not confirmed by the Shapiro-Wilk test ($p > 0.05$), and the samples of dead trees were too small to use parametric tests for analysis. Therefore, we compared the groups of trees using non-parametric methods (Kruskal-Wallis test). Tukey's honest significant difference test was used to compare all possible pairs of means from a set of groups (Peck, Short, & Olsen, 2020).

Spearman's coefficient was evaluated for the correlation between Scots pine decline area and Selyaninov's Hydrothermal index.

Microsoft Excel (2019, Microsoft Corporation, Redmond, WA, USA, 2019) and the statistical software package PAST (54.5.12, Øyvind Hammer, Natural History Museum, University of Oslo, Oslo, Norway, 20253 (Hammer, Harper, & Ryan, 2001) were used for data analysis and visualization. QGIS 3.40.5 was used for map building (QGIS 3.40.5).

Results.

An analysis of archival data showed that Scots pine decline caused by bark beetles in the northeast of Ukraine began in 2016. It was most severe in Chernihiv region (Forest zone), and less severe in Sumy

region, located partly in the Forest zone and partly in the Forest-Steppe zone (Fig. 2).

In Kharkiv region area, located partly in the Forest-Steppe and partly in the Steppe, bark beetle outbreaks were recorded later, and over a smaller area. After the outbreaks collapsed in 2019-2020, a new increase in bark beetles populations and the area of Scots pine dieback has begun, which was most severe in Chernihiv region (see Fig. 2). We must note, however, the

data on bark beetle outbreaks in Kharkiv and Sumy regions in recent years are incomplete due to military actions and limited access to forests contaminated with explosive devices.

During the analyzed period, Selyaninov's Hydrothermal Index (HTI) in Chernihiv was lower than the standard value for the Forest zone (HTI=1.3). It was higher than the standard for the Forest-Steppe zone (HTI=1.0) only in 2021 (Fig. 3).

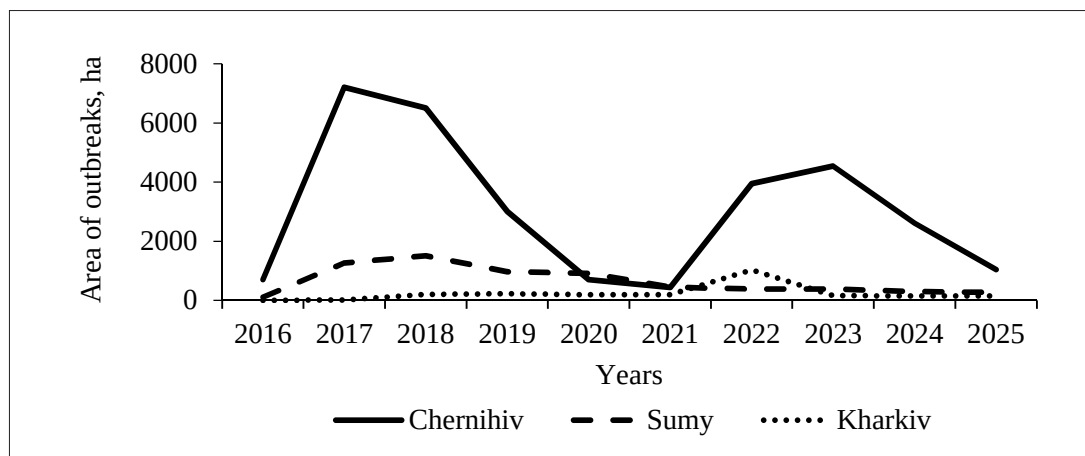


Fig. 2. Dynamics of the area of Scots pine decline caused by bark beetles in the northeast of Ukraine (by regions)

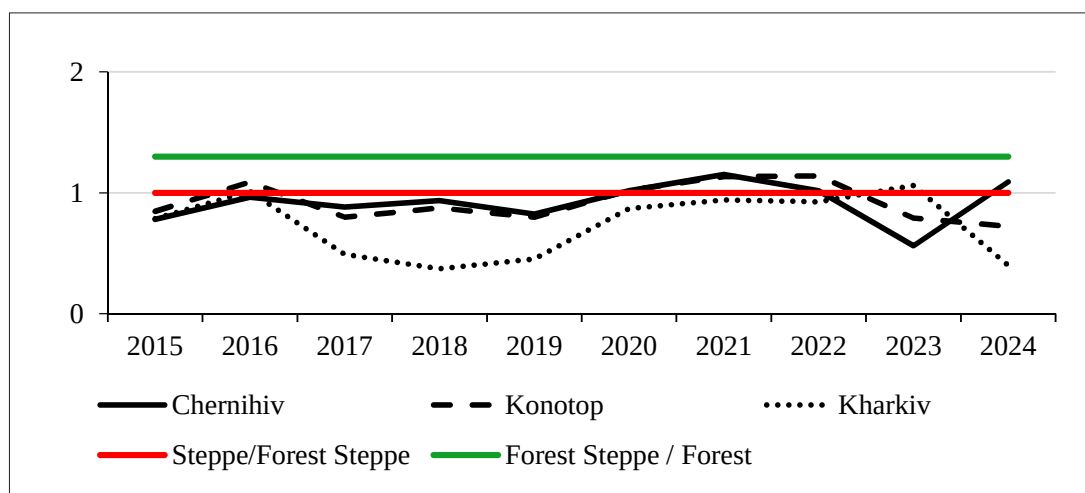


Fig. 3. Dynamics of Selyaninov's Hydrothermal index (HTI) for some points in the study area (Chernihiv – Forest zone; Konotop – border between Forest and Forest-Steppe zones; Kharkiv – Forest-Steppe zone). The standard HTI=1.3 for the Forest zone (green) and HTI=1.0 for the Forest-Steppe zone (red) are shown

The HTI values in Konotop, which is located on the border of the Forest and Forest-Steppe zones, were lower than the standard value for the Forest zone in all years and exceeded its value for the Forest-Steppe zone only in 2016 and 2021. The HTI values in Kharkiv were lower than the standard value for the Forest-Steppe in all years, and in the period 2017-2019, they were only 37.7, 28.5, and 34.9% of it (see Fig. 3). The next period of the HTI decrease in Chernihiv began in 2021, but in 2023, it increased to 1.1. The HTI decreased from 2022 to 2024 in Konotop and from 2023 to 2024 in Kharkiv (see Fig. 3).

The Spearman correlation between HTI and foci area was low and nonsignificant for all regions (r_s – 0.2; 0.003, and 0.46 for Chernihiv, Konotop, and Kharkiv, respectively; $r_{s0.05}=0.648$). An increase in the outbreak area in Chernihiv region began in 2016, the next year after the low HTI. However, after the low HTI in 2023, the outbreak area decreased in subsequent years. An increase in the outbreak area in Sumy region also began in 2016, the next year after the low HTI. However, the growth of HTI after 2019 was accompanied by a decrease in the outbreak area. In Kharkiv region, despite the HTI decrease in the period 2016-2018, the outbreak

area increased only in 2022, with a subsequent decrease. However, the outbreak area in Kharkiv region might be underestimated because of the military actions and limited accessibility to forests.

Thus, the predator was introduced in 2018 into all the sample plots which are considered here. However, as can be seen from Fig. 2, in 2018, in Chernihiv region the outbreak passed its culmination, in Sumy it was at its peak, and in Kharkiv it began to increase.

The mortality of Scots pine trees in 2018 in the sample plots ranged from 1 to 5.6% (Fig. 4) and was the highest in the northern part of the study area (Forest zone), where the bark beetle population has increased since 2015 (see Fig. 2).

In 2019 (see Fig. 4), a sharp decrease in mortality occurred in all the sample plots, except for Konotop and Sumy. The tree mortality continued decreasing in 2020 in Yalivshchyna and Konotop; mortality remained unchanged in "Svyate" and increased in Sumy, Babai, and, most noticeably, in Okhtyrka (8.8%). In 2023, tree mortality continued to grow because of a new outbreak of bark beetles and an increase in the area of Scots pine decline in north-eastern Ukraine (see Fig. 2).

In 2018, the HCI_{1-6} , considering living and dead trees, characterized the stands as severely

weakened (within 2.51-3.5 according to Sanitary Forests Regulations in Ukraine, 2016) in Babai, Okhtyrka, Konotop, and "Svyate", as drying up (within 3.51-4.5) in Sumy and RLP Yalivshchyna (Fig. 5).

The following year after the introduction of predators into the bark beetle foci, the health condition of the stands improved in all the sample plots, except Sumy, where selective sanitary felling was conducted. The HI_{1-6} , decreased in 2019 by 0.1-0.4 points. However, in 2020, a new outbreak of bark beetles started in the northeast of Ukraine. In 2020, the HI_{1-6} increased compared to 2019 in all the sample plots, but was lower than in 2018 in RLP Yalivshchyna and "Svyate", similar to 2018 in Konotop, and exceeded the values of previous years in Sumy, Okhtyrka, and Babai. As of 2023, the Scots pine stands in Babai, Konotop and "Svyate" were significantly weakened ($HI_{1-6} = 2.51-3.5$), and RLP Yalivshchyna, Okhtyrka, and Sumy are drying out. At the same time, the selective sanitary felling in Sumy did not contribute to a decrease in the weakening of trees.

Considering only living trees in HI_{1-4} , the health of the stands improved the year after the predator's introduction, although the stands remain very weakened (Fig. 6).

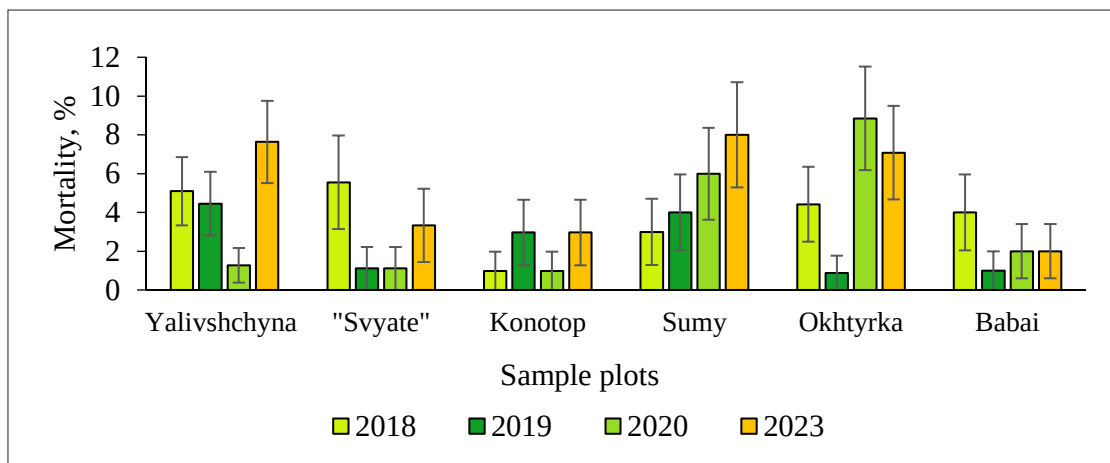


Fig. 4. Tree mortality in sample plots as a percentage of the total tree number in 2018 (bars – St. error)

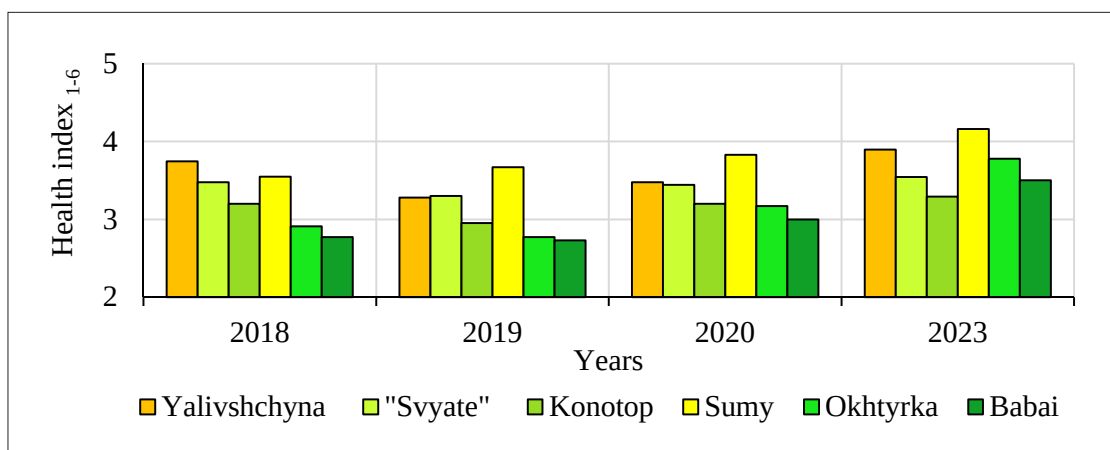


Fig. 5. Health index considering all living and dead trees (HI_{1-6}) in the sample plots in the period 2018-2023

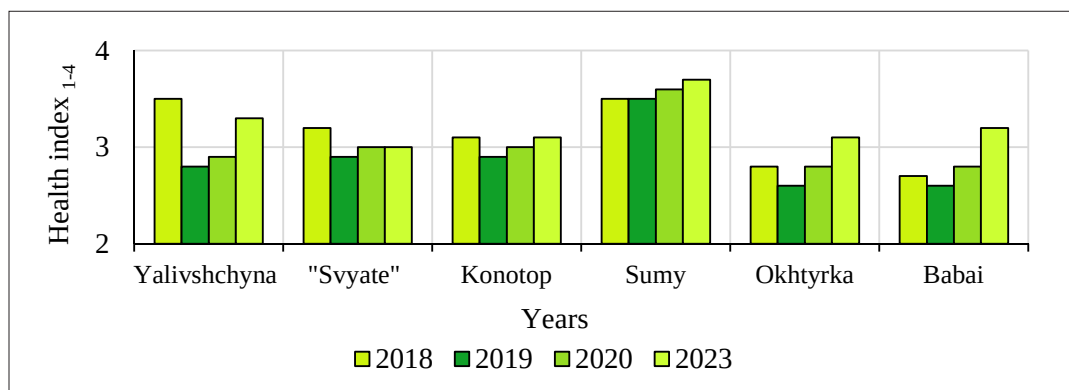


Fig. 6. Health index considering only living trees (HI_{1-4}) in sample plots in the period 2018-2023

In 2020, the HI_{1-4} increased compared to 2019, but was less than in 2018, and even in 2023, exceeding the 2018 value only in Okhtyrka and Babai, although the stands remain very weakened. The Shapiro-Wilk test showed that the distribution of trees by health condition is not normal ($p < 0.05$). Therefore, the data on tree health were compared using nonparametric methods. The Kruskal-Wallis test for equal medians showed significant differences between sample plots by HI_{1-4} in all years of the study, with the H (χ^2) decreasing from 93.05 in 2018 to 85.5 in 2019, 56.8 in 2020, and 40.6 in 2023. According to the Tukey criterion, in 2023, HI_{1-4} in Sumy significantly differed from all the other sample plots ($p < 0.001$).

In 2019, the diameter of recently died trees (5th health class) was smaller than the average diameter of the stand in all the sample plots (Fig. 7). However, the differences were significant only in RLP Yalivshchyna

and "Svyate" (H (χ^2) = 14.83; $p < 0.001$; and H (χ^2) = 15.26; $p < 0.001$, respectively). That is, the mortality was not pathological in these sample plots. The Kruskal-Wallis test for equal medians for other sample plots showed no significant differences between recently died trees and the average diameter of the stand (H (χ^2) – 0.68-4.15; $p = 0.1-0.7$).

In 2023, the diameter of recently died trees was the same as the average diameter of the stands in RLP Yalivshchyna, Sumy, and Okhtyrka (H (χ^2) – 3.99-4.15; $p > 0.1$).

In 2023, in Konotop, the diameter of recently died trees (34 cm) was less than the average diameter of the stand (36 cm). In "Svyate" and Babai, the diameter of recently died trees (36 cm) was greater than the average diameter of the stand (32 and 28 cm, respectively). However, such differences were insignificant (H (χ^2) – 0.68-1.93; $p = 0.37-0.7$).

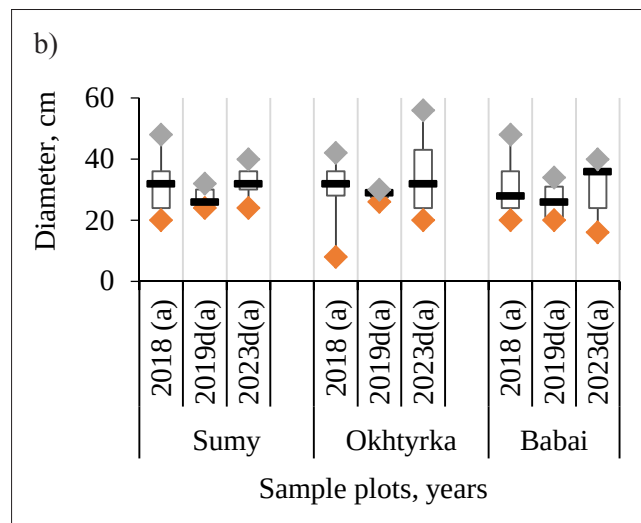
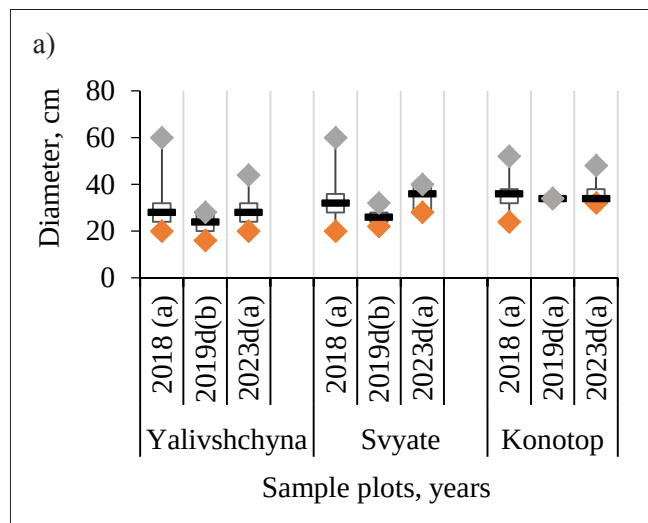


Fig. 7. Diameters of living (2018) and dead (2019, 2023) trees in sample plots (box – 25-75 percentiles with a median inside (dark line); whiskers are max-min; letters in the parentheses show the significant differences at $p < 0.05$) (a – three northern points; b – three southern points)

Discussion.

Classical biocontrol aims to keep pest populations below a damage threshold and to maintain an ecological equilibrium at lower population levels between the pest and its natural enemies (Kenis et al., 2017;

Goundar et al., 2025). Coleopteran predators are often released to control bark beetle populations (Khobakhidze, Tvaradze, & Kraveishvili, 1970; Klapwijk et al., 2016; Vasadze, Dumbadze, & Gatenadze, 2024). Predators are mass-produced and released to the foci

of bark beetles (Riddick, 2023). Two predators were successfully used in bark beetle outbreaks. *Rhizophagus grandis* Gyllenhal, 1827 (Coleoptera: Monotomidae) is an effective specific predator of *Dendroctonus micans* (Kugelann, 1794) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) (Alkan Akıncı, & Grégoire, 2025). Mass rearing programs of this predator and its releases in bark beetle foci have been known from Georgia since 1963 (Kobakhidze et al. 1970; Beridze et al., 2024; Vasadze et al., 2024). Later, such programs started in France, Türkiye, and the UK (Büyükerzi, Özcan, & Sakici, 2022). Unlike *R. grandis*, *Th. formicarius* preys on many bark beetle species in spruce, pine, and broadleaf trees. However, it is most abundant in pine stands. Fecundity of *Th. formicarius* is higher than that of bark beetles (Weslien, 1994). Adults live for several months, prey on numerous species with different phenologies (Schroeder et al., 2025).

The outbreak of bark beetles in the north-east of Ukraine developed later than in Zhytomyr Polissya (Андрєєва та ін., 2019). Within the three regions considered, the outbreak began earlier, was most severe in Chernihiv region (Forest zone), and less severe in Kharkiv region (Forest-Steppe) (see Fig. 2). Within Chernihiv region, the bark beetle outbreaks had spread from the west and northwest to the east (Попх-нч, 2018).

An analysis of data from 16 European countries shows forest decline in northern, central, Alpine, and southern regions due to drought and elevated temperatures (Knutzen et al., 2025). In our studies, the Hydrothermal index in northeastern Ukraine was less than the standard for the corresponding natural zones (see Fig. 3). High temperatures and drought were confirmed as the main causes of the forest decline in Europe. This created conditions for outbreaks of bark beetles and fires. Forests in the southern regions of Europe revealed greater resilience, likely due to historical drought exposure (Knutzen et al., 2025). In the Forest zone of Ukraine, Scots pine also suffered more, since its root system was adapted to the high level of ground waters (Meshkova, 2021).

In Poland, a significant correlation between drought and *I. acuminatus* outbreaks was confirmed (Jabłonski, Tarwacki, & Sukovata, 2019). The absence of significant correlation between the hydrothermal index and bark beetle foci area in this study is due to the various timing of population growth in the highly mosaic forest sites and structure, or with a relatively short observation period.

The predator was released in 2018 in all the sample plots considered in this paper. However, the outbreaks were at different phases: the beginning of decline in Chernihiv, culmination in Sumy, and growth in Kharkiv (see Fig. 2). Usually, the release of entomophages is most effective after the culmination (Kenis et al., 2017), i.e., like in Chernihiv region.

The mortality of trees in 2018 was highest in Chernihiv region, where the outbreak began earlier (Fig. 4). The diameter of recently died trees was

smaller than the average diameter of the stand (Fig. 7). This is consistent with the fact that the mortality was not pathological because bark beetle inhabited trees of different sizes (Meshkova & Borysenko, 2018; Jaime et al., 2019).

In 2019, the proportion of recently died trees decreased sharply in all the sample plots. During the new outbreak of bark beetles, the health of the trees worsened in all the sample plots being most pronounced in Sumy, where regular sanitary thinning was carried out (Fig. 4). It can be assumed that drying and recently died trees, which hosted both bark beetle larvae and their entomophages, were removed due to sanitary felling.

Thus, the release of *Th. formicarius* into the bark beetle foci contributed to tree health improvement the following year. However, a one-time predator release could not restrain the new outbreak and prevent further forest decline. It is possible that additional releases of predators could stabilize the bark beetle population at a low level, as is the case in Georgia using *Rh. grandis* to control *D. micans* (Vasadze et al., 2024).

Conclusions.

1. The outbreak of bark beetles in the north-east of Ukraine started the earliest in Chernihiv region (Forest zone), and the latest in Kharkiv region (Forest-Steppe). The Hydrothermal index in northeastern Ukraine was less than the standard for the corresponding natural zones. This contributed to the development of bark beetle populations.

2. In the year of predator introduction (2018), the bark beetle outbreak began to decline in Chernihiv, culminated in Sumy, and started in Kharkiv.

3. In all years, the diameter of recently died trees was smaller than the average diameter of the stand, that is, the tree mortality was not pathological, because bark beetles inhabited trees of different sizes.

4. In 2018, the mortality of trees was highest in region, where the outbreak began earlier. The health of the trees improved, and the proportion of recently died trees decreased in all the sample plots in 2019. The health of the trees worsened in all the sample plots in the following years, due to the new outbreak of bark beetles.

5. The trend and level of tree health worsening were most pronounced in the sample plots in Sumy, where regular selective sanitary thinning was conducted.

6. A one-time release of *Thanasimus formicarius* into the bark beetle foci is not enough to prevent further forest decline.

Acknowledgments.

The paper was prepared in the framework of a research plan of URIFFM (grant 0120U101891) supported by the State Forest Resources Agency of Ukraine. The authors thank the anonymous reviewers for their valuable advice, useful and constructive recommendations, and text revision.

Conflicts of Interest.

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Akyol, A., & Sarikaya, O. (2017). Situation and evaluation of biological and chemical control applications for forest in Turkey. *Applied Ecology and Environmental Research*, 15, 341-353. https://doi.org/10.15666/aeer/1504_341353
- Alkan Akıncı, H., & Grégoire, J.C. (2025). Investigation of the oviposition and predation impact on *Dendroctonus micans* (Kug.) of wild and laboratory-produced *Rhizophagus grandis* Gyll. on oriental spruce in Türkiye. *International Journal of Tropical Insect Science*, 1-10. <https://doi.org/10.1007/s42690-025-01532-5>
- Andreieva, O. Yu., Vyshnevskiy, A.V., & Boliujh, S.V. (2019). Population dynamics of bark beetles in the pine forests of Zhytomyr region. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(8), 31-35. <https://doi.org/10.36930/40290803> [Андрєєва, О.Ю., Вишневіський, А.В., Болюх, С.В. (2019). Динаміка популяцій короїдів у соснових лісах Житомирської області. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(8), 31-35] (in Ukrainian)
- Beridze, M., Dumbadze, G., Gokturk, T., & Vasadze, R. (2024). Current status of bark beetles distribution and identification in Georgia-Turkey border area. *African Journal of Biological Sciences*, 6(11), 1711-1721. <https://papers.4science.ge/index.php/fetec/article/view/161>
- Brichta, J., Vacek, S., Vacek, Z., Cukor, J., Mikeska, M., Bílek, L., ... & Brabec, P. (2023). Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21st century. *Central European Forestry Journal*, 69(1), 3-20. <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>
- Buksha, I.F., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., Pasternak, V.P., & Buksha, T.I. (2021). Modelling and forecasting the impact of climate change on forests of Ukraine for 21st century time horizon. *Forestry Ideas*, 27(2), 470-482. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/360082545_MODELING_AND_FORECASTING_THE_IMPACT_OF_CLIMATE_CHANGE_ON_FORESTS_OF_UKRAINE_FOR_21ST_CENTURY_TIME_HORIZON
- Bussotti, F., Papitto, G., Di Martino, D., Cocciufa, C., Cindolo, C., Cenni, E., ... & Pollastrini, M. (2024). Extreme climatic events, biotic interactions and species-specific responses drive tree crown defoliation and mortality in Italian forests. *iForest-Bio-geosciences and Forestry*, 17(5), 300. <https://doi.org/10.3832/for4531-017>
- Büyükerzi, A., Özcan, G.E., & Sakici, O.E. (2022). Variations in the attack pattern of *Dendroctonus micans* and the colonization rate of *Rhizophagus grandis* in *Picea orientalis* stands. *Biologia*, 77, 2475-2485. <https://doi.org/10.1007/s11756-022-01090-y>
- Colombari, F., Schroeder, M.L., Battisti, A., & Faccoli, M. (2013). Spatio-temporal dynamics of an *Ips acuminatus* outbreak and implications for management. *Agricultural and Forest Entomology*, 15, 34-42. <https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00589.x>
- Erdoğan, C. (2024). Investigation of possible use of pheromone trap for adult population development and control of *Ips sexdentatus* (Börner, 1776) (Coleoptera: Scolytidae) damaging black pine in Başkent University Bağlıca Campus afforestation area. *Turkish Journal of Entomology*, 48(1), 3-14. <https://doi.org/10.16970/entoted.1352020>
- Fischbein, D., & Corley, J.C. (2022). Population ecology and classical biological control of forest insect pests in a changing world. *Forestry Ecology Management*, 520, 120400 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120400>
- Goundar, P., Slippers, B., Hurley, B.P., & Lawson, S.A. (2025). Classical biological control of bark and wood borers in *Pinus* plantations. *Biological Control of Insect Pests in Plantation Forests*, 321-337. https://doi.org/10.1007/978-3-031-76495-0_13
- Hammer, O., Harper, D.A.T., & Ryan, P.D. (2001). PAST: Paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Hlásny, T., Krokene, P., Liebhold, A., Montagné-Huck, C., Müller, J., Qin, H., ... Viiri, H. (2019). *Living with bark beetles: impacts, outlook and management options. From Science to Policy* 8. European Forest Institute. ISSN 2343-1237 (online)
- Hlásny, T., & Turčáni, M. (2009). Insect pests as climate change driven disturbances in forest ecosystems. In: Strelcová K et al (Eds.) *Bioclimatology and natural hazards*. Springer, Dordrecht, Netherlands, pp. 165-176. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-8876-6_15
- Jablonski, T., Tarwacki, G., & Sukovata, L. (2019). Pine forest conditions in Poland in 2015-2018, *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward: Proceedings of International Scientific and Practical Conference*, 12-13 June 2019 (Kyiv, Ukraine). Kharkiv, Planeta-print, 2019. P. 83-88. ISBN 978-617-7751-30-3
- Jaime, L., Batllori, E., Margalef-Marrase, J., Navarro, M.A.P., & Lloret, F. (2019). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations. *Forest Ecology and Management*, 448, 119-129. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070>
- Kenis, M., Hurley, B.P., Hajek, A.E., & Cock, M.J.W. (2017). Classical biological control of insect pests of trees: facts and figures. *Biology Invasions*, 19(11), 3401-3417. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1414-4>
- Khobakhidze, D.N., Tvaradze, M.S., & Kraveishvili, I.K. (1970). Preliminary results of introduction, study of bioecology, development of methods of artificial rearing and naturalization of the effective entomophage, *Rhizophagus grandis* Gyll., against

- the European Spruce beetle, *Dendroctonus micans* Kugel., in spruce plantations in Georgia. *Bull Acad Sci Georgian SSR*, 60, 205-208.
- Klapwijk, M.J., Bylund, H., Schroeder, M., & Björkman, C. (2016). Forest management and natural biocontrol of insect pests. *Forestry*, 89(3), 253-262. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw019>
- Knížek, M., Liška, J., & Věle, A. (2022). Efficacy of synthetic lures for pine bark beetle monitoring. *Journal of Forest Science*, 68(1), 19-25. <https://doi.org/10.17221/139/2021-JFS>
- Knutzen, F., Averbeck, P., Barrasso, C., Bouwer, L. M., Gardiner, B., Grünzweig, J. M., ... Gliksman, D. (2025). Impacts on and damage to European forests from the 2018-2022 heat and drought events. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 25(1), 77-117. <https://doi.org/10.5194/nhess-25-77-2025>
- Lantschner, M. V., & Corley, J. C. (2023). Spatiotemporal outbreak dynamics of bark and wood-boring insects. *Current Opinion in Insect Science*, 55, 101003. <https://doi.org/10.1016/j.cois.2022.101003>
- Liška, J., Knížek, M., & Věle, A. (2021). Evaluation of insect pest occurrence in areas of calamitous mortality of Scots pine. *Central European Forestry Journal*, 67, 85-90. <https://doi.org/10.2478/forj-2021-0006>
- Martynenko, V. (2025). Distribution and dynamics of the drying areas of pine stands according to forest indicators in the Drevlianskyi nature reserve. *Balanced nature using*, 1, 84-93. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.1.2025.328369> [Мартиненко, В.В. (2025). Розподіл і динаміка площ осередків всихання соснових деревостанів за лісотаксаційними показниками в лісах природного заповідника «Древлянський». *Збалансоване природокористування*, 1, 84-93] (in Ukrainian)
- Meshkova, V. (2021). The lessons of Scots pine forest decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1), 28. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07990/>
- Meshkova, V., & Bobrov, I. (2020). Parameters of *Pinus sylvestris* health condition and *Ips acuminatus* population in pure and mixed stands of Sumy region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 131-140. <https://doi.org/10.15421/412012>
- Meshkova, V., & Borysenko, O. (2018). Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Forestry and Forest Melioration*, 132, 155-161. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.155>
- Meshkova, V. L., Ridkokasha, A. D., Omelich, A. R., & Baturkin, D. O. (2021). The first results of the biological control of *Ips sexdentatus* using *Thanasimus formicarius* in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 138, 91-96. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.138.2021.91>
- Papek, E., Derlić, A., Melin, M., Roques, A., Cocos, D., Schroeder, M. L., ... & Schebeck, M. (2025). Complex population genetic structure of the bark beetle predator *Thanasimus formicarius* (L.) (Coleoptera: Cleridae) across its European range. *Agricultural and Forest Entomology*. <https://doi.org/10.1111/afe.12677>
- Peck, R., Short, T., & Olsen, C. (2020). Introduction to Statistics and Data Analysis; Cengage Learning: Boston, MA, USA. Available online: <http://www.statisticslectures.com/topics/ztestproportions/> (accessed on 2 March 2025).
- Porohnyach, I. V. (2018). Features of spread of *Ips acuminatus* Gyll. in pine stands of Eastern Polissya. *Forestry and Forest Melioration*, 133, 136-141. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.136> [Порохняч, І.В. (2018). Особливості поширення верхівкового короїда в соснових деревостанах Східного Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 133, 136-141] (in Ukrainian)
- QGIS 3.40.5. Available online: <https://qgis.org/en/site/> (accessed on 2 March 2025)
- Riddick, E. W. (2023). Production of coleopteran predators. In: Morales Ramos, J., Rojas, M. G., Shapiro-Ilan, D. I. (ed). Mass production of beneficial organisms: *Invertabrates and Entomopathogens*, Academic Press, Second Edition, 13-36. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-822106-8.00013-0>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF#n11> [Санітарні правила в лісах України (2016). Затв. Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства від 26.10.2016 № 756. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-p>] (in Ukrainian)
- Schroeder, M., Knappe, J., & Kärvelo, S. (2025). Rise and fall of a spruce bark beetle outbreak – Importance of colonisation density and reproductive success. *Forest Ecology and Management*, 586, 122695. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122695>
- Singh, V. V., Naseer, A., Mogilicherla, K., Trubin, A., Zabihi, K., Roy, A., ... Erbilgin, N. (2024). Understanding bark beetle outbreaks: exploring the impact of changing temperature regimes, droughts, forest structure, and prospects for future forest pest management. *Reviews in Environmental Science and Bio/Technology*, 23(2), 257-290. <https://doi.org/10.1007/s11157-024-09692-5>
- Vasadze, R., Dumbadze, G., & Gatenadze, S. (2024). The biodiversity of georgian forests and the current situation. In *5th International Conference of Forest Engineering and Technologies FETEC 2024 "Forest Operation Technologies and Systems for Small-Scale Forestry Applications"* Proceedings (pp. 112-120).
- Weslien, J. (1994). Interactions within and between species at different densities of the bark beetle *Ips typographus* and its predator *Thanasimus formicarius*. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 71, 133-143. <https://doi.org/10.1007/BF02382381>
- Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., & Bernard, L. (2021). ClimateCharts.Net – An interactive climate

analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*, 14, 338-356. <https://climatecharts.net/>
 Zhezhkun, A. M., & Porohnyach, I. V. (2019). Features of drying out in pine stands of Chernihiv region of Ukraine. In *Pine forests: current status, existing problems and ways to solve them: Proceedings of international scientific and practical conference* (pp. 115-117). 12-13 June 2019, Kyiv, Ukraine). Kharkiv, Planeta-print. ISBN 978-617-7751-30-3 [Жежкун, А. М., & Порохняч, І. В. (2019). Особливості висихання соснових деревостанів Чернігівської області. *Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., м. Київ, 12-13 червня, 2019 р. Київ, с 115-117] (in Ukrainian)

Динаміка стану сосни звичайної після випуску *Thanasimus formicarius* в осередки короїдів

В. Л. Мешкова¹, А. Д. Воробей², Є. В. Воробей³,
 Д. О. Батуркін⁴

З 2010 року відбулося різке погіршення стану соснових лісів в Україні. Такий стан спровокований посухою та посиленими спалахами масового розмноження короїдів *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827), а пізніше – *Ips sexdentatus* (Börner, 1776).

У Східному Поліссі висихання сосни розпочалося у 2015 році. До кінця 2017 р. осередки короїдів було виявлено у Чернігівській обл. та лісовій зоні Сумської області. Оскільки вибіркові санітарні рубки не змогли запобігти поширенню осередків короїдів, було застосовано класичний біометод. Хи-

жого жука *Thanasimus formicarius* (Linnaeus, 1758) (*Coleoptera: Cleridae*) з 2018 р. вирощували у Державному Спеціалізованому лісозахисному підприємстві «Харківлісозахист» і випускали в осередки короїдів у Чернігівській, Сумській і Харківській областях. Впродовж 2019-2020 рр. щільність популяцій короїдів зменшилася, а стан дерев покращився. Водночас у 2021 р. розпочався новий спалах масового розмноження короїдів на північному сході України. Мета досліджень полягала в оцінюванні тривалості ефективного впливу внесення хижака *Th. formicarius* в осередки короїдів. Для порівняльного аналізу стану насаджень після внесення хижака ми вибрали пробні площі у лісовій зоні (Чернігівська область: Регіональний ландшафтний парк Ялівщина та урочище «Святе»), на межі лісової та лісостепової зон (Сумська область: Конотоп) та в лісостепу (Сумська область: Суми, Охтирка; Харківська область: Бабаї). Усі пробні площі, на яких здійснювали моніторинг стану сосни у 2018-2020 та 2023 рр., розміщені у свіжому суборі, в чистих соснових насадженнях віком 65-75 років та з відносною повнотою 0,6-0,8. Після випуску хижака санітарних рубок на цих площах не проводили, за винятком пробних площ поблизу Сум, які слугують контролем. Аналіз свідчить, що спалах короїдів на північному сході України розпочався найраніше у Чернігівській, а найпізніше – у Харківській областях. Гідротермічний коефіцієнт Г. Т. Селянінова у період досліджень був меншим, ніж вважається нормою для відповідних природних зон. Це створило умови для ослаблення дерев і поширенню популяцій короїдів. У рік внесення хижака (2018), спалах короїдів починав згасати у Чернігівській, був у фазі кульмінації – у Сумській і на фазі росту – у Харківській областях. В усі роки діаметр свіжого сухостою був меншим, ніж середній діаметр насадження, тобто відпад не був патологічним, оскільки короїди заселяли дерева різного розміру. У 2018 р. відпад дерев був найвищим у Чернігівській області, де спалах короїдів розпочався раніше. Стан дерев покращився, а частка свіжого сухостою зменшилася на всіх пробних площах у 2019 році. Водночас у наступні роки стан дерев погіршився на всіх пробних площах у зв'язку з новим спалахом розмноження короїдів. Тренд погіршення стану насаджень був виражений найбільше на пробних площах у Сумській області, де регулярно проводили вибіркові санітарні рубки з вилученням дерев 4 і 5 категорій стану, в яких переважно перебували хижаки. Отже, внесення *Th. formicarius* в осередки короїдів сприяло поліпшенню стану дерев наступного року. Водночас одноразове внесення хижака не змогло стримати розвиток нового спалаху та запобігти подальшому висиханню насаджень. Можливо, що додатковий випуск хижака сприяв би стабілізації популяції короїдів на низькому рівні.

Ключові слова: *Ips acuminatus*; *Ips sexdentatus*; хижак; відпад дерев; індекс стану.

¹ Мешкова Валентина Львівна – академік Лісівничої академії наук України, керівник Східного відділення ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Воробей Алла Дмитрівна – Державне лісозахисне підприємство «Харківлісозахист», вул. Незалежності, 127, пмт Покотилівка, 62458, Харківський р-н, Харківська обл., Україна. E-mail: ov4arenko-mosova@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1057-6022>

³ Воробей Євген Віталійович – Державне лісозахисне підприємство «Харківлісозахист», вул. Незалежності, 127, пмт Покотилівка, 62458, Харківський р-н, Харківська обл., Україна. E-mail: dgordg.vorobey.212@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1961-1245>

⁴ Батуркін Денис Олександрович – Державне лісозахисне підприємство «Харківлісозахист», вул. Незалежності, 127, пмт Покотилівка, 62458, Харківський р-н, Харківська обл., Україна. E-mail: baturkin.denis@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412505>
Article received 2024.12.02
Article revised 2025.01.08
Article accepted 2025.06.18
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Vandzhurak
pavlov.76@ukr.net

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*181.21 : 630*231.1

Вплив освітленості на інтенсивність процесу природного поновлення

П.І. Ванджурак¹, Ю.М. Дебринюк², С.І. Миклуш³

З'ясовано вплив освітленості під наметом букового деревостану на появу самосіву і густоту підросту в умовах чистої вологої бучини Покутських Карпат після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки. Об'єкти досліджень розташовані у лісовому фонді Березівського л-ва філії «Кутське ЛГ», де в межах науково-виробничого стаціонару було закладено секцію у лісостані *Fagus sylvatica* L. для виявлення впливу рівномірно-поступової рубки на процес природного поновлення. Контролем слугувала ділянка лісостану з такими ж лісівничо-таксаційними показниками, де рубка не проводилась. Деревостани природного походження, пристиглі.

Проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки сприяло суттєвому збільшенню показника освітленості під наметом букового деревостану (з 1,7-2,2 до 11,1-15,0 тис. лк), що інтенсифікувало процес природного поновлення. Здійснення першого прийому рубки у буковому лісостані зі зниженням повноти з 0,94 до 0,72 сприяло збільшенню пропускну здатності намету деревостану з 2,15-2,68 до 13,8-18,7%, що стимулювало збільшення кількості самосіву.

Результати наступних обліків самосіву і підросту через чотири і шість років після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки підтвердили позитивний вплив освітленості на інтенсивність проходження процесу природного поновлення, в результаті якого кількість самосіву збільшилась, відповідно, з 0,21 до 9,8 та 12,9 тис. шт.·га⁻¹, а кількість підросту – з 9,07 до 17,1 та 24,4 тис. шт.·га⁻¹.

Встановлена кількість підросту є суттєво більшою, ніж 15,0 тис. шт.·га⁻¹, що, згідно з вимогами «Правил рубок...» (2009), дає підставу для проведення другого і заключного прийому рівномірно-поступової рубки.

Ключові слова: букові лісостани; самосів; підріст; рівномірно-поступова рубка; інтенсивність світла; пропускну здатність намету.

Вступ (Introduction).

Енергія фотосинтетично активної радіації, джерелом якої є Сонце, виступає необхідною умовою життєдіяльності рослин, зокрема деревних. Режим променевої енергії у лісових фітоценозах залежить від низки чинників, серед яких пори року, погодні

умови, зімкнутість намету і видовий склад деревостану, структура крон, стрімкість та експозиція схилу лісової ділянки. Світло, як один із найголовніших екологічних чинників довкілля, безпосередньо впливає на появу сходів, формування самосіву та підросту. Тому під час дослідження процесів

¹ Ванджурак Павло Іванович – аспірант. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: pavlov.76@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-5466-5824>

² Дебринюк Юрій Михайлович – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: debrynyuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

³ Миклуш Степан Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор ННІ лісового і садово-паркового господарства, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

природного поновлення під наметом лісостанів вивчення світлових умов має вагоме значення.

У результаті досліджень успішності природного поновлення у зв'язку з освітленістю лісової ділянки низкою дослідників (Лустюк, 2015; Čater, & Diaci, 2017; Іванюк, Голубчак, Гнатюк, 2024; Anev et al., 2024; Martini et al., 2025 та ін.) встановлено, що інтенсивність освітлення суттєво впливає на процес появи самосіву і підросту.

Вивчаючи вплив освітленості на інтенсивність фотосинтезу букового підросту Г.Л. Тишкевич (1984) встановила, що останній суттєво зростає із покращенням освітленості. Вона виявилась максимальною в умовах відкритих місць – прогалин (40-50 тис. лк) та мінімальною – під наметом деревостану зімкнутістю 0,5-0,6 з освітленістю близько 10 тис. люкс. За даними Т.В. Лустюка (2015), в умовах B_2 - ∂C успішність природного поновлення *Quercus robur* L. є цілком задовільною за умови встановлення повноти деревостану не вище 0,7.

Світло, як важливий екологічний чинник, який впливає на процеси природного поновлення, піддається регулюванню відповідними лісгосподарськими заходами. А.П. Іванюк та ін. (2024) встановили, що основна кількість ялинового підросту зосереджена на відстані до 20 м від краю лісу у зв'язку з близькими до оптимальних умовами освітленості, що призвело до збільшення кількості підросту в 2-10 разів порівняно із віддаленими смугами від краю лісостану (20-40 та 40-60 м).

За даними Г.Т. Криницького та ін. (2022), основними чинниками, що обмежують формування підросту у сосново-букових лісостанах Розточчя, зумовлюють його незначну висоту та низьку життєвість, є недостатнє освітлення під наметом деревостанів та значна періодичність настання урожайних років у бука лісового.

У період зміни клімату відновлення європейських лісів залежить від успішності природного поновлення, але появу молодих рослин під наметом лісостанів визнано доволі проблематичною (Martini et al., 2025). Болгарськими дослідниками (Anev, 2024; Anev et al., 2024) встановлено, що часткове «відкривання» намету букового деревостану не виявляє негативного впливу на ріст підросту: адаптація молодих рослин до зміни умов освітлення відбувається доволі успішно, однак залежить від способу рубки та екологічних умов довкілля. Проте зрубування всіх дерев материнського намету викликає сильний стрес у букового підросту.

З іншого боку, специфіка реакції букового підросту на зрідження верхнього ярусу свідчить про його здатність адаптуватися до збільшення освітленості через зміни в анатомії листка (Aranda et al., 2001).

Аналізуючи стан поновлення бука, ялиці та ялини після льодоламу 2014 р. у зв'язку зі сильним освітленням, М. Čater & J. Diaci (2017) встановили, що збільшення освітленості на пошкоджених

ділянках негативно вплинуло на ялицю, не виявило суттєвого впливу на ялину, але сприяло росту бука. Низький рівень освітленості не виявляв суттєвого впливу на обмеження кількості самосіву, але помітно знижував кількість підросту (Martini et al., 2025).

За даними Ch. Ammer, R. Mosandl, & H. El Kated (2002), прямий посів горішків бука під наметом ялини виявився дуже економічним методом перетворення чистих насаджень у мішані. При цьому встановлено, що проростання насіння бука під наметом ялини значною мірою залежить від вологості ґрунту на момент проведення посіву і до появи сходів. З цієї причини прямий посів горішків бука під наметом дуже густих ялиників не рекомендовано.

J. Emborg (1998), вивчаючи вплив відносної інтенсивності світла (RLI) на процес поновлення *Fagus sylvatica* L. та *Fraxinus excelsior* L. встановив, що молоді рослини не виживають за RLI нижче 2%, проте успішно розвиваються за RLI вище 3%, яка характерна для прогалин у наметі деревостану.

Отже, в умовах зміни клімату дуже важливо орієнтувати ведення лісового господарства на природне поновлення букових деревостанів шляхом часткового розрідження материнського намету, уникаючи повного «відкривання» лісової ділянки з метою недопущення стресового стану самосіву і підросту, які розвивалися за неповного освітлення. У зв'язку з цим, *актуальність дослідження* полягає у вивченні впливу освітленості на інтенсивність процесу природного поновлення під наметом букового деревостану у випадку запровадження системи поступової рубки.

Мета роботи полягає у з'ясуванні впливу освітленості під наметом букового деревостану на густоту самосіву і підросту в умовах чистої вологої бучини Покутських Карпат після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – формування самосіву і підросту за різної освітленості під наметом букового деревостану. *Предмет досліджень* – вплив рівномірно-поступової рубки на кількість самосіву і підросту за різної пропускну здатності намету деревостану.

Об'єкти досліджень розташовані у лісовому фонді Березівського л-ва філії «Кутське ЛГ», де в межах науково-виробничого стаціонару було закладено секцію у лісостані *Fagus sylvatica* із застосуванням поступової системи рубок. Контролем слугувала ділянка букового лісостану з такими ж лісівничо-таксаційними характеристиками, де рубки не проводили.

Лісівничо-орографічні характеристики лісостану такі: тип лісу – волога чиста бучина (D_3 -Бк), тип ґрунту – буроземний суглинистий слабоскелетний вологий на глинистих сланцях, висота

над рівнем моря – 520-550 м, експозиція схилу – північно-східна. Буковий деревостан природного походження, переважаючий вік – 86 років (станом на 01.2018 р.). Трапляються окремі екземпляри бука лісового віком 120-130 років.

У трав'яному вкритті переважають мегатрофи – підмаренник запашний (*Galium odoratum* (L.) Scop.), чистотіл великий (*Chelidonium majus* L.), зеленчук жовтий (*Lamium galeobdalon* L.), щитник шартрський (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P. Fuchs), щитник чоловічий (*Dryopteris filix mas* (L.) Schott.), осока волосиста (*Carex pilosa* Scop.), зубниця залозиста (*Dentaria glandulosa* Waldst. et Kit.), переліска багаторічна (*Mercurialis perennis* L.), копитняк європейський (*Asarum europaeum* L.), чистець лісовий (*Stachys sylvatica* L.), шавлія клейка (*Salvia glutinosa* L.).

Секція для проведення рівномірно-поступової рубки (РПР) закладена у високопродуктивному буковому деревостані природного походження (кв. 28, вид. 45, пл. 7,5 га), який займає північно-східний схил стрімкістю 12-15°. У складі дерево-

стану відсутній граб звичайний. Відносна повнота деревостану до рубки доволі висока (0,94), бонітет – І^b. На ділянці переважає рівномірне розташування дерев, зімкнутість крон висока.

Згідно з «Правилами рубок ...» (2009), у букових деревостанах з повнотою 0,9 і більше потрібно запроваджувати триприйомні поступові рубки. Під час першого прийому повноту можна знизити до 0,7 з інтенсивністю рубки до 30%. Беручи до уваги високу відносну повноту деревостану, на ділянці потрібно проектувати триприйомну рівномірно-поступову рубку.

За результатами обстеження встановлено, що практично весь самосів і підріст сформований буком лісовим за незначної домішки черешні, ясена звичайного, клена-явора та ялини європейської. Остання представлена окремими екземплярами і з'явилась тут, вірогідно, внаслідок занесення насіння вітром. На секції повністю відсутній самосів і підріст граба звичайного.

Таксаційні показники деревостану на секції №1 наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Таксаційні показники деревостану на науково-виробничому стаціонарі *Fagus sylvatica* (секція рівномірно-поступової рубки)

Table 1. Forest-mensuration indicators of forest stands at the *Fagus sylvatica* research-and production station (section of uniform-shelterwood felling)

Склад деревостану	N, шт.·га ⁻¹	Середні		G, м ² ·га ⁻¹	P, од.	M, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	Інтенсивність рубки, %
		H, м	D, см					
До першого прийому рубки (облік 10.2017 р.)								
10Бкл	450	32,0	33,7	40,33	0,94	544	I ^b	—
Після першого прийому рубки (облік 04.2018 р.)								
10Бкл	352	33,3	32,4	29,95	0,72	417	I ^b	23,3

Наприкінці 2017 – на початку 2018 рр. у буковому лісостані було проведено перший прийом рівномірно-поступової рубки із вибиранням 23,3% запасу стовбурової деревини. Згідно з «Правилами рубок...» (2009), на ділянці здійснено рубку середньої інтенсивності (11-24%). Відносна повнота насадження при цьому знизилась до 0,72. Після проведення рубки дерева на площі розташовані відносно рівномірно. Перелік дерев після рубки було здійснено у квітні 2018 р. з визначенням загальноприйнятих таксаційних показників (див. табл. 1).

Отже, після проведення першого прийому РПР запас деревостану знизився на 127 м³, а кількість дерев зменшилася в 1,3 раза. Під час рубки вибирались дерева як нижчих, так і вищих ступенів товщини, і в підсумку середній діаметр дещо знизився, тоді як середня висота трохи збільшилася. Одночасно збільшився мінімальний показник діаметра стовбура (з 12,8 до 18,2 см), тоді як

максимальний показник дещо знизився (з 68,4 до 60,7 см) внаслідок зрубання найтовстішого дерева на секції (табл. 2). Коефіцієнт варіації значний (> 20%), однак точність дослідів доволі висока.

В обох випадках крива розподілу кількості дерев за ступенями товщини має помірну правосторонню асиметрію та характеризується невеликою гостровершинністю, на що вказує додатне значення ексцесу.

Контрольна секція представлена буковим деревостаном, де рубку не проводили. Пристиглий деревостан природного походження і високої продуктивності (кв. 28, вид. 47, пл. 11,5 га) займає північний схил стрімкістю 10-15°. Лісостан характеризується високою зімкнутістю крон, значним діаметром та висотою стовбурів і високим запасом деревини (табл. 3). Розташування дерев – рівномірно-групове, у насадженні наявні окремі вікна та прогалини. Таксаційні показники дере-

востану подібні до таких на секції РПР, оскільки обидві секції закладені в одному і тому ж лісостані.

Незважаючи на високу, але відносно нерівномірну зімкнутість крон (0,8-0,9), під наметом деревостану обліковано певну кількість підросту, переважно 1,5-2,0 м заввишки віком 8-15 років і навіть більше. Самосів майже відсутній, дрібний підріст поширений слабо. Він приурочений в основному до

вікон та прогалин, які розташовані нерівномірно. Як і на попередній секції, у складі підросту відсутній граб звичайний. Спостережено також невелику кількість підросту ясена звичайного, клена-явора, ялини європейської. Остання представлена окремими екземплярами.

Статистичні показники букового деревостану наведені в табл. 4.

Таблиця 2. Статистичні показники букового деревостану за діаметром до і після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки

Table 2. Statistical indicators of beech forest stands by diameter before and after the first cut of uniform-shelterwood felling

Діаметр, см			Основне відхилення (σ), см	Коефіцієнт варіації (V), %	Асиметрія	Ексцес	Точність дослід (P), %
max	min	середньо-арифметичний					
До першого прийому рубки (10.2017 р.)							
68,4	12,8	33,7±1,04	9,33±1,13	27,7	+0,421	+0,344	1,31
Після першого прийому рубки (04.2018 р.)							
60,7	18,2	32,4±0,86	7,55±0,96	23,3	+0,372	+0,245	1,24

Таблиця 3. Таксаційні показники деревостану на науково-виробничому стаціонарі *Fagus sylvatica* (контрольна секція)

Table 3. Forest-mensuration indicators of forest stands at the *Fagus sylvatica* research-and-production station (the control section)

Склад деревостану	N, шт·га ⁻¹	Середні		G, м ² ·га ⁻¹	P, од.	M, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет
		H, м	D, см				
10Бкл	458	32,6	32,8	38,70	0,90	532	I ^b

Таблиця 4. Статистичні показники букового деревостану за діаметром на контрольній секції

Table 4. Statistical indicators of beech forest stand by diameter in the control section

Діаметр, см			Основне відхилення (σ), см	Коефіцієнт варіації (V), %	Асиметрія	Ексцес	Точність дослід (P), %
max	min	середньо-арифметичний					
71,6	14,2	32,8±1,13	8,65±0,94	26,4	+0,421	+0,364	1,23

Отже, максимальний, мінімальний та середній показники діаметра бука лісового доволі подібні до таких на секції РПР до проведення рубки. Коефіцієнт варіації за діаметром стовбурів значний (> 20%), але точність дослід досить висока ($p < 3\%$). В обох випадках крива має помірну правосторонню асиметрію та характеризується невеликою гостровершинністю.

Для виконання мети роботи використано такі методи дослідження: *лісівничо-таксаційні* – для

закладання пробних площ, встановлення таксаційних характеристик природних деревостанів, густоти підросту; *порівняльної екології* – для встановлення типу лісорослинних умов і типу лісу; *варіаційної статистики* – для оброблення експериментальних даних, підтвердження достовірності отриманих результатів досліджень.

Закладення секцій у межах букового лісостану здійснювали відповідно до вимог СОУ 02.02-37-476:2006 (2006). Таксаційні показники деревостанів

встановлювали за діючими нормативними матеріалами (Гірс та ін., 2013; Білоус та ін., 2020).

Тип лісу на досліджуваних ділянках визначали з урахуванням засад лісівничо-екологічної класифікації (Герушинський, 1996; Ткач, Тарнопільська, Орлов, 2024), за сукупністю основних і допоміжних ознак.

До *самосіву* відносили деревні рослини природного насінного походження віком до одного року. До *підросту* відносили екземпляри насінного походження віком два і більше років, які в перспективі здатні сформувати лісостан і мають висоту до 1/4 висоти материнського деревостану.

Освітленість під наметом деревостанів вимірювали в ясний сонячний день в період 13.00-14.30 люксметром Ю-116 (фотоелементи Ф 55С). Для дослідження використали трансекти, закладені у верхній, середній і нижній частинах схилу букового лісостану секції РПР (три трансекти розміром 3 × 70 м кожна) та контрольній секції (три трансекти розміром 3 × 80 м кожна). Освітленість вимірювали на висоті 1 м від поверхні ґрунту через кожні 0,8-1,0 м трансекти впродовж вказаного часового періоду. Пропускную здатність намету деревостану (T_Q , %) встановлювали за формулою В. А. Алексєєва (1975):

$$T_Q = (100 : n) / (I_{01} + I_{02}) \times \sum_{j=1}^n i_{nj}.$$

Дослідження виконані у липні 2018 р. після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки.

Для уточнення видових назв складу трав'яного покриття на секціях букового стаціонару використовували електронну базу The Word Flora Online.

Для оброблення результатів досліджень використовували стандартне програмне забезпечення «Excel». Статистичні показники малих і великих вибірок, достовірність отриманих даних вираховували відповідно до вимог методики польового дослідження (Горошко, Миклуш, Хомюк, 2004).

Результати досліджень (Results).

З'ясування впливу освітленості під наметом букового деревостану на інтенсифікацію процесу природного поновлення, густоту самосіву і підросту є дуже важливим аспектом під час проведення поступових чи вибіркових рубок у букових лісостанах. Покращення освітленості під наметом деревостану ймовірно повинно стимулювати процес природного поновлення. Результати обліку самосіву і підросту на секціях науково-виробничого стаціонару представлені в табл. 5.

Таблиця 5. Результати обліку самосіву і підросту за різної пропускну здатності намету деревостану (облік 07.2018 р.)

Table 5. Results of the inventory of self-seeding and young growth at different levels of stand canopy light-throughput capacity (inventory in July 2018)

№ трансекти	Кількість самосіву / підросту, шт.га ⁻¹	Кількість точок вимірювання освітленості, шт.	$\sum_{j=1}^n i_{nj}$ тис. лк	Х _{ср} , лк	Пропускна здатність намету деревостану, %
Секція – контроль					
1	0,54 / 15,56	102	220,1	2158	2,68
2	0,68 / 14,45	94	163,1	1735	2,15
3	0,32 / 14,84	86	164,0	1907	2,37
Секція – рівномірно-поступова рубка					
1	3,76 / 12,85	82	1232,1	15026	18,74
2	2,12 / 9,22	88	977,6	11109	13,81
3	3,16 / 11,15	86	1109,2	12898	16,03

Примітка. Показники інтенсивності світла (I_{01} та I_{02}) на відкритому місці до і після вимірювань під наметом деревостану склали в межах 80-81 тис. лк, що зв'язано з проведенням дослідження при безхмарному небі в середині дня впродовж короткого періоду часу (13.00-14.30)

За результатами досліджень, на контролі в межах трьох трансект зафіксовано низьку пропускну здатність намету деревостану (2,15-2,68%) за відносно повноти деревостану 0,90. Відповідно, кількість самосіву і підросту також невисока. Середнє значення показника освітленості під наметом деревостану на контрольній ділянці доволі подібне (1,7-2,2 тис. лк), проте все ж спостережено

певну тенденцію до збільшення кількості самосіву і підросту на трансектах із кращою освітленістю (з 0,3 до 0,7 та з 14,5 до 15,6 тис. шт.га⁻¹).

У зв'язку із наявністю просвітів у наметі деревостану спостережено значну варіабельність показника освітленості на контролі ($V = 42,1-48,7\%$). Розмах значення освітленості дуже значний (з 770 до 5580 лк). Варіабельність показника освітленості

зумовлена неоднорідною зімкнутістю намету деревостану в межах 70-метрової трансекти. Проте точність дослідів все ж задовільна (табл. 6).

Після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки відносна повнота деревостану на секції знизилась з 0,94 до 0,72, що зумовило значне зростання показника освітленості – майже у сім разів (з 1,7-2,2 до 11,1-15,0 тис. лк). Так само суттєво збільшилась і пропускна здатність намету деревостану – з 2,2-2,7 до 13,8-18,7% (див. табл. 5). Для порівняння, під наметом деревостану зімкнутістю 0,5-0,6 Г.Л. Тишкевич (1984) зафіксувала освітленість близько 10 тис. лк, що є трохи менше від встановленого нами показника. Поряд з цим, під наметом зімкнутих сосново-букових деревостанів Г.Т. Криницький та ін. (2022) встановили освітленість в межах 4-6 тис. лк, що дещо перевищує встановлений нами показник на контрольній секції (1,7-2,2 тис. лк).

Покращення освітленості внаслідок проведення першого прийому РПР зумовило помітне зростання кількості самосіву (до 2,1-3,8 тис. шт.га⁻¹), хоча

кількість підросту незначно збільшилась, оскільки облік поновлення проводився лише через пів року після здійснення першого прийому рубки.

Дещо менша кількість підросту на секції №1 станом на 07.2018 р., порівняно з контролем (секція №2) може бути зумовлена більшою відносною повнотою деревостану до рубки (0,94), ніж на контролі (0,90).

Із покращенням освітленості на секції рівномірно-поступової рубки спостережено тенденцію щодо збільшення кількості поновлення на 1 га. Так, якщо до проведення першого прийому РПР на секції кількість самосіву бука лісового на трансектах зафіксовано в межах 0,18-0,25 тис. шт.га⁻¹ (10.2017 р.), то після проведення рубки кількість самосіву помітно збільшилась – до 2,1-3,8 тис. шт.га⁻¹ (07.2018 р.), тобто збільшення кількості самосіву склало 11,7-15,2 раза.

Як і на контрольній ділянці, варіабельність показника освітленості доволі висока ($V = 38,7-41,0\%$), проте точність дослідів знаходиться у допустимих межах ($P = 4,2-4,5\%$) (табл. 7).

Таблиця 6. Статистичні показники освітленості на трансектах букового деревостану, люкс (контрольна секція)

Table 6. Statistical indicators of illumination on transects of beech forest stand, lux (the control section)

Показники	Трансекта №1	Трансекта №2	Трансекта №3
Кількість спостережень, N (шт.)	102	94	86
Максимальне значення, X _{max}	5580	4400	4250
Мінімальне значення, X _{min}	840	770	920
Середнє значення, X _c	2158±93,7	1735±87,2	1907±86,5
Основне (стандартне) відхилення, δ	946,5±66,3	845,0±61,2	802,4±61,2
Коефіцієнт варіації, V (%)	43,8	48,7	42,1
Точність дослідів, P (%)	4,3	5,0	4,5

Таблиця 7. Статистичні показники освітленості на трансектах букового деревостану після проведення першого прийому РПР, люкс

Table 7. Statistical indicators of illumination on transects of beech forest stand after conducting the first cut of uniform-shelterwood felling, lux

Показники	Трансекта №1	Трансекта №2	Трансекта №3
Кількість спостережень, N (шт.)	82	88	86
Максимальне значення, X _{max}	25200	22160	24100
Мінімальне значення, X _{min}	980	1020	1230
Середнє значення, X _c	15026±664,5	11109±494,5	12898±539,1
Основне (стандартне) відхилення, δ	6162,5±469,9	4638,0±349,6	4998,6±381,1
Коефіцієнт варіації, V (%)	41,0	41,7	38,7
Точність дослідів, P (%)	4,4	4,5	4,2

У процесі подальшого продовження дослідів з вивчення інтенсивності проходження процесу природного поновлення на буковому стаціонарі, експерименти з освітленістю не проводили. Проте наступні обліки самосіву і підросту на контрольній ділянці та на ділянці, де було проведено перший прийом РПП, засвідчили суттєвий подальший вплив освітленості на кількість самосіву і підросту.

Так, на контролі кількість самосіву бука лісового станом на 10.2021 р. дещо зросла у зв'язку з урожайним роком, тоді як кількість підросту майже не змінилась (табл. 8). За результатами повторного обліку (11.2023 р.) самосів практично відсутній, а кількість букового підросту трохи збільшилась за рахунок переходу самосіву в групу дрібного підросту.

Таблиця 8. Результати обліку самосіву і підросту *Fagus sylvatica* L. на контрольній секції впродовж 2017-2023 рр., тис. шт. на 1 га

Table 8. Results of the inventory of self-seeding and young growth of *Fagus sylvatica* L. in the control section during the period 2017-2023, thousand pcs per ha

№ трансекти	Самосів	Підріст	Разом
Результати обліку 11.2023 р.			
№1	–	16,85	16,85
№2	0,51	17,30	17,81
№3	–	18,35	18,35
Середнє	0,17	17,50	17,67
Результати обліку 10.2021 р.			
№1	1,37	15,74	17,11
№2	1,84	16,18	18,02
№3	1,28	17,59	18,87
Середнє	1,50	16,50	18,00
Результати обліку 10.2017 р.			
№1	0,48	15,34	15,82
№2	0,64	13,92	14,56
№3	0,26	15,09	15,35
Середнє	0,46	14,78	15,24

Характерним є розподіл самосіву і підросту за термінами обліку на секції рівномірно-поступової рубки (табл. 9). Якщо у жовтні 2017 р. кількість самосіву і підросту тут було обліковано помітно менше, ніж на контролі, що зумовлено значною

зімкнутістю крон і високою відносною повнотою, то через чотири роки (10.2021 р.) середня кількість самосіву збільшилась більш ніж у 45 разів, а кількість підросту – в 1,9 рази. Ще через два роки (11.2023 р.) кількість самосіву і підросту знову збільшилась (див. табл. 9). Тобто, навіть через шість років після проведення першого прийому РПП процес природного поновлення проходить інтенсивно.

Таблиця 9. Результати обліку самосіву і підросту *Fagus sylvatica* L. на секції рівномірно-поступової рубки впродовж 2017-2023 рр., тис. шт. на 1 га

Table 9. Results of the inventory of self-seeding and young growth of *Fagus sylvatica* L. in the section of uniform-shelterwood felling during the period 2017-2023, thousand pcs per ha

№ трансекти	Самосів	Підріст	Разом
Результати повторного обліку 11.2023 р. після проведення першого прийому РПП			
№1	13,18	26,47	39,65
№2	11,79	22,04	33,83
№3	13,80	24,75	38,55
Середнє	12,92	24,42	37,34
Результати обліку 10.2021 р. після проведення першого прийому РПП			
№1	10,85	18,25	29,10
№2	8,78	15,24	24,02
№3	9,75	17,79	27,54
Середнє	9,79	17,10	26,89
Результати обліку 10.2017 р. до проведення першого прийому РПП			
№1	0,25	10,20	10,45
№2	0,21	7,83	8,04
№3	0,18	9,18	9,36
Середнє	0,21	9,07	9,28

Очевидно, що пропускна здатність намету і показник освітленості впродовж 6-річного періоду зменшилися внаслідок поступового зімкнення намету букового деревостану, але кількість самосіву і підросту продовжує зростати. Ймовірно, у наступні декілька років інтенсивність процесу природного поновлення повинна зменшитись внаслідок

змикання намету деревостану, а також розвитку підросту, що унеможливить появу самосіву, а, отже, і поповнення групи підросту. Для уникнення цього явища потрібно провести другий прийом рівномірно-поступової рубки. Кількість підросту бука лісового є достатньою (> 15 тис. шт. $\cdot$ га $^{-1}$) навіть для проведення заключного прийому рубки.

Дискусія (Discussion).

Застосування лісогосподарських заходів, що сприяють поліпшенню умов освітленості, сприяють активізації лісовідновних процесів (Іванюк та ін., 2024). Через недостатню освітленість під наметом модринового насадження самосів модрини європейської гине і не переходить у стадію підросту, тоді як підріст тіньовитривалих деревних порід (кленів, в'яза, граба) розвивається успішно (Керімов, Заїка, 2019).

За результатами досліджень Г.Т. Криницького та ін. (2022), висока зімкнутість намету у сосново-букових деревостанах знижує інтенсивність піднаметового освітлення та ослаблює процеси природного поновлення. Внаслідок цього світлолюбна *Pinus sylvestris* L. не поновлюється взагалі, а підріст тіньовитривалого *Fagus sylvatica* сповільнює ростові процеси і зосереджений переважно у висотній групі дрібного підросту – 10-25 см.

F. Martini et al. (2025) зазначають, що у старовікових європейських лісах чисельність молодих рослин залежить від сукупності впливу сприятливих та гальмівних механізмів, включаючи взаємодію між деревами материнського намету, копитними та багатством лісорослинних умов. Ріст і розвиток самосіву стимулюється дорослими особинами того ж деревного виду, сильно пошкоджується копитними, але йому властивий високий потенціал виживання в умовах низької освітленості. F. Martini et al. (2025) наголошують, що для підросту, окрім вологи, основними лімітуючими чинниками розвитку виступають світловий режим та постачання азоту.

Більшість дослідників все ж основну увагу приділяють режиму освітлення, яке може впливати як позитивно на процес природного поновлення, так і гальмувати його.

За результатами досліджень Čater M., & Diaci J. (2017), сильне освітлення букового підросту не виявило негативного впливу на його ріст і розвиток. Проте інші автори (Anev, 2024; Anev et al., 2024) стверджують, що повне видалення материнського намету викликає сильний стрес у букового підросту, тоді як поступове розрідження намету не виявляє негативного впливу на молоді рослини бука лісового.

З іншого боку, Martini et al. (2025) констатували, що низький рівень освітленості не виявив помітного впливу на зменшення кількості букового самосіву, тоді як чисельність підросту помітно знизилась. J. Emborg (1998) встановив, що розвиток молодих рослин бука лісового можливий лише за відносної інтенсивності світла (RLI) вище 3%.

Отримані нами дані корелюють з результатами досліджень інших авторів у тій частині, що поступове зменшення зімкнутості намету інтенсифікує процес природного поновлення. Збільшення пропускної здатності намету материнського деревостану з 2,2-2,7 до 13,8-18,7% забезпечує появу самосіву та збільшення кількості підросту впродовж наступних 4-6 років.

Висновки (Conclusions).

1. Проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки сприяло суттєвому збільшенню показника освітленості під наметом букового деревостану (з 1,7-2,2 до 11,1-15,0 тис. лк), що інтенсифікувало проходження процесу природного поновлення.

2. Здійснення першого прийому рівномірно-поступової рубки у буковому лісостані (зниження повноти з 0,94 до 0,72) сприяло збільшенню пропускної здатності намету деревостану з 2,15-2,68 до 13,8-18,7%, що стимулювало збільшення кількості самосіву.

3. Результати наступних обліків самосіву і підросту через чотири і шість років після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки підтвердили позитивний вплив освітленості на інтенсивність проходження процесу природного поновлення, в результаті якого кількість самосіву збільшилась, відповідно, з 0,21 до 9,8 та 12,9 тис. шт. $\cdot$ га $^{-1}$, а кількість підросту – з 9,07 до 17,1 та 24,4 тис. шт. $\cdot$ га $^{-1}$.

4. Облікована кількість підросту є суттєво більшою, ніж 15,0 тис. шт. $\cdot$ га $^{-1}$, що, згідно з вимогами «Правил рубок...» (2009), дає підставу для проведення другого і заключного прийому рівномірно-поступової рубки.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Ammer, Ch., Mosandl, R., & El Kateb, H. (2002). Direct seeding of beech (*Fagus sylvatica* L.) in Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) stands – effects of canopy density and fine root biomass on seed germination. *Forest Ecology and Management*, 159(1-2), 59-72. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00710-1](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00710-1)
- Anev, S. (2024). Light acclimation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings after canopy destruction. *Forestry Ideas*, 30(1), 66-78. <https://www.researchgate.net/publication/378907327>
- Anev, S., Karcheva, Z., Zhiponova, M., & Chaneva, G. (2024). Biochemical acclimation of European beech (*Fagus sylvatica* L.) saplings to canopy opening. *Forestry Ideas*, 31(1), 22-36. <https://www.researchgate.net/publication/388919513>

- Aranda, I., Bergasa, L. F., Gil, L., & Pardos, J. (2001). Effects of relative irradiance on the leaf structure of *Fagus sylvatica* L. seedlings planted in the understory of a *Pinus sylvestris* L. stand after thinning. *Annals of Forest Science*, 58, 673-680. <https://doi.org/10.1051/forest:2001154>
- Alekseev, V. (1967). On the transmission of solar radiation through the canopy of forest stands In Yu. L. Tselniker (Ed.), *Light regime, photosynthesis and forest productivity* (pp. 15-35). Moscow: Nauka [Алексеев, В. А. (1967). О пропускании солнечной радиации пологом древостоев. В кн. Ю. Л. Цельникер (ред.), *Световой режим, фотосинтез и продуктивность леса* (с. 15-35). Москва: Наука] (in Russian)
- Bilous, A., Kashpor, S., Myronyuk, V., Svinchuk, V., & Lesnik, O. (2020). *Forest Taxation Handbook*. Dnipro: Lira [Білоус, А. М., Кашпор, С. М., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., Лесник, О. М. (2020). *Лісотаксаційний довідник*. Дніпро: Ліра. 360 с.] (In Ukrainian)
- Emborg, J. (1998). Understorey light conditions and regeneration with respect to the structural dynamics of a near-natural temperate deciduous forest in Denmark. *Forest Ecology and Management*, 106(2-3), 83-95. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(97\)00299-5](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(97)00299-5)
- Forest inventory sample plots. Establishing method*. (2006). Corporate standard 02.02-37-476:2006]. Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України] (in Ukrainian)
- Gerushynskiy, Z. (1996). *Typology of forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramida. <https://carpaty.net/?p=20482> [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (In Ukrainian)
- Girs, O., Manita, O., Myronyuk, V., Svinchuk, V., & Berezinsky, L. (2013). *Forest Taxation Handbook*. Kyiv: Vinichenko Publishing House. [Гірс, О. А., Маніта, О. Г., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., Березинський, Л. М. (2013). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко». 496 с.] (In Ukrainian)
- Ivanyuk, A., Holubchak, O., & Hnatyuk, O. (2024). The influence of economic measures on the condition of spruce protective forests of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 34(6), 41-48. <https://doi.org/10.36930/40340606> [Іванюк, А. П., Голубчак, О. І., Гнатюк, О. Р. (2024). Вплив господарських заходів на стан ялинових захисних лісів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(6), 41-48] (in Ukrainian)
- Kerimov, E., & Zaika, V. (2019). Forest-regeneration processes in the stands with the participation of european larch in the conditions of the Kremenets hill area. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(2), 47-52. <https://doi.org/10.15421/40290209> [Керімов, Є. І., Заїка, В. К. (2019). Лісовідновні процеси в деревостанах за участю модрина європейської в умовах Кременецького горборіч'я. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(2), 47-52] (in Ukrainian)
- Krynytsky, H., Yakhnytsky, V., Pavlyuk, N., & Pavlyuk, V. (2022). Natural regeneration of pine and beech stands on Roztochchya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 32(1), 25-29. <https://doi.org/10.36930/40320104> [Криницький, Г. Т., Яхницький, В. Й., Павлюк, Н. В., Павлюк, В. В. (2022). Природне поновлення сосново-букових деревостанів на Розточчі. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(1), 25-29] (In Ukrainian)
- Lustiuk, T. (2015). The Impact of illumination under the Canopy of Forest Stands on the Amount and Quality of Natural Seed Renovation of Oak (*Quercus robur* L.) in Wet Pine Forests of Western Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(1), 87-91. Retrieved from <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/781> [Лустюк, Т. В. (2015). Вплив освітленості під наметом деревостанів на кількість і якість природного насінневого поновлення дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у вологих суборах Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(1), 87-91] (in Ukrainian)
- Martini, F., Buechling, A., Bače, R., Hofmeister, J., Janda, P., Matula, R., & Svoboda, M. (2025). Biotic and abiotic effects on tree regeneration vary by life stage in European primary forests. *Oikos*, 2. <https://doi.org/10.1111/oik.10755>
- Rules for final felling*: approved by order of the State Forestry Committee of Ukraine dated December 23, 2009, No. 364, Kyiv. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0085-10#Text> [Правила рубок головного користування: затв. наказом Державного комітету лісового господарства України 23.12.2009 р., №364, Київ] (in Ukrainian)
- Tkach, V., Tarnopilska, O., & Orlov, O. (2024). *Types of forest formations of Ukraine in the system of European classifications*. Kharkiv: Drukarnya Madrid. https://uriffm.org.ua/media/uploads/2024/11/04/monografiya_types_of_forest.pdf [Ткач, В. П., Тарнопільська, О. М., Орлов, О. О. (2024). *Типи лісових формацій України в системі європейських класифікацій*. Харків: Друкарня Мадрид. 415 с.] (in Ukrainian)
- The Word Flora Online <https://www.worldfloraonline.org/search?query=fagus&view=&limit=24&start=1&sort=>
- Tyshkevich, G. (1984). *Protection and restoration of beech forests*. Chisinau: Shtinitisa. [Тышкевич, Г. Л. (1984). *Охрана и восстановление буковых лесов*. Кишинев: Штеница. 232 с.] (in Russian)
- Čater, M., & Diaci, J. (2017). Divergent response of European beech, silver fir and Norway spruce advance regeneration to increased light levels following natural disturbance. *Forest Ecology and Management*, 399, 206-212. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.05.042>

The effect of illumination on the intensity of the natural regeneration process

P. Vandzhurak¹, Iu. Debryniuk², S. Myklush³

Investigated was the influence of illumination under the canopy of a beech stand on the emergence of self-seeding as well as on young growth density in the conditions of a pure moist fertile beech forest type of the Pokuttia Carpathians after the first cut of uniform-shelterwood felling. The objects of the study are located in the forest fund of the Bereziv forest district, a branch of the Kuty Forestry Enterprise, where, within the boundaries of the research-and-production station (forest beech formation – *Fageta sylvaticae*), a section was established in the forest beech stand to investigate the impact of uniform-shelterwood felling on the natural regeneration process. A plot of forest of the same age and forest type, where no felling was conducted, served as a control section. The forest stands are 86 years old, of natural origin, and mature. There are some individual specimens of European beech aged 120-130 years.

The studies were conducted in the following type of forest – moist pure fertile beech forest type, where brown loamy, slightly skeletal, moist soils formed on clay shales. The altitude above sea level is 520-550 m, and the slope exposure is northeastern.

At the time of the study, the stemwood stock in the control section was 532 m³·ha⁻¹, and in the plot designated for uniform-shelterwood felling, it was 544 m³·ha⁻¹. After the first cut of the uniform-

shelterwood felling, the growing stock decreased by 127 m³, and the felling intensity was 23.3%.

Illumination was measured on a clear sunny day between 13:00 and 14:30 using a Yu-116 luxmeter. The study used transects laid in the upper, middle and lower parts of the slope of the beech forest stand of the uniform-shelterwood felling section (three transects measuring 3 × 70 m each) and the control section (three transects measuring 3 × 80 m each). The illumination was measured at a height of 1 m above the soil surface every 0.8-1.0 m along transects during the indicated time period. The light-throughput capacity of the forest stand canopy (T_Q , %) was determined using the formula developed by V.A. Alekseev (1975). The investigations were conducted in July 2018 after the first cut of the uniform-shelterwood felling.

The first cut of the uniform-shelterwood felling contributed to a significant increase in light intensity under the canopy of beech stand (from 1.7-2.2 to 11.1-15.0 thousand lux), which intensified the natural regeneration process. The first cut in the beech forest stand (reducing the density from 0.94 to 0.72) contributed to an increase in the canopy light-throughput capacity of the forest stand from 2.15-2.68 to 13.8-18.7%, which stimulated an increase in the number of self-sown plants.

The results of subsequent inventories of self-seeding and young growth four and six years after the first cut of the uniform-shelterwood felling confirmed the positive effect of illumination on the intensity of the natural regeneration process, as a result of which the number of self-sown plants increased from 0.21 to 9.8 and 12.9 thousand pcs ha⁻¹, and the number of young growth plants increased from 9.07 to 17.1 and 24.4 thousand pcs·ha⁻¹.

The established number of young-growth trees is significantly greater than 15,000 pcs per hectare, which, according to the requirements of the “Rules for Felling...” (2009), provides grounds for conducting the second and final cuts of uniform-shelterwood felling.

Our data correlates with the results of studies by other authors in that a gradual decrease in canopy closure intensifies the process of natural regeneration. Increasing the light-throughput capacity of the parent stand from 2.2 to 18.7% ensures the emergence of self-seeding and an increase in the number of young growth plants over the next 4-6 years.

Key words: beech forest stands; self-seeding; young growth; uniform-shelterwood felling; light intensity; canopy light-throughput capacity.

¹ Pavlo Vandzhurak – PhD candidate. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: pavlov.76@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-5466-5824>

² Iurii Debryniuk – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

³ Stepan Myklush – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Director of Educational and Research Institute of Forestry and Park Gardening, Professor at the Department of Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9762-1190>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412506>

Article received 2025.01.27
Article revised 2025.02.06
Article accepted 2025.07.02
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Zaika
vkzaika@ukr.net

57 Shevchenko st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

УДК: 582.475.4:581.1/.5:630*232

Морфофізіологічні особливості формування підросту *Abies alba* Mill. в умовах вологої смереково-букової суяличини

Б. М. Міліневич¹, В. К. Заїка², В. А. Ковальова³, Ю. М. Юсипович⁴,
М. М. Павук⁵, В. В. Тисяк⁶

Досліджено лісовідновні процеси в 90-110-річних ялицевих деревостанах вологої смереково-букової суяличини та морфофізіологічні особливості функціонування підросту *Abies alba* Mill. Встановлено, що в деревостанах, пройдених першим прийомом рівномірно-поступової рубки, частка ялиці становить 8-10 од., запас деревини змінюється в межах 239-391 м³·га⁻¹, а абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹. В ялицевому деревостані без господарського втручання ці показники становили, відповідно, 52,3 м²·га⁻¹ і 667 м³·га⁻¹. У деревостанах після першого прийому рівномірно-поступової рубки кількість підросту деревних видів становить 15,49-17,00 тис. екз./га з часткою ялиці у його складі 42,4-86,8%. У складі підросту найменше представлений самосів 2,7-25,5%; за висотою переважає середній (28,5-61,8%) та дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів. В ялицевому деревостані, де рубка не проводилась, кількість підросту деревних видів становить 9,30 тис. екз./га з часткою ялиці 94,4%. Середня висота підросту ялиці в межах цього деревостану змінюється від 21 до 119 см, а приріст за висотою – від 1,6 до 9,1 см та істотно відстає від контролю. Встановлено суттєве зменшення відносно контролю морфометричних показників хвої підросту ялиці: довжини – на 22,0-45,3, товщини – на 20,0-62,2, ширини – на 1,4-15,7, площі поперечного перерізу – на 18,2-45,3 і площі поверхні – на 32,7-54,8%. Вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці перевищує контроль на 48,9-198,2% і каротиноїдів – на 16,7-168,9%. За діелектричними показниками підріст ялиці під наметом деревостану істотно відрізняється від контролю, а його процеси життєдіяльності перебувають в депресивному стані.

Ключові слова: ялицевий деревостан; підріст; морфологічні показники хвої; пластидні пігменти; діелектричні показники; ріст; хлорофіли; каротиноїди.

¹ Міліневич Богдан Миколайович – магістр. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: bohdan.milinevych.21@pnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2516-6260>

² Заїка Володимир Костянтинович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор кафедри лісового і аграрного менеджменту. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³ Ковальова Валентина Андріївна – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник. Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kovaleva@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-2747>

⁴ Юсипович Юрій Михайлович – кандидат біологічних наук, завідувач відділу благоустрою та репродукції рослин Ботанічного саду. Національний лісотехнічний університет України, вул. Ген. Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: jojusse@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0013-6699>

⁵ Павук Михайло Миколайович – аспірант. Карпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: mykhailo.pavuk.22@pnu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-6157-0832>

⁶ Тисяк Василь Васильович – аспірант. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: asp.tusjak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4962-8743>

Вступ (Introduction).

В Україні в останні десятиріччя встановилася чітка тенденція переходу до ведення наближеного до природи лісового господарства. Основним його принципом є постійне збереження лісового середовища на вкритих лісовою рослинністю ділянках, а також видового і генетичного розмаїття, що досягається шляхом безперервного природного насінного відтворення деревних видів та формування складних мішаних різновікових корінних деревостанів. Такі деревостани характеризуються високою продуктивністю і біотичною стійкістю.

Під час запровадження наближеного до природи лісового господарства необхідно враховувати біо-екологічні властивості деревних видів щодо особливостей їх насінношення, проростання насінин і виживання підросту під наметом материнських деревостанів. Особливе значення тут має регулювання світлового режиму в деревостанах для забезпечення успішного росту молодого покоління лісу.

В умовах Українських Карпат основними лісотвірними та найбільш поширеними деревними видами є *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst. та *Abies alba* Mill. За різними даними (Герушинський, 1996; Гриник, 2011), деревостани ялиці в Карпатах трапляються на площі 58,0-64,4 тис. га. Найпоширенішими типами лісу, в яких росте цей деревний вид, є волога смереково-букова яличина і суяличина (Герушинський, 1996). Ялиця, смерека і бук, які входять до складу деревостанів у цих типах лісу, характеризуються подібним лісовідновним потенціалом. Однак найбільше він проявляється у ялиці, меншою мірою у смереки і бука. Відомо, що підріст *Abies alba* може рости під наметом деревостанів 100 і більше років, перебуваючи в депресивно-му стані (Швиденко, 1980).

Механізми тіньовитривалості підросту деревних видів ґрунтуються на морфофізіологічній лабільності до умов середовища та особливо – до зміни світлового режиму. У роботі китайських дослідників на прикладі підросту сосни кедрової показано фізіологічні зміни у його функціонуванні за різного світлового режиму (Wenkai et al., 2023). В Україні дослідженню особливостей життєдіяльності підросту деревних видів приділено недостатньо уваги. За останні 20-25 років опубліковано лише одну наукову працю (Заїка, Дерех, 2014), в якій показано біосинтез пластидних пігментів підростом бука і дуба у деревостанах зеленої зони м. Львова на ділянках різного ступеня дигресії. Проведення таких досліджень є доволі актуальним, оскільки дає змогу встановити розмах морфофізіологічної мінливості підросту деревних видів на різних етапах його формування та розробити практичні рекомендації щодо встановлення лісогосподарськими заходами сприятливих умов для функціонування молодого покоління лісу.

Мета роботи полягає у виявленні особливостей лісовідновних процесів у смереково-буково-ялицевих деревостанах в умовах вологої смереково-

букової суяличини та впливу умов середовища на морфофізіологічні показники підросту ялиці білої.

Об'єкти та методи дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси лісовідновлення в ялицевих деревостанах вологої смереково-букової суяличини та морфофізіологічні особливості формування підросту ялиці білої. Предмет дослідження – кількість підросту характерних деревних видів для умов вологої смереково-букової суяличини, його фізіологічний стан і зв'язок з інтенсивністю освітлення.

Програмою дослідження передбачено вивчення таких аспектів: лісівничо-таксаційні показники деревостанів на дослідних ділянках; лісовідновні процеси в деревостанах (кількість підросту деревних видів та його розподіл за групами висот і трапляння); освітленість під наметом деревостанів та її вплив на формування підросту; морфолого-анатомічні показники хвої підросту ялиці білої; біосинтез пластидних пігментів підростом деревних видів; діелектричні показники підросту ялиці білої; вплив інтенсивності освітлення на морфофізіологічні процеси у підросту ялиці білої.

Дослідження проводили в смереково-буково-ялицевих 90-110-річних деревостанах, які ростуть в умовах вологої смереково-букової суяличини Мізунського лісництва філії «Вигодське лісове господарство». Закладання пробних площ з метою визначення таксаційних показників деревостанів проводили за загальновизнаною у лісівничій практиці методикою (Площі пробні..., 2006).

Встановлення кількості підросту деревних видів проводили за апробованою методикою (Ткач, Лук'янець, Румянцев, 2014). На ділянках закладали по 25 площадок розміром 2 × 2 м (4 м²), які рівномірно розташовували по площі. Під час обліку підросту виокремлювали самосів однорічного віку. Підріст старшого віку поділяли за висотою на три групи: до 0,5 м – дрібний; 0,6-1,5 м – середній; 1,6-2,5 м – великий.

Рівномірним вважається розміщення підросту цінних деревних видів із показником трапляння 66% і більшим, не рівномірним – 40-65%, куртинами – менше 40% (Вишневецький, 2015).

Вплив інтенсивності освітлення на життєдіяльність підросту ялиці досліджували в ялицевому деревостані з домішкою смереки і бука на ділянці 1, де підріст розміщений куртинами. Усього під наметом деревостану підібрано 12 дослідних площадок та одну контрольну на зрубі. На них досліджено зміну інтенсивності освітлення протягом дня, біометричні показники підросту ялиці, морфолого-анатомічні показники хвої, вміст пластидних пігментів та діелектричні показники.

Зразки хвої для визначення морфолого-анатомічних показників відбирали на кожній площадці у кількості 20 шт. з 8-10 екземплярів підросту ялиці. Анатомічну будову хвої досліджували за допомогою мікроскопа МБС-10. Поперечні зрізи

робили в середній частині хвоїнок. Площу їх поперечного перерізу і поверхні визначали, відповідно, за формулами 2.1 і 2.2 (Герушинський та ін., 1983):

$$S_{\text{nn}} = 0,098 \times (b + 2r)^2, \quad (2.1)$$

$$S_{\text{пов}} = 1,143 \times l \times (1,137b + r), \quad (2.2)$$

де S_{nn} – площа поперечного перетину хвоїнки, мм²; $S_{\text{пов}}$ – площа поверхні хвоїнки; b – ширина хвоїнки, мм; r – товщина хвоїнки, мм; l – довжина хвоїнки, мм.

Визначення вмісту пластидних пігментів проводили спектрометричним методом (Казаков, 2000). Для цього 80-100 мг подрібненої хвої розтирали до однорідної маси і екстрагували 96%-им етанолом. Екстракт фільтрували через фільтр Шотта з пористістю 16, а об'єм витяжки доводили до 25 мл. Оптичну густину розчинів визначали на спектрофотометрі ULAB 102UV за довжини хвилі 440,5, 649 і 665 нм. Концентрацію хлорофілів (С) розраховували за формулами Вернона: $C_a = 13,70 \times A_{665} - 5,76 \times A_{649}$ (мг/л), $C_b = 25,80 \times A_{649} - 7,60 \times A_{665}$ (мг/л), а каротиноїдів – за формулою Веттштейна $S_{\text{кар}} = 4,695 \times A_{440,5} - 0,268 \times (C_a + C_b)$, мг/л. Вміст пігментів (А) розраховували на абсолютно суху масу:

$$A = \frac{C \times V}{P \times 1000} \times K \quad (2.3)$$

де: A – вміст пігментів, мг/г абс. сух маси; V – об'єм витяжки пігментів, мл; P – наважка рослинного матеріалу, г; C – концентрація пігментів, мг/л; K – коефіцієнт усування хвої.

Діелектричні показники (імпеданс і поляризаційну ємність) прикамбіальних тканин лубу підросту ялиці визначали з використанням приладу Ф 4320. Вимірювання проводили на частоті 1 кГц.

Електроди вводили в луб підросту на рівні кореневої шийки. Відстань між електродами становила 2 см один від одного (Криницький, 1992).

Інтенсивність освітлення під наметом деревостанів і на відкритій місцевості вивчали шляхом вимірювання показника на рівні підросту в різних точках дослідних площадок. Для вимірювань використовували люксметр Ю-116.

Отримані експериментальні дані обробляли статистичними методами (Горошко, Миклуш, Хомюк, 2004), а визначення таксаційних показників деревостанів здійснювали за методами лісової таксації (Гром, 2005).

Результати дослідження (Research results).

Дослідження проведено на шести ділянках. У деревостанах на ділянках 2-6 було здійснено перший прийомом двоприйомної рівномірнопоступової рубки. У деревостані на ділянці 1 рубку не проводили і він слугував контролем. Лісівничо-таксаційні показники деревостанів наведено в табл. 1.

На дослідних ділянках деревостани переважно ростуть за II-I класами бонітету, в яких ялиця характеризується середньою висотою 25,6-30,8 м і діаметром 27-38,6 см. Відставання ялини за середньою висотою від ялиці на дослідних ділянках становить 9,1-31,5, а діаметра – 16,3-41,5%. Бук за висотою росте повільніше, ніж ялиці на 0,8-24,7%. Проте за середнім діаметром він переважає ялицю на ділянках 3 і 5 на 1,3-8,8%, а на інших – поступається на 12,6-34,5%. У складі деревостанів після першого прийому рубки абсолютно переважає ялиця біла з часткою 8-10 одиниць. Густота не висока і становить 236-398 дерев на 1 га. Запас деревини змінюється в межах 239-391 м³·га⁻¹, а абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹.

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на дослідних ділянках

Table 1. Forest-mensuration indicators of forest stands on experimental plots

№ пр. пл.	Кв./ вид	А, років	Індекс деревного виду	Таксаційні показники деревостанів після рубки					
				N, дерев	H, м	D, см	G, м²·га ⁻¹	M, м³·га ⁻¹	Склад деревостану
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	8/4.2	105	Яцб	763	22,0	29,2	51,2	655	10Яцб + Бкл, Яле
			Яле	6	11,0	16,0	0,1	1	
			Бкл	19	18,1	27,8	1,1	11	
Разом				788			52,3	667	
2	8/4.1	105	Яцб	199	25,6	31,8	15,8	206	9Яцб1Бкл + Сз, Яле
			Яле	23	19,9	18,6	0,6	7	
			Бкл	17	23,8	27,8	1,0	13	
			Сз	2	21,6	25,4	1,2	13	
Разом				241			18,6	239	

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
3	16/8.4	90	Яцб	331	25,7	32,0	26,5	355	10Яцб + Бкл, Яле, Кля, Бп
			Яле	54	18,5	22,5	2,2	22	
			Бкл	11	23,6	32,4	0,9	11	
			Кляв	1	25,0	44,0	0,2	2	
			Бп	1	24,9	32,0	0,1	1	
Разом				398		29,9	391		
4	13/10.3	95	Яцб	141	27,1	37,1	15,2	212	8Яцб1Яле1Бкл + Бп
			Яле	41	24,4	29,5	2,8	36	
			Бкл	33	20,4	24,3	1,6	17	
			Бп	21	23,5	28,9	1,2	15	
Разом				236		20,8	280		
5	33/5.4	110	Яцб	302	25,3	30,6	22,1	298	9Яцб1Бкл + Яле
			Яле	4	23,0	25,6	0,2	3	
			Бкл	20	25,1	33,3	1,7	22	
Разом				326		25,0	323		
6	8/7.2	95	Яцб	188	30,8	38,6	22,0	331	10Яцб + Бкл, Яле
			Яле	18	21,1	25,0	0,9	10	
			Бкл	3	24,4	31,8	0,2	3	
Разом				326		23,1	344		

Примітка. Яцб – ялиця біла, Яле – ялина європейська (См – смерека), Бкл – бук лісовий, Кля – клен-явір, Бп – береза повисла, Сз – сосна звичайна.

На ділянці 1 сформувався високоповнотний різновіковий ялицевий деревостан (див. табл. 1). У 105-річному віці загальна густота дерев у ньому становить 788 екз./га, а запас стовбурової деревини – 667 м³·га⁻¹. За середньої висоти дерев ялиці білої 22,0 м і діаметра 29,2 см вона перевищує за цими показниками ялину європейську і бука лісового.

Аналіз розподілу дерев у деревостані на ділянці 1 за ступенями товщини засвідчує, що за середнього діаметра дерев ялиці 29,2 см значна їх кількість (60%) мають істотно менший діаметр і входять до нижчих ступенів товщини, які представлені молодим поколінням лісу (рис. 1).

За аналізом даних рис. 1, у деревостані зосереджені дерева різних вікових категорій. Під час проектування способу рубки в ялицевих деревостанах необхідно враховувати їхню вікову, горизонтальну і вертикальну структуру та наявність підросту і характер його розміщення. У такому різновіковому ялицевому деревостані проведення рівномірно-поступової двопріємної рубки є нецільним, оскільки він порушить природний

процес розвитку лісу. Доцільним є застосування добровільно-вибіркової, а за наявності попереднього поновлення з розташуванням підросту у вигляді куртин – у поєднанні з групово-поступовою рубкою. У деревостані на цій ділянці трапляються дерева ялиці білої з діаметром 77 см і більше, висотою понад 30 м та добре розвиненою кроною (рис. 2).

В межах проекції крони такого великого дерева відсутній підріст деревних видів і дуже слабо розвинутий живий надґрунтовий покрив. Такі дерева вже давно досягли віку технічної стиглості і поступово втрачають технічну придатність та підлягають зрубуванню у першу чергу в процесі добровільно-вибіркової рубки. Застосування добровільно-вибіркової і групово-поступової рубок у різновікових ялицевих деревостанах спрямовано на стимулювання природного поновлення лісу, створення сприятливих умов для росту молодого покоління лісу і дерев низьких ступенів товщини. За середнього діаметра ялиці 29,2 см частка її дерев з діаметром, меншим від середнього, становить 68%, зокрема дерев 6-16 ступенів товщини – 57% (див. рис. 1).

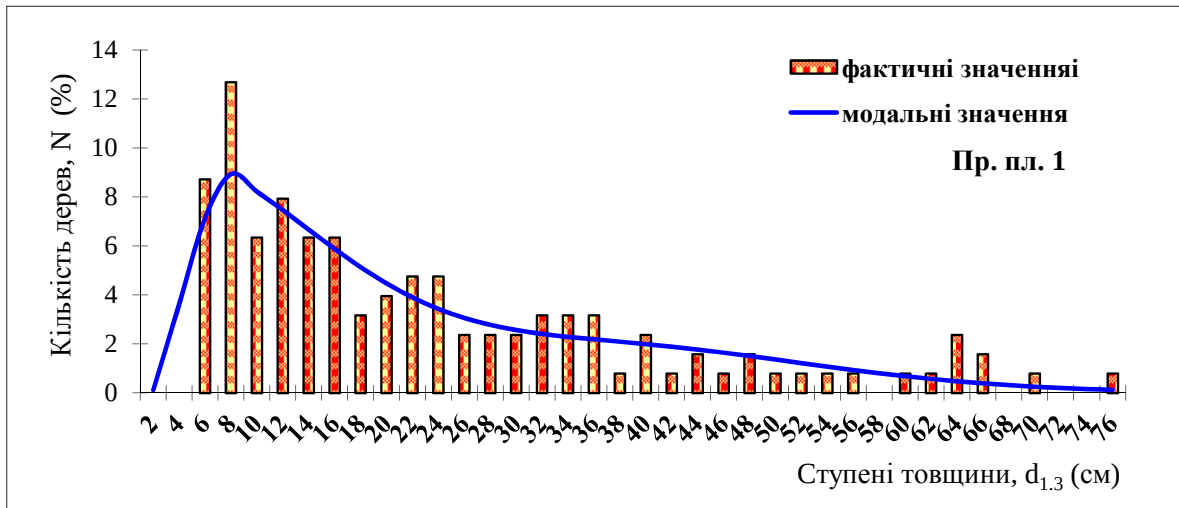


Рис. 1. Розподіл дерев у деревостані на пр. пл. 1 за ступенями товщини

Fig. 1. Distribution of trees in the stand on plot 1 by diameter classes

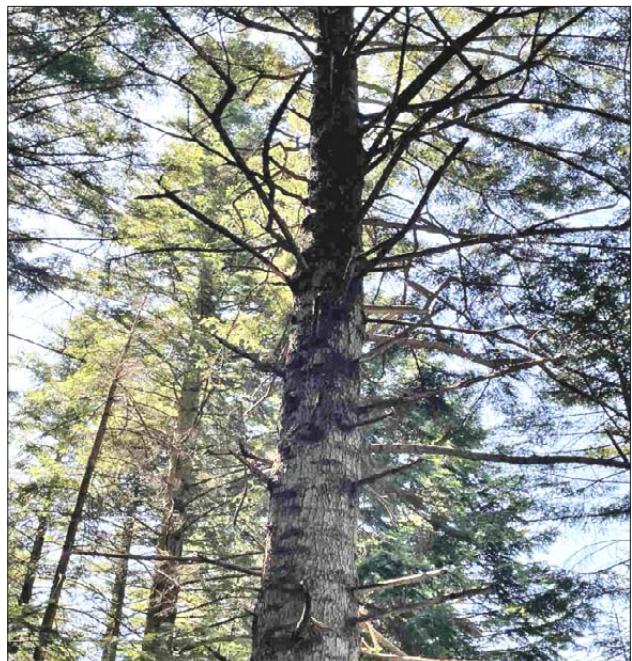


Рис. 2. Дерево ялиці білої завтовшки 85 см і діаметром проекції крони 15 м

Fig. 2. Silver fir tree with a diameter of 85 cm and a crown projection diameter of 15 m

Основним принципом ведення лісового господарства є забезпечення природного насінного поновлення деревостанів, які в майбутньому характеризуватимуться високою продуктивністю та біологічною стійкістю. Одним із напрямів стимулювання лісовідновних процесів є проведення різних систем і способів рубок. Такі рубки повинні проводитися з урахування біологічних особливостей деревних видів, періодичності їх плодоношення та лісівничо-таксаційних показників материнських деревостанів.

В умовах вологої смереково-букової суялицини для формування корінного деревостану з орієнтовним видовим складом 6Яцб3Бкл1См важливим є поновлення ялиці, бука і смереки. Результати

дослідження лісовідновних процесів приведено в табл. 2.

З табл. 2 видно, що підріст ялиці, ялини та бука присутній на всіх шести ділянках. У деревостанах (діл. 2-6) спостережено добре поновлення ялиці (6,75-14,75 тис. екз./га), смереки (2,17-5,42) і бука лісового (0,47-3,50). На окремих ділянках трапляється підріст сосни звичайної (2,41 тис. екз./га) і клена-явора (1,08-1,25). Загальна кількість підрослу деревних видів становить 15,49-17,00 тис. екз./га. У його складі переважає підріст ялиці білої з часткою 42,4-86,8%. Частка ялини у складі підрослу на ділянках 2, 3, 5 і 6 змінюється в межах 13,2-34,3%. Підріст бука, який трапляється на ділянках 2-4 і 6, посідає частку від 2,9 до 22,6% (див. табл. 2).

Таблиця 2. Кількість підросту деревних видів за групами висот
Table 2. Number of young growth of tree species by height groups

№ пр. пл.	Індекс деревного виду	Групи висот, м				Разом	
		самосів	<0,5	0,5-1,5	>1,5	тис. екз./га	%
1	Яцб	1,35	4,04	1,34	2,05	8,78	94,4
	Яле	0,20	0,15	—	—	0,35	3,8
	Бкл	0,02	0,04	0,11	—	0,17	1,8
Разом	тис. екз./га	1,57	4,23	1,45	2,05	9,30	
	%	16,9	45,5	15,6	22,0		100,0
2	Яцб	0,25	2,33	4,83	—	7,41	47,8
	Яле	0,17	0,83	1,17	—	2,17	14,0
	Бкл	—	1,25	2,25	—	3,50	22,6
	Сз	—	1,08	1,33	—	2,41	15,6
Разом	тис. екз./га	0,42	5,49	9,58	—	15,49	
	%	2,7	35,4	61,8	—		100,0
3	Яцб	0,25	5,33	1,17	—	6,75	42,4
	Яле	0,17	1,50	2,83	—	4,50	28,3
	Бкл	0,25	1,33	1,83	—	3,42	21,5
	Кляв	0,08	0,33	0,83	—	1,25	7,8
Разом	тис. екз./га	0,75	8,50	6,67	—	15,92	
	%	4,7	53,4	41,9	—		100,0
4	Яцб	0,33	6,50	5,83	—	12,66	77,5
	Кля	0,08	0,75	0,25	—	1,08	6,6
	Бкл	—	0,42	2,17	—	2,58	15,8
Разом	тис. екз./га	0,41	7,67	8,25	—	16,33	
	%	2,5	47,0	50,5	—		100,0
5	Яцб	3,75	4,33	6,67	—	14,75	86,8
	Яле	0,58	0,75	0,92	—	2,25	13,2
Разом	тис. екз./га	4,33	5,08	7,58	—	17,00	
	%	25,5	29,9	44,6	—		100,0
6	Яцб	1,58	5,83	2,50	—	9,92	62,8
	Яле	0,25	3,17	2,00	—	5,42	34,3
	Бкл	0,05	0,42	—	—	0,47	2,9
Разом	тис. екз./га	1,88	9,42	4,50	—	15,80	
	%	11,9	59,6	28,5	—		100,0

У загальному, кількість підросту і його співвідношення за часткою деревних видів підтверджує, що на дослідних ділянках після проведення першого прийому двопріємних рівномірно-поступових рубок сформувався густий підріст, який в подальшому утворить корінний деревостан. У складі молодого покоління лісу найменше представлений

самосів 2,7-25,5%. За висотою переважає середній (28,5-61,8%) та меншою мірою – дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів.

Кореляційний зв'язок між повнотою деревостанів і кількістю підросту деревних видів виявився переважно слабким або навіть відсутнім (для ялиці $r = -0,14$; для бука $r = 0,08$) та помірним (смерека,

$r = 0,44$). У деревостані на пр. пл. 1 загальна кількість підросту деревних видів становить 9,30 тис. екз./га (див. табл. 2). У його складі переважає підріст ялиці – 8,78 тис. екз./га або 94,4%. Частка самосіву становить 16,9%. За висотою перевагу має дрібний підріст (45,5%). У деревостані добре (22,0%) представлений також великий підріст ялиці білої.

Рівномірність розміщення підросту деревних видів характеризує показник трапляння (табл. 3).

Таблиця 3. Трапляння підросту деревних видів
Table 3. The occurrence of young growth of tree species

№ пр. пл.	Деревний вид, %			Разом, %
	ялиця біла	ялина європейська	бук лісовий	
1	35,8	12,7	8,3	35,8
2	73,0	46,6	36,6	93,3
3	86,6	56,6	36,6	96,6
4	96,6	–	40,0	100,0
5	90,0	63,3	–	90,0
6	90,0	63,3	76,6	93,3

Трапляння підросту деревних видів на переважній кількості ділянок (2-6) становить 90,0-100,0%. Проведення першого прийому двопрійомної рівномірно-поступової рубки позитивно вплинуло на рівномірність поширення підросту. Найкращим рівномірним поширенням по ділянці серед

деревних видів характеризується підріст ялиці білої, її трапляння змінюється в межах 73,0-96,6%. Трапляння підросту ялини становить 46,6-63,3%, а бук – 36,6-76,6%. На пр. пл. 1 підріст деревних видів розташований куртинно з траплянням 35,8% (рис. 3).

У деревостані пр. пл. 1 виконано дослідження морфологічної реакції підросту ялиці білої на умови світлового режиму. Для дослідження підібрано дослідні площадки підросту ялиці білої, розташованого куртинами. Результати дослідження наведено в табл. 4.

Біометричні показники підросту ялиці білої в межах деревостану доволі мінливі. Його середня висота змінюється від 21 до 119 см, а приріст за висотою – від 1,6 до 9,1 см. За висотою і поточним лінійним приростом підріст ялиці білої істотно відстає від контролю. Отже, під наметом деревостану склалися несприятливі умови для ростових процесів ялицевого підросту. Він знаходиться у депресивному стані через недостатнє освітлення. Найкращі умови для росту молодого покоління ялиці склалися на площадці 11, де приріст пагонів підросту значно (на 28,2%) перевищує приріст на контролі.

Дослідження морфометричних показників та кількості проростів у хвої підросту ялиці підтверджує істотний вплив деревостану на їх формування (табл. 5, 6). Встановлено суттєве зменшення біометричних показників хвої підросту дослідних варіантів щодо контролю. Так, довжина хвоїнок у дослідних варіантах є меншою, ніж на контролі, на 22,0-45,3% ($t_{\phi} = 5,08-10,98$ при $t_{05} = 2,02$), товщина – на 20,0-62,2% ($t_{\phi} = 4,02-19,80$), площа поперечного перерізу – на 18,2-45,3% ($t_{\phi} = 3,20-14,55$), площа поверхні хвоїнок – на 32,7-54,8% ($t_{\phi} = 6,05-11,70$). Найменші зміни виявились за показником ширини хвої. Вона у дослідних варіантах менша лише на 1,4-15,7% ($t_{\phi} = 0,47-6,13$).



Рис. 3. Куртинне розташування підросту ялиці білої на пробній площі 1

Fig. 3. Curtain arrangement of silver fir young growth on the sample plot 1

Таблиця 4. Біометричні показники підросту *Abies alba* на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 4. Biometric indicators of *Abies alba* young growth at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Висота, см			Приріст за висотою, см		
	M±m	t _ф	%	M±m	t _ф	%
Контроль	119±5	0,00	100,0	7,1±0,9	0,00	100,0
1	21±1	19,22	17,6	2,1±0,2	5,42	29,6
2	66±5	7,50	55,5	5,1±0,3	2,11	71,8
3	28±2	16,90	23,5	2,7±0,3	4,64	38,0
4	50±3	11,83	42,0	2,2±0,3	5,17	31,0
5	23±1	18,83	19,3	1,6±0,2	5,97	22,5
6	24±1	18,63	20,2	2,7±0,4	4,47	38,0
7	41±2	14,48	34,5	2,2±0,3	5,17	31,0
8	60±3	10,12	50,4	2,1±0,3	5,27	29,6
9	28±1	17,85	23,5	3,0±0,3	4,32	42,3
10	119±7	0,00	100,0	2,8±0,4	4,37	39,4
11	73±4	7,18	61,3	9,1±0,7	1,75	128,2
12	93±8	2,76	78,2	3,4±0,5	3,59	47,9

Примітки. 1. Теоретичне значення t-критерію Ст'юдента на 95% рівні ймовірності становить 2,10. 2. Контролем слугував підріст ялиці білої на зрубі.

Таблиця 5. Морфологічні показники однорічної хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (пр. пл. 1)

Table 5. Morphological indicators of one-year-old needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Довжина, мм		Ширина, мм		Товщина, мм		Площа поперечного перерізу, мм ²		Площа поверхні, мм ²	
	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%
Контроль	29,6±1,0	14,5	2,10±0,05	10,0	0,45±0,01	8,9	0,88±0,03	16,5	96,1±4,3	20,0
1	16,2±0,7	18,0	1,89±0,04	9,3	0,17±0,01	15,1	0,49±0,02	16,7	43,4±2,3	29,6
2	16,4±0,7	20,1	1,90±0,03	5,9	0,22±0,01	19,8	0,53±0,02	12,7	44,2±1,8	18,2
3	19,5±0,8	20,7	2,16±0,03	6,7	0,27±0,02	34,9	0,72±0,04	22,7	60,7±3,2	23,6
4	19,9±0,9	19,6	1,92±0,06	10,4	0,20±0,01	17,2	0,54±0,03	26,2	55,0±3,9	32,0
5	16,9±0,6	15,3	1,77±0,02	5,2	0,17±0,01	24,2	0,42±0,01	10,5	42,0±1,7	17,9
6	19,6±0,7	16,4	1,95±0,03	7,3	0,36±0,02	18,8	0,51±0,02	15,2	53,6±2,4	20,0
7	21,1±0,7	15,5	2,07±0,04	9,1	0,24±0,01	13,6	0,64±0,02	16,8	63,3±3,3	23,2
8	19,5±0,7	17,1	1,93±0,02	5,8	0,26±0,01	11,4	0,59±0,01	9,0	55,2±2,4	19,2
9	19,5±0,8	19,2	2,03±0,04	9,8	0,24±0,01	17,4	0,62±0,03	19,2	57,2±3,0	23,8
10	18,7±0,8	16,7	1,84±0,03	7,9	0,21±0,01	17,4	0,50±0,01	13,1	47,7±2,0	18,9
11	23,1±0,8	14,7	1,96±0,04	8,3	0,22±0,01	18,7	0,57±0,02	15,9	64,7±2,4	16,8
12	21,1±0,6	12,6	1,89±0,03	7,9	0,23±0,01	15,2	0,55±0,02	15,1	57,7±2,1	16,1

Таблиця 6. Кількість продихів в однорічній хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (пр. пл. 1)

Table 6. Number of stomata in one-year-old needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	К-сть продихів на 1 мм ряду, шт.		К-сть рядів продихів на 1 мм, шт.		К-сть продихів на 1 мм ² , шт.	
	M±m	CV,%	M±m	CV,%	M±m	CV,%
Контроль	10,3±0,2	9,0	6,7±0,2	13,2	68,4±2,3	14,9
1	9,5±0,2	11,6	7,2±0,2	11,6	68,3±3,9	19,0
2	11,0±0,3	13,2	8,1±0,2	11,7	88,9±4,3	19,7
3	10,3±0,3	13,0	7,6±0,2	13,8	78,2±3,0	17,0
4	9,8±0,3	11,9	8,5±0,3	15,1	82,3±3,3	17,9
5	9,6±0,2	10,9	8,3±0,2	11,8	80,2±3,5	19,6
6	9,9±0,3	12,0	8,5±0,3	14,0	83,6±3,3	17,8
7	10,6±0,3	10,9	7,8±0,3	18,2	82,6±4,1	22,7
8	10,3±0,2	8,4	8,8±0,2	10,2	90,3±1,9	9,3
9	10,2±0,3	12,6	8,9±0,3	12,6	91,8±4,2	19,8
10	10,6±0,3	10,8	8,6±0,3	13,8	91,8±4,4	21,3
11	10,8±0,2	9,5	7,9±0,4	19,9	85,0±4,7	24,7
12	10,4±0,3	11,4	8,2±0,2	10,7	84,8±3,4	17,9

Відмінності у кількості продихів на 1 мм ряду між контролем і дослідними варіантами виявились загалом не істотними (див. табл. 6). Так, у хвої ялиці на контролі їхня середня кількість становить 10,3 шт., а на дослідних площадках під наметом материнського деревостану змінювалась від 9,6 до 11,0 шт. Відмінності, порівняно з контролем, становили не більше 7,8%. Водночас кількість рядів продихів на 1 мм у хвої підросту ялиці під наметом деревостанів істотно – на 7,5-32,8% ($t_{\Phi} = 2,68-7,42$) перевищує контроль. Загальна кількість продихів у хвої дослідних варіантів становить 68,3-91,8 шт./мм² і є істотно вищою – на 14,3-34,2% ($t_{\Phi} = 2,59-7,34$), ніж на контролі. Таким чином ялицевий підріст, що розвивається під наметом деревостанів, формує хвою з біометричними показниками, суттєво нижчими порівняно з контролем. Водночас кількість продихів у хвої є істотно вищою.

Стратегія виживання підросту деревних видів під наметом деревостанів, за недостатньої інтенсивності освітлення, полягає у формуванні механізмів вловлювання і використання для фотосинтезу світлової енергії. Тут важливе значення має здатність адаптації деревних видів до лабільності фотосинтетичного апарату та його пристосування до вловлювання максимально можливої кількості сонячної енергії. Одним із механізмів такого пристосування є збільшення біосинтезу пластидних пігментів та зміни у співвідношенні між ними.

Підріст ялиці білої характеризується великою мінливістю біосинтезу пластидних пігментів під наметом деревостанів (табл. 7).

Так, вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані змінюється в межах 2,644-5,297, а жовтих – 0,259-0,974 мг/г абс. сух. маси. Ці показники на дослідних площадках перевищують контроль за вмістом хлорофілів на 48,9-198,2, а каротиноїдів – на 16,7-168,9%. На окремих площадках (6 і 9) встановлено зниження вмісту каротиноїдів відносно контролю на 20,1-28,4%.

Вміст пластидних пігментів у дворічній хвої підросту ялиці також змінюється в достатньо широкіх межах. Сумарний вміст хлорофілів змінюється від 3,664 до 6,384, а каротиноїдів – від 0,410 до 1,099 мг/г абс. сух. маси (див. табл. 7). За показниками вмісту пластидних пігментів у дворічній хвої відмінності з контролем виявились значно меншими, ніж в однорічній. Так, за вмістом зелених пігментів підріст ялиці під наметом деревостану перевищує контроль на 14,6-51,3% лише на площадках 2-4, 6, 7, 10-12, а на інших – відстає від контролю на 1,3-13,1%. Подібні відмінності між контролем і дослідними варіантами виявлено також за вмістом каротиноїдів. На одних площадках (2-5, 7, 10-12) вміст жовтих пігментів виявився вищим від контролю на 8,1-26,2, а на інших (1, 6, 8, 9) – меншим на 36,8-54,6%.

Таблиця 7. Вміст пластидних пігментів у хвої підросту ялиці білої на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 7. The content of plastid pigments in silver fir young growth at the experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ пр. пл.	Вік хвої, років	Вміст пігментів, мг/г абс. сух. маси				Відношення	
		хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>c</i>	<i>a/b</i>	<i>(a+b)/c</i>
Контроль	1	1,266	0,510	1,776	0,362	2,48	4,90
	2	3,068	1,150	4,218	0,904	2,67	4,67
1	1	1,970	0,821	2,791	0,423	2,40	6,60
	2	2,635	1,318	3,953	0,434	2,00	9,10
2	1	3,751	1,546	5,297	0,974	2,43	5,44
	2	4,413	1,971	6,384	1,141	2,24	5,60
3	1	2,959	1,171	4,130	0,778	2,53	5,31
	2	3,696	1,539	5,235	1,018	2,40	5,14
4	1	3,130	1,350	4,480	0,785	2,32	5,71
	2	3,873	1,776	5,649	0,985	2,18	5,73
5	1	1,945	0,795	2,740	0,760	2,45	3,61
	2	2,997	1,149	4,146	1,012	2,61	4,10
6	1	1,848	0,932	2,780	0,286	1,98	9,73
	2	3,180	1,653	4,833	0,488	1,92	9,90
7	1	2,695	1,087	3,782	0,713	2,48	5,30
	2	4,213	1,756	5,969	1,126	2,40	5,30
8	1	2,382	0,981	3,363	0,456	2,43	7,37
	2	2,731	1,431	4,162	0,410	1,91	10,15
9	1	1,788	0,856	2,644	0,259	2,09	10,20
	2	2,496	1,168	3,664	0,571	2,14	6,42
10	1	2,643	1,080	3,723	0,690	2,45	5,40
	2	4,145	1,719	5,864	1,099	2,41	5,34
11	1	3,373	1,333	4,706	0,867	2,53	5,43
	2	4,436	1,898	6,334	1,098	2,34	5,77
12	1	2,618	1,115	3,733	0,678	2,35	5,51
	2	3,749	1,562	5,311	0,977	2,40	5,44

Встановлена тенденція до зниження показника відношення хлорофілів *a/b* у дослідних варіантів ялиці білої в одно- і дворічній хвої на 1,1-28,5% та зростання відношення зелених пігментів до жовтих на 8,4-111,9%. За недостатньої освітленості у рослин посилюється роль хлорофілу *b*. Максимум поглинання сонячного світла в нього зсунутий відносно хлорофілу *a* в область далеких синьо-фіолетових і ближніх червоних променів видимого спектру. Очевидно у складі ФАР, яка проходить крізь лісовий намет, значною мірою представлений спектр далеких синьо-фіолетових і ближніх червоних променів.

Інтегральним показником інтенсивності життєдіяльності рослин виступають імпеданс і поляризаційна ємність. Результати наведені в табл. 8.

За отриманими даними, процеси життєдіяльності у підросту ялиці білої проходять на дуже низькому рівні. Спостережено високу диференціацію підросту ялиці за імпедансом і поляризаційною ємністю. Показники імпедансу підросту ялиці під наметом лісу становлять 22,1-84,3 кОм, а поляризаційної ємності – 0,63-1,74 нФ та суттєво відрізняються від контролю ($t_{\phi} = 3,72-23,50$ при $t_{05} = 2,10$). Варіабельність діелектричних показників середня і значна ($CV = 11,6-37,5\%$).

Таблиця 8. Діелектричні показники підросту ялиці білої на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 8. Dielectric parameters of silver fir young growth at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

№ площадки	Імпеданс, кОм				Поляризаційна ємність, нФ			
	M±m	t _ф	%	CV, %	M±m	t _ф	%	CV, %
Контроль	13,6±1,1	0,00	100,0	29,2	2,39±0,15	0,00	100,0	23,7
1	84,3±2,8	23,50	619,9	11,6	0,63±0,03	11,51	26,4	17,6
2	39,5±4,4	5,71	290,4	35,1	1,04±0,05	8,54	43,5	20,7
3	46,9±3,3	9,57	344,9	26,5	1,03±0,04	8,76	43,1	15,0
4	46,7±3,7	8,58	343,4	27,5	0,95±0,04	9,28	39,7	14,9
5	76,7±3,0	19,75	564,0	11,8	0,67±0,06	10,65	28,0	27,0
6	58,6±2,4	17,04	430,9	14,5	0,89±0,07	9,06	37,2	26,5
7	39,6±1,8	12,33	291,2	16,7	1,10±0,04	8,31	46,0	13,7
8	44,8±4,0	7,52	329,4	35,7	0,97±0,08	8,35	40,6	33,5
9	44,2±3,0	9,58	325,0	26,1	1,20±0,08	7,00	50,2	24,6
10	28,9±2,9	4,93	212,5	37,5	1,10±0,09	7,37	46,0	32,6
11	22,1±1,3	4,99	162,5	25,6	1,74±0,09	3,72	51,8	24,4
12	25,5±1,5	6,40	187,5	24,2	1,27±0,07	6,77	53,1	23,8

Примітка. Теоретичне значення t-критерію Ст'юдента на 95% рівні ймовірності становить 2,10

Основним чинником, від якого залежить ріст і функціонування підросту під наметом деревостанів, є освітлення. Середня кількість світла, яке проникає до підросту впродовж дня на дослідні площадки 105-річного ялицевого деревостану, становить 0,4-7,2%. При цьому переважають площадки з освітленістю 0,4-4,3%. Результати кореляційного аналізу впливу інтенсивності освітлення на морфологічні особливості функціонування підросту ялиці білої наведені в табл. 9.

Інтенсивність світла, яке проникає до підросту на дослідні площадки в межах 0,4-7,2%, виявила переважно слабкий вплив на формування морфометричних показників хвої ялиці (див. табл. 9). Чутливішим до інтенсивності освітлення виявився біосинтез пластидних пігментів. Так, в 1-річній хвої між інтенсивністю світла і вмістом зелених пігментів встановлено помірний і значний зворотний ($r = -0,465 - -0,580$) кореляційний зв'язок, який засвідчує, що із зменшенням кількості світла вміст хлорофілів зростає. Причому ця залежність більшою мірою проявляється в біосинтезі хлорофіла *a*, ніж хлорофіла *b*. Біосинтез каротиноїдів у хвої підросту ялиці ще більше залежить від світлового режиму. Коефіцієнт кореляції між цими показниками становить $-0,797$. Високий зворотний кореляційний зв'язок ($r = -0,713$) спостережено між інтенсивністю освітлення і показниками відношення хлорофілів *a/b* та високий

прямий ($r = 0,830$) – з показниками відношення суми хлорофілів до каротиноїдів.

У 2-річній хвої зв'язок між вмістом хлорофілів та інтенсивністю освітлення є зворотним слабким або помірним ($r = -0,203 - -0,477$). Вплив освітлення на біосинтез жовтих пігментів у 2-річній хвої істотно зростає. Коефіцієнт кореляції між цими показниками становить $-0,708$. Значним і високим кореляційним зв'язком характеризуються вплив інтенсивності освітлення на показники відношення хлорофілів *a/b* ($r = -0,660$) і з показниками суми хлорофілів до каротиноїдів ($r = 0,747$). Кореляційний аналіз засвідчує, що в умовах недостатності світлової енергії зростає роль у поглинанні світлової енергії хлорофіла *b* і каротиноїдів. Також встановлено, що біосинтез пластидних пігментів в однорічній хвої є чутливішим до інтенсивності освітлення, ніж у дворічній. Очевидно довготривале функціонування хвої в умовах недостатньої освітленості призводить до пригнічення біохімічних процесів на різних етапах біосинтезу пластидних пігментів.

Поряд з цим, нами не встановлено впливу інтенсивності освітлення під наметом деревостану на діелектричні показники прикамбіальних тканин луба у підросту ялиці білої. Всі процеси життєдіяльності ялицевого підросту за проникнення світла у межах 0,4-7,2% перебувають у депресивному стані.

Таблиця 9. Кореляційні зв'язки морфологічних показників підросту ялиці білої з інтенсивністю освітлення на дослідних площадках 105-річного ялицевого деревостану (пр. пл. 1)

Table 9. Correlations between morphophysiological indicators of silver fir young growth and light intensity at experimental sites of the 105-year-old fir stand (sample plot 1)

Морфометричні показники хвої	<i>r</i>	Вміст пластидних пігментів	<i>r</i>	Діелектричні показники	<i>r</i>
Довжина	0,270	в 1-річній хвої			
Ширина	0,171	Хлорофіл <i>a</i>	-0,580	Імпеданс	0,079
Товщина	0,736	Хлорофіл <i>b</i>	-0,465	Поляризаційна ємність	0,040
Площа поперечного перерізу	0,056	Сума хл. <i>a+b</i>	-0,553	—	—
Площа поверхні	0,259	Каротиноїди <i>c</i>	-0,797	—	—
К-сть продихів на 1 мм ряду	-0,156	Відношення <i>a/b</i>	-0,713	—	—
К-сть рядів продихів на 1 мм	0,413	Відношення $(a+b)/c$	0,830	—	—
К-сть продихів на 1 мм ²	0,227	в 2-річній хвої			
—	—	Хлорофіл <i>a</i>	-0,477	—	—
—	—	Хлорофіл <i>b</i>	-0,203	—	—
—	—	Сума хл. <i>a+b</i>	-0,411	—	—
—	—	Каротиноїди <i>c</i>	-0,708	—	—
—	—	Відношення <i>a/b</i>	-0,660	—	—
—	—	Відношення $(a+b)/c$	0,747	—	—

Для з'ясування морфологічної реакції підросту ялиці білої на умови піднаметового середовища в 105-річному ялицевому деревостані, здійснено кластерний аналіз отриманих результатів. Для цього використано такі показники: поточний лінійний приріст пагонів, довжина хвої, площа по-

перечного перерізу і поверхні хвої, кількість продихів на 1 мм² хвої, вміст хлорофілів і каротиноїдів у 1- і 2-річній хвої. Показники представлені у відносних одиницях. Розподіл площадок за морфологічними показниками хвої підросту ялиці наведено на рис. 4.

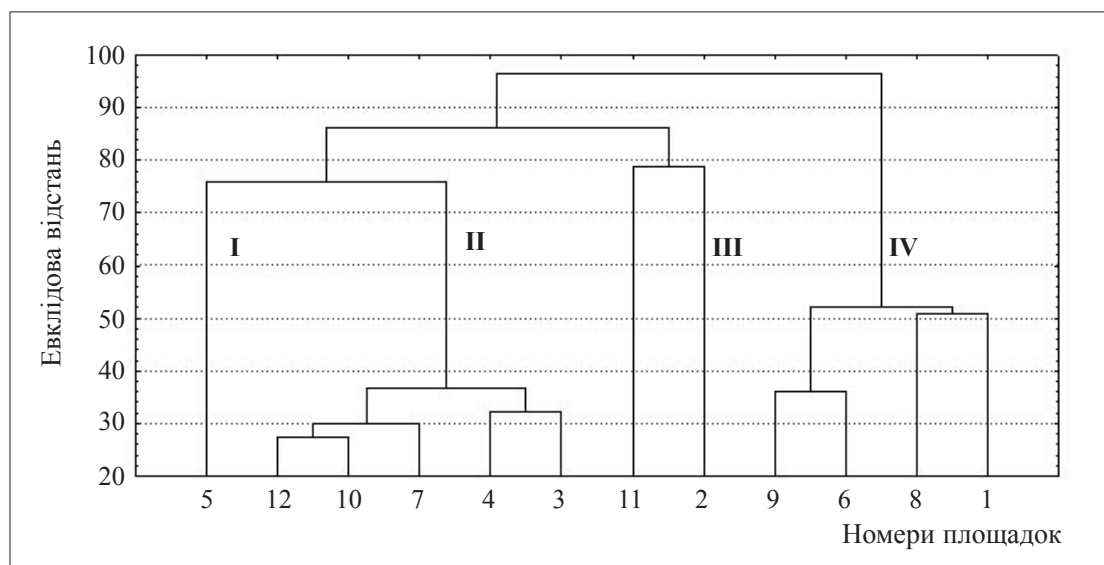


Рис. 4. Дендродіаграма зв'язків між дослідними площадками за морфологічними показниками хвої підросту ялиці білої в 105-річному ялицевому деревостані (метод повного зв'язування)

Fig. 4. Dendrogram of relationships between experimental sites according to morphophysiological indicators of needles of silver fir young growth in the 105-year-old fir stand (complete linkage method)

Отже, за характером морфофізіологічних змін відбулась значна диференціація ялицевого підросту на дослідних площадках. Утворилось чотири групи, відмінності підросту між якими є доволі значними. До першої групи входить підріст ялиці на площадці 5, морфофізіологічні показники якого істотно відрізняються від підросту ялиці другої групи площадок (3, 4, 7, 10 і 12). Третю групу сформував підріст ялиці, який росте на площадці 2 і 11, а четверту – на площадках 1, 8, 6, 9.

Таким чином, отримані результати аналізу дають змогу диференціювати ялицевий підріст за морфофізіологічними змінами під дією чинників лісового середовища.

Дискусія (Discussion).

Ялицеві деревостани в Українських Карпатах залишаються одними із найпоширеніших після букових і смерекових (Голубец, 1988; Герушинський, 1996; Гриник, 2011; Бродович та ін., 2013; Васишин, 2013; Коляджин, 1999; Лосюк та ін., 2022; Ванджурак, Дебринюк, Савчин, 2023). Унаслідок штучного створення ялинових лісів після зрубів ялицевих, площа останніх в Україні за останні 150-200 років скоротилася на 30% (Голубец, 1988) та зберігається тенденцію до подальшого її скорочення. Так, станом на 1988 р. площа ялицевих лісів в Українських Карпатах становила 64,4 тис. га (Герушинський, 1996), а станом на 2004 р. – лише 58 тис. га (Гриник, 2011). Поряд із скороченням площі ялицевих деревостанів дослідники вказують на істотне зниження їхньої продуктивності (Голубец, 1988; Бродович, Порада, Равлюк, 2003; Коляджин, 2011; Тереля, 2004) та погіршення санітарного стану до незадовільного (Бродович, Порада, Равлюк, 2003). Скорочення площі ялицевих деревостанів спостережено також і в інших європейських країнах. Так, в окремих районах Хорватії існує загроза зникнення ялицевих лісостанів (Ugarković et al., 2021). Водночас, В. П. Лосюк та ін. (2022), П. І. Ванджурак та ін. (2023) вказують на тенденцію до зростання в останнє десятиріччя площі ялицевих деревостанів та достатньо добрий їхній стан, в яких кількість здорових дерев сягає 60% і більше.

Відтворення корінних деревостанів природним шляхом відбувається не завжди. Часто на місці корінних деревостанів формуються похідні, які потім знову змінюються на корінні. Для відтворення і формування корінних різновікових ялицевих деревостанів необхідна система лісгосподарських заходів, спрямованих на стимулювання процесів природного поновлення і збереження підросту деревних видів. Дослідження у цьому напрямі проводяться постійно, як в Україні (Олійник, Коляджин, 1999; Коляджин, 1999, 2011, 2013; Бродович та ін., 2013; Чернявський, Теліш, Коляджин, 2014; Лосюк та ін., 2022; Ванджурак, 2024), так і в різних зарубіжних країнах (Bottalico et al., 2014; Orman et al., 2021; Kolisnyk et al., 2024; Ambs et al., 2024).

За результатами багаторічного дослідження І. Ф. Коляджин (1999, 2011, 2013) показав, що в умовах вологої смереково-букової суяличини на зрубках після суцільнолісосічних і поступових рубок формується добре поновлення деревних видів з кількістю підросту від 5,5 до 18,2 тис. екз./га, а в умовах сирій смереково-букової суяличини поновлення недостатнє. Ним же встановлено, що кількість підросту ялиці на зрубках дещо збільшується через 4-5 років після рубки деревостану. Інтенсивно відбувається поновлення також під наметом старовікових ялицевих деревостанів, де було виявлено максимальну кількість підросту – 74,0 тис. екз./га віком 9-15 років із складом 6Яцб3См1Бкл.

За даними Р. І. Бродовича та ін. (2003) успішне природне поновлення ялицевих лісів можливе лише за умови появи достатньої кількості (25-25 тис. екз./га) підросту під наметом деревостанів та створення сприятливих умов для його росту шляхом зниження повноти деревостанів до 0,5. Пропонуються також додаткові заходи, спрямовані на створення сприятливих умов для проростання насіння і запобігання конкуренції з боку живого надгрунтового вкриття, насамперед ожини (Бродович та ін., 2013).

За результатами дослідження лісовідновних процесів, проведених у гірських 100-120-річних деревостанах Західних Родопів (Болгарія), до складу яких входить ялина звичайна, бук лісовий та ялиця біла, найвищим лісовідновним потенціалом характеризується ялиця і меншим – ялина та бук (Ambs et al., 2024). При цьому найбільшу кількість ялицевого підросту виявлено на мікроділянках, які утворилися після зрубів поодиноких дерев, а на площадках після зрубів груп дерев утворилися умови для поновлення бука та ялиці, меншою мірою – ялини. Найвищу інтенсивність росту підросту визначено у ялиці і бука, дещо меншу – в ялини.

Встановлено, що на процеси лісовідновлення і формування підросту в ялицевих деревостанах впливають їх видовий склад та повнота (Kolisnyk et al., 2024). У результаті досліджень природного поновлення, проведених в ялицевих лісостанах Польщі, Німеччини та Італії, показано, що збільшення домішки листяних видів у складі ялицевих деревостанів призводить до зменшення кількості підросту. Значно вища ймовірність інтенсифікації процесу природного поновлення характерна для різновікових деревостанів, особливо в районах з нижчими температурами. Так, у старовіковому деревостані Свентокшиського національного парку (Центральна Польща) досліджено вплив інтенсивності освітлення у прогалинах лісового намету на ріст малих і великих саджанців ялиці та бука (Orman et al., 2021). Встановлено значну міжвидову відмінність реакції ростових процесів та формування архітектури крони підросту бука і ялиці залежно від освітлення в прогалинах. Bottalico et al. (2014),

досліджуючи лісовідновні процеси в ялицевих деревостанах впродовж понад 20 років, встановили значний та помірний кореляційні зв'язки ($p < 0,01$) між віком ялицевих деревостанів і середньоквадратичним діаметром ($r = 0,65$) та із запасом на 1 га ($r = 0,50$).

За результатами досліджень А.Й. Швиденка (1980), із збільшенням віку ялицевого підросту зменшується його тінювитривалість, тому важливо враховувати цю особливість під час здійснення лісогосподарських заходів у деревостанах. Оптимальні умови для виживання підросту ялиці білої до 2-3 років складаються за повноти деревостанів 0,8-0,9. Для нормального росту підросту ялиці у віці 4-7 років вже необхідна повнота деревостану 0,7 і нижче, а у старшому віці – 0,5 і нижче.

У низці праць наведено результати дослідження впливу інтенсивності освітлення на фізіолого-біохімічні процеси у підросту деревних видів (Zhu et al., 2014; Bottalico et al., 2014; Orman et al., 2021; Ugarković et al., 2021; Li et al., 2022; Wenkai et al., 2023). Зокрема, для 18-річного підросту сосни корейської було встановлено, що із збільшенням інтенсивності освітлення – від низького, середнього, високого – до повного, під наметом деревостанів спостерігається зменшення кількості пластидних пігментів і показників флуоресценції хлорофілів у хвої, але збільшується вміст глюкози, проліну, активності фермента рибулозодифосфаткарбоксиліази та антиоксидантних ферментів (Wenkai et al., 2023). Результатами дослідження засвідчили, що за повного освітлення спостерігається пригнічення фотосинтезу. В інших дослідженнях на 8-річних саджанцях сосни корейської, які вирощували в умовах освітленості 15, 30, 60 і 100% було показано, що світлове насичення фотосинтезу і точка компенсації темного дихання настає при 60% освітленості (Zhu et al., 2014). Подібні результати було отримано і під час дослідження хвої 35-річних дерев сосни корейської, які росли на великій (201 м²), середній (112 м²) і малій (50 м²) прогалинах (Li et al., 2022).

Robakowski et al. (2004) вивчали ріст та фізіологічні показники 3-річних дерев ялиці білої, які росли під наметом деревостанів з домінуванням у їхньому складі *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, *Betula pendula*, *Pinus sylvestris* або *Larix decidua*. Встановлено, що впродовж чотирьох вегетаційних періодів річні апікальні прирости інтенсивно збільшувалися під світлопроникним наметом модринового деревостану та були пригніченими під наметом ялицевого деревостану. Підріст ялиці у модриновому деревостані характеризувався вищими показниками фотосинтезу порівняно з тим, що ріс в ялицевому деревостані. Хвоя підросту ялиці в модриновому деревостані виявилась товстішою і містила більше хлорофілу, каротиноїдів та азоту, ніж хвоя підросту в ялицевому деревостані. Отримані нами закономірності щодо морфометричних показників

хвої підросту ялиці білої та біосинтезу пластидних пігментів є близькими до встановлених польськими дослідниками.

Для вивчення інтенсивності проходження процесів життєдіяльності деревних рослин ми часто використовуємо електрофізіологічні показники, які комплексно характеризують фізіологічний стан рослинних організмів та їхню реакцію на вплив чинників довкілля (Заїка та ін., 2021; Керімов, Заїка, 2018). Результати досліджень підтвердили, що підріст ялиці під наметом материнського деревостану переважно перебуває у пригніченому депресивному стані, а відмінності між дослідними варіантами і контролем за діелектричними показниками є істотними. Отримані нами результати електрофізіологічного дослідження інтегрально відображають реакцію окремих морфологічних і фізіологічних процесів підросту ялиці білої на умови середовища, які склалися під наметом материнського деревостану.

Висновки (Conclusions).

1. В умовах вологої буково-смерекової суялични 90-110-річні деревостани після проведення першого прийому рівномірно-поступової рубки переважно ростуть за II-I класами бонітету. У складі деревостанів частка ялиці білої становить 7-10 од., густина – 236-398 шт./га, запас деревини – 239-391 м³·га⁻¹, абсолютна повнота – 18,6-29,9 м²·га⁻¹. У 105-річному деревостані (контроль) густина становить 788 шт./га, абсолютна повнота – 52,3 м²·га⁻¹ і запас стовбурової деревини – 667 м³·га⁻¹.

2. У деревостанах після першого прийому рівномірно-поступової рубки кількість підросту деревних видів становить 15,49-17,00 тис. шт./га з перевагою у складі ялиці білої (42,4-86,8%). Частка ялини у складі підросту становить 13,2-34,3, бука – 2,9-22,6%. У складі молодого покоління лісу найменше представлений самосів (2,7-25,5%), а за висотою переважає середній (28,5-61,8%) і дрібний (29,9-59,6%) підріст деревних видів. На контрольній ділянці кількість підросту деревних видів становила 9,30 тис. шт./га з часткою ялиці в 94,4% і траплянням 35,8%.

3. Встановлено суттєве зменшення відносно контролю морфометричних показників хвої підросту ялиці: довжини – на 22,0-45,3, товщини – на 20,0-62,2, ширини – на 1,4-15,7, площі поперечного перерізу – на 18,2-45,3, площі поверхні – на 32,7-54,8%. Кількість рядів продихів на 1 мм у хвої підросту ялиці під наметом деревостанів істотно (на 7,5-32,8%) перевищує контроль. Густина продихів у хвої дослідних варіантів становить 68,3-91,8 шт./мм² і на переважній кількості площадок є істотно (на 14,3-34,2%) вищою від контролю.

4. Вміст зелених пігментів в однорічній хвої підросту ялиці в 105-річному деревостані змінюється в межах 2,644-5,297, а жовтих – 0,259-0,974 мг/г абс. сух. маси та перевищує контроль за вмістом хлорофілів на 48,9-198,2%, а каротино-

їдів – на 16,7-168,9%. У 2-річній хвої сумарний вміст хлорофілів змінюється від 3,664 до 6,384, каротиноїдів – від 0,410 до 1,099 мг/г абс. сух. маси. За показниками вмісту пластидних пігментів у дворічній хвої відмінності з контролем виявилися значно меншими, ніж в однорічній. За вмістом зелених пігментів підріст ялиці під наметом деревостану перевищує контроль на 14,6-51,3% лише на площадках 2-4, 6, 7, 10-12, а на інших – відстає від контролю на 1,3-13,1%. Вміст каротиноїдів на одних площадках (2-5, 7, 10-12) виявився вищим від контролю на 8,1-26,2%, а на інших (1, 6, 8, 9) – меншим на 36,8-54,6%.

5. За діелектричними показниками підріст ялиці під наметом деревостану істотно ($t_{\phi} = 3,72-23,50$ при $t_{05} = 2,10$) відрізняється від контролю, його процеси життєдіяльності перебувають у депресивному стані.

6. Найбільшою залежністю від інтенсивності освітлення в інтервалі його пропускання під намет деревостанів 0,4-7,2% характеризуються пластидні пігменти. Із зменшенням інтенсивності освітлення їхня кількість пропорційно зростає. Коефіцієнт кореляції між показниками освітленості і вмістом зелених пігментів в 1-річній хвої виявився зворотним і помірним та значним ($r = -0,465 - -0,580$), а з вмістом жовтих пігментів – зворотним і високим ($r = -0,797$). Високий зворотний кореляційний зв'язок ($r = -0,713$) спостережено між інтенсивністю освітлення і показниками відношення хлорофілів a/b та високий прямий ($r = 0,830$) – з показниками відношення суми хлорофілів до каротиноїдів. Подібні закономірності в біосинтезі пластидних пігментів встановлено і для 2-річної хвої. Формування морфометричних показників хвої меншою мірою корелює з інтенсивністю освітлення.

7. У різновікових ялицевих деревостанах доцільно поєднувати проведення добровільно-вибіркового і групово-поступових рубок. За їхнього застосування насамперед зрубують найбільші дерева, які досягли віку технічної стиглості. За наявності підросту з куртинним розміщенням покращуються умови для його росту, насінного поновлення деревних видів та стимулювання росту дерев нижчих ступенів товщини.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Ambs, D., Schmied, G., Zlatanov, T., Kienlein, S., Pretzsch, H. & Nikolova, P., S. (2024). Regeneration dynamics in mixed mountain forests at their natural geographical distribution range in the Western Rhodopes. *Forest Ecology and Management*, 552(15), 121550. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2023.121550>
- Bottalico, F., Travaglini, D., Fiorentini, S., Lisa, C. & Nocentini, S. (2014). Stand dynamics and natural regeneration in silver fir (*Abies alba* Mill.) plantations after traditional rotation age. *I Forest – Biogeosciences and Forestry*, 7(5), 313-323. <https://doi.org/10.3832/for0985-007>
- Brodovych, R.I., Gudyma, V.M., Brodovych, Yu.R., & Katsuliak, Yu.D. (2013). Natural restoration of the main forest-forming species of the Carpathian region and ways of its intensification. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(5), 162-168. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/162_Bro.pdf [Бродович, Р.І., Гудима, В.М., Бродович, Ю.Р., Кацуляк, Ю.Д. (2013). Природне відновлення головних лісоутворювальних порід Карпатського регіону та шляхи його інтенсифікації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(5), 162-168] (in Ukrainian)
- Brodovych, R.I., Porada, T.M.; & Ravlyuk, I.P. (2003). Up-to-date status and scientifically grounded strategy of silver fir forests reproduction in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 13(3), 199-206. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/199_Brodowycz_13_3.pdf [Бродович, Р.І., Порада, Т.М., Равлюк, І.П. (2003). Сучасний стан та науково-обґрунтована стратегія відтворення ялицевих лісів Українських Карпат. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 13(3), 199-206] (in Ukrainian)
- Chernyavskyy, M., Telish, P. & Kolyadzhyn, I. (2013). Optimization of the structure of mixed fir forests of the basin of the Sivka and Chechva rivers within the Precarpathians on the basis of close to natural forestry. *Bulletin of Lviv University. Geograph. Series*, 45, 331-347. Retrieved from <http://publications.lnu.edu.ua/bulletins/index.php/geography/article/view/1187> [Чернявський, М., Теліш, П., Коляджин, І. (2014). Оптимізація структури мішаних ялицевих лісів басейну річок Сівка і Чечва у межах Передкарпаття на засадах наближеного до природного лісівництва. *Вісник Львів. ун-ту. Сер. геогр.*, 45, 331-347] (in Ukrainian)
- Forest inventory sample plots. Establishing method (2006). Corporate standard 02.02-37-476:2006. [Valid from May 1, 2007], Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України] (in Ukrainian)
- Gerushinsky, Z. Yu., Krynytsky, G. T., Gout, R. T. & Bozhok, A. A (1983). *Geographical crops of Scots pine in Lviv Rostochya: practical recommendations*. Lviv: Lviv Forestry Institute. [Герушинский, З.Ю., Криницький, Г.Т., Гут, Р.Т., Божок, А.А. (1983). *Географические культуры сосны обыкновенной на Львовском Росточье: практические рекомендации*. Львов: ЛЛТИ. 47 с.] (in Russian)
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of the Forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Piramida. [Ге-

- рушинський, З.Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда] (in Ukrainian)
- Golubets, M.A. (1988). *Fir forests* (Abieta formation). In book: *Ukrainian Carpathians. Nature*. Kyiv: Scientific thought [Голубець, М.А. (1988). *Лісові ліси* (формація Abieta). В кн.: *Українські Карпати. Природа*. Київ: Наукова думка] (in Russian)
- Grom, M.M. (2005). *Forest taxation*. Lviv: Ukrainian State Forestry University [Гром, М.М. (2005). *Лісова таксація*. Львів: УкрДЛТУ. 224 с.] (in Ukrainian)
- Horoshko, M.P., Miklush, S.I., & Khomiuk, P.G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula [Горошко, М.П., Миклуш, С.І., Хоміук, П.Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула. 234 с.] (in Ukrainian)
- Hrynyk, H.H. (2011). Forestry and assessment characteristics of silver-fir forests stands in Ukrainian Carpathians account relief features. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 17-28. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/17_Hry.pdf [Гриник, Г.Г. (2011). Лісівничо-таксаційна характеристика ялицевих деревостанів Українських Карпат з урахуванням особливостей рельєфу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(13), 17-28] (in Ukrainian)
- Kazakov, Ye.O. (2000). *Methodological foundations for setting up experiments in plant physiology*. Kyiv: Phytosociocenter. ISBN 966-7459-60-8. [Казаків, Є.О. (2000). *Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин*. Київ: Фітосоціоцентр. 272 с.] (in Ukrainian)
- Kerimov, E.I. & Zaika, V.K. (2018). Dielectric properties of tree species in stands containing european larch. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(8), 23-27. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2018/28_8/6.pdf [Керімов, Е.І., Заїка, В.К. (2018). Діелектричні показники деревних видів у деревостанах за участю модрина європейської. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(8), 23-27] (in Ukrainian)
- Kolisnyk, B., Wellstein, C., Czacharowski, M., Drozdowski, S. & Bielak, K. (2024). Contrasting Regeneration Patterns in *Abies alba*-Dominated Stands: Insights from Structurally Diverse Mountain Forests across Europe. *Forests*, 15(7), 1182. <https://doi.org/10.3390/f15071182>
- Kolyadzhyn, I.F. (1999). *Forestry and ecological foundations of the fir stands formation in the Precarpathians*. Abstract doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0414U001421> [Коляджин, І.Ф. (2014). *Лісівничо-екологічні основи формування ялицевих деревостанів Передкарпаття*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Kolyadzhyn, I.F. (2011). The features of reconstruction cuttings in the mixed silver firs plantations on the watersheds of Svicha and Limnytsja rivers. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 1(16), 355-358. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/355_Kol.pdf [Коляджин, І.Ф. (2011). Особливості рубок реконструкції мішаних ялицевих культур басейну річок Свіча і Лімниця. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 355-358] (in Ukrainian)
- Kolyadzhyn, I.F. (2013). Dynamics of natural regeneration on clear cutting areas in Precarpathians beech-spruce-fir forests. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(11), 19-24. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_11/19_Kol.pdf [Коляджин, І.Ф. (2013). Динаміка природного поновлення на зрубках у буково-ялицево-ялинових лісах Передкарпаття. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(11), 19-24] (in Ukrainian)
- Krynitsky, H.T. (1992). On the methodology for using electrophysiological indicators to determine the viability of woody plants. *Forestry, Forest, Paper and woodworking Industry*, 23, 3-10. [Криницький, Г.Т. (1992). Про методику використання електрофізіологічних показників для визначення життєздатності деревних рослин. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 23, 3-10] (in Ukrainian)
- Li, X.N.; Wang, Y.H.; Yang, Z.H.; Liu, T. & Mu, C.C. (2022). Photosynthesis adaption in Korean pine to gap size and position within *Populus davidiana* forests in Xiaoxing'anling, China. *Journal of Forestry Research*, 33, 1517-1527. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-021-01439-0>
- Losyuk, V., Pohribnyi, O., Tomych, M., Chasovsky, O. & Vandzhurak, P. (2022). The condition and structure of fir forests of the Pokuttia Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 79-90. <https://doi.org/10.15421/412207> [Лосюк, В.П., Погрибний, О.О., Томич, М.В., Часковський, О.Г., Ванджурак, П.І. (2022). Стан і структура ялицевих лісів Покутських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 79-90] (in Ukrainian)
- Oliynyk, R.R. & Kolyadzhyn, I.F. (1999). The principal questions of the perfection of the silviculture in the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 9(10), 158-162. ISEN 5-7763-2435-1 [Олійник, Р.Р., Коляджин, І.Ф. (1999). Принципові питання вдосконалення лісовідновлення в Карпатах. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 9(10), 158-162] (in Ukrainian)
- Orman, O., Wrzesiński, P., Dobrowolska, D. & Szewczyk, J. (2021). Regeneration growth and crown architecture of European beech and silver fir depend on gap characteristics and light gradient in the mixed montane old-growth stands. *Forest Ecology and Management*, 482, 118866. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118866>
- Robakowski, P., Wyka, T., Samardakiewicz, S. & Kierzkowski, D. (2004). Growth, photosynthesis, and needle structure of silver fir (*Abies alba* Mill.) seedlings under different canopies. *Forest Ecology*

- and Management, 201(2-3), 211-227. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.06.029>
- Shvidenko, A. I. (1980). *Fir forests of Ukraine*. Lviv: High school [Швиденко, А. И. (1980). *Пихтовые леса Украины*. Львов: Вища школа. 342 с.] (in Russian)
- Terelya, I. P. (2004). *Silver fir (Abies alba Mill.) in the forests of the Ukrainian Carpathians: condition, reproduction and economic use*. Abstract doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe [Тереля, І. П. (2004). *Ялиця біла (Abies alba Mill.) у лісах Українських Карпат: стан, відтворення та господарське використання*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Tkach, V. P., Luk'yanets, V. A. & Rumyantsev, M. G. (2014). Advance regeneration of tree species in fresh maple-lime oak forest of the leftbank forest-steppe. *Forestry and Agroforestry*, 124, 47-54. Retrieved from <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000395511> [Ткач, В. П., Лук'янець, В. А., Румянцев, М. Г. (2014). Попереднє поновлення деревних порід в умовах свіжої кленово-липової діброви лівобережного Лісостепу. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 124, 47-54] (in Ukrainian)
- Ugarković, D., Jazbec, A., Seletković, I., Tikvić, I., Paulić, V., Ognjenović, M., Marušić, M. & Potočić, N. (2021). Silver Fir Decline in Pure and Mixed Stands at Western Edge of Spread in Croatian Dinarides Depends on Some Stand Structure and Climate Factors. *Sustainability*, 13(11), 6060. <https://doi.org/10.3390/su13116060>
- Vandzhurak, P. I. (2024). Age structure of the undergrowth of *Abies alba* Mill. under the canopy of stands with different methods of felling. In *Close-to-nature forestry: problems and prospects: abstracts of reports of the International Scientific-Practical Conference*, 36-37. Kyiv, April 25-26. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/tezy_april_25_kyiv_nubip_1.pdf [Ванджурак, П. І. (2024). Вікова структура підросту *Abies alba* Mill. під наметом деревостанів за різних способів рубок. *Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи*: тези доповідей Міжнарод. наук.-практ. конф., Київ, 25-26 квітня 2024 р. Київ: НУБіП України, 36-37] (in Ukrainian)
- Vandzhurak, P. I., Debrynyuk, Iu. M., & Savchyn, V. M. (2023). Forests of the Pokutsky Carpathians: distribution and silvicultural and taxonomic characteristics. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 39-55. <https://doi.org/10.15421/412303> [Ванджурак, П. І., Дебрінюк, Ю. М., Савчин, В. М. (2023). Лісостани Покутських Карпат: поширення та лісівничо-таксаційна характеристика. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 39-55] (in Ukrainian)
- Vasylyshyn, R. D. (2013). Growth dynamic of normal fir stands of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(6), 87-92. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_6/18.pdf [Василишин, Р. Д. (2013). Хід росту повних ялицевих деревостанів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(6), 87-92] (in Ukrainian)
- Vishnevsky, A. V. (2015). The Undergrowth Spacing Structure under the Canopy of Mature Pine Trees under Rivnenske Polissya Pine Wood Conditions. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(1), 44-48. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_1/9.pdf [Вишневський, А. В. (2015). Просторова структура підросту під наметом стиглих соснових деревостанів у борових умовах Рівненського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(1), 44-48] (in Ukrainian)
- Wenkai Li, Bei Li, Xiao Ma, Sudipta Saha, Haibo Wu, Peng Zhang & Hailong Shen (2023). Physiological and Biochemical Traits of Needles Imply That Understory Light Conditions in the Growing Season May Be Favorable to *Pinus koraiensis* Trees. *Forests*, 14(7), 1333. <https://www.mdpi.com/1999-4907/14/7/1333>
- Zaika, V. K., & Derekh, O. I. (2014). The Plastid Pigments Content in Beech and Oak Undergrowth on Area with Different Stages of Digression of Lviv Green Zone. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(3), 9-17. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_3/9_Zaj.pdf [Заїка, В. К., Дерех, О. І. (2014). Вміст пластидних пігментів у підростах бука і дуба на ділянках різних стадій дигресій зеленої зони Львова. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(3), 9-17] (in Ukrainian)
- Zaika, V. K., Kalenyuk, Y. S., Krynytsky, G. T., Matusyak, M. V., & Prokopchuk, V. M. (2021). *Silvicultural and ecological role of small-leaved lime in hornbeam-oak forests of Western Podillya*. Vinnytsia: Works. ISBN 978-617-552-085-7 [Заїка, В. К., Каленюк, Ю. С., Криницький, Г. Т., Матусяк, М. В., Прокопчук, В. М. (2021). *Лісівничо-екологічна роль липи серцелистої в грабових дібровах Західного Поділля*. Вінниця: Твори. 192 с.] (in Ukrainian)
- Zhu, J., Wang, K., Sun, Y. & Yan, Q. (2014). Response of *Pinus koraiensis* seedling growth to different light conditions based on the assessment of photosynthesis in current and one-year-old needles. *Journal of Forestry Research*, 25, 53-62. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11676-014-0432-7>

Morphophysiological features of silver fir young growth formation under conditions of moist fairly fertile spruce-beech-fir forest type

B. Milinevych¹, V. Zaika², V. Kovaleva³,
Y. Yusypovych⁴, M. Pavuk⁵, V. Tusjak⁶

Forest regeneration processes in 90-110-year-old fir stands of the moist fairly fertile spruce-beech-fir forest type and the morphophysiological characteristics of silver fir young growth were studied. It was found that in stands that have been subjected to the first stage of uniform shelterwood cutting, the proportion of fir trees ranges from 7 to 10 units, the timber stock varies between 239 and 391 m³·ha⁻¹, and the total basal area ranges from 18.6 to 29.9 m²·ha⁻¹. In contrast, in the stand without any management intervention, these indicators amount to 52.3 m²·ha⁻¹ and 667 m³·ha⁻¹, respectively. In stands after the first stage of uniform shelterwood cutting, the density of young tree regeneration amounts to 15.49-17.00 thousand individuals per hectare, with the share of fir in this young growth ranging from 42.4% to 86.8%. Self-sown trees are

the least represented in the young growth, accounting for 2.7-25.5%; and in terms of height, medium (28.5-61.8%) and small (29.9-59.6%) young growth of tree species prevail. In the unmanaged fir stand, the young growth density of tree species is 9.30 thousand individuals per hectare, with silver fir making up 94.4% of the total. The average height of fir young growth in the unmanaged stand varies between 21 and 119 cm, with height increment ranging from 1.6 to 9.1 cm, which is significantly lower than in the control area. A considerable reduction in the morphometric characteristics of fir needles in the young growth was observed: needle length decreased by 22.0-45.3%, thickness – by 20.0-62.2%, width – by 1.4-15.7%, cross-sectional area – by 18.2-45.3%, and surface area – by 32.7-54.8%. The content of green pigments in one-year-old needles of fir young growth in a 105-year-old stand varies within 2.644-5.297, and yellow pigments – 0.259-0.974 mg/g abs. dry weight and exceeds the control area for the content of chlorophylls by 48.9-198.2% and carotenoids – by 16.7-168.9%. In 2-year-old needles, the total content of chlorophylls varies from 3.664 to 6.384 and that of carotenoids – from 0.410 to 1.099 mg/g abs. dry weight. In terms of the content of plastid pigments in 2-year-old needles, the differences with the control area were significantly smaller than in 1-year-old needles, which is due to the adaptation of its vital processes. There is a tendency toward a decrease in the chlorophyll *a/b* ratio in the experimental variants of silver fir in one- and two-year-old needles by 1.1-28.5% and an increase in the ratio of green pigments to yellow pigments by 8.4-111.9%. In case of insufficient illumination, the role of chlorophyll *b* in plants increases as a mechanism for adapting to the absorption of visible spectrum energy that enters through the forest canopy to the young growth. According to dielectric parameters, the fir young growth under the canopy of the stand differs significantly ($t_f = 3.72-23.50$ at $t_{05} = 2.10$) from the control area and its vital processes are in a depressed state. In all-aged fir stands, it is advisable to combine selection and group-shelterwood fellings. When using them, the largest trees that have reached technical maturity are to be cut down first. The presence of young growth with a curtain-like arrangement improves conditions for its growth, regeneration of tree species by seed, and stimulation of the growth of trees of lower diameter classes.

Key words: fir stand; young growth; needle morphological characteristics; plastid pigments; dielectric properties; growth; chlorophylls; carotenoids.

¹ Bohdan Milinevych – master's degree, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: bohdan.milinevych.21@pnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-2516-6260>

² Volodymyr Zaika – Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Forestry and Agrarian Management at the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³ Valentina Kovaleva – PhD, Senior Researcher. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kovaleva@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3099-2747>

⁴ Yurii Yusypovych – PhD, Head of the Department of Landscaping and Plant Reproduction of the Botanical Garden. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: jojusse@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0013-6699>

⁵ Mykhailo Pavuk – postgraduate student, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenka st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: mykhailo.pavuk.22@pnu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0003-6157-0832>

⁶ Vasyl Tusjak – postgraduate student, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: asp.tusjak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-4962-8743>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412507>

Article received 2024.10.29

Article revised 2024.11.18

Article accepted 2025.05.12

Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Vasyl Pavliuk

pww1960@i.ua

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*165:581.1(477.42)

Морфофізіологічні особливості функціонування підліскових видів у соснових лісостанах Шепетівського Полісся

А. В. Сасюк¹, В. К. Заїка², В. В. Павлюк³

Досліджено морфометричні показники листяного апарату та біосинтез пластидних пігментів підлісковими видами, які ростуть під наметом 56-90-річних соснових деревостанів Шепетівського Полісся. Частка сосни в складі дослідних деревостанів становить 9-10 одиниць. У лісостанах загалом трапляється 10 підліскових видів, серед яких найбільше поширені горобина звичайна, крушина ламка і ліщина звичайна. Меншою мірою трапляються терен колючий, калина звичайна, барбарис звичайний, черемха пізня, бузина червона, бруслина європейська і глід колючий. На переважній кількості ділянок підлісок розташований рівномірно, а на окремих – куртинами. Його загальна кількість коливається в межах 13,67-76,67 тис. шт./га і не залежить від типу лісу чи лісорослинних умов. Серед дослідних видів переважання великого за розмірами підліску характерно для ліщини звичайної, горобини звичайної та барбарису звичайного.

За результатами досліджень морфометричних показників листків підліскових видів встановлено, що варіювання їхньої довжини і ширини переважно становить в межах 10-30, а площі поверхні – 30-50%. У горобини коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів і площею листків є зворотнім і помірним ($r = -0,48$), у ліщини ($r = -0,09$) і крушини ($r = -0,17$) – зворотнім і слабким. Зі збільшенням абсолютної повноти деревостанів від 29,8 до 38,6 м²/га найбільш значимо зменшується площа листків у горобини і значно меншою мірою реагують розміри листової пластинки на умови середовища у крушини і ліщини.

Встановлено пластичність підліскових видів у біосинтезі пластидних пігментів стосовно умов середовища. Розмах мінливості вмісту хлорофілів у крушини на різних ділянках становить 1,62, каротиноїдів – 1,51, у ліщини – 1,99 і 1,98, у горобини – 1,96 і 1,91 та барбарису – 1,31 і 1,65 рази. У крушини ламкої коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів та вмістом зелених і жовтих пігментів становить 0,59-0,98. У ліщини звичайної встановлено зниження біосинтезу хлорофілу *a* ($r = -0,41$) із збільшенням повноти деревостанів і зростання концентрації хлорофілу *b* ($r = 0,47$) і каротиноїдів ($r = 0,91$). Найменші зміни в біосинтезі зелених і жовтих пігментів виявлено у горобини звичайної.

Ключові слова: підлісок; трапляння підліскових видів; лісостан; деревостан; хлорофіли; каротиноїди; пластидні пігменти; зелені пігменти; жовті пігменти; морфометричні показники листків.

¹ Сасюк Андрій Володимирович – директор. Національний природний парк «Мале Полісся», вул. Михельська, 32, м. Ізяслав Хмельницької обл., 30300, Україна. E-mail: malepolisja@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-6933-516X>

² Заїка Володимир Костянтинович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор кафедри лісового і аграрного менеджменту. Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³ Павлюк Василь Васильович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: pww1960@i.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-0992-7550>

Вступ (Introduction).

Ліс – це динамічне угруповання різних організмів, склад яких у процесі його формування змінюється. Одні види в лісостанах пристосовуються до змінних умов середовища та успішно розвиваються, інші – не витримують конкурентної боротьби і випадають зі складу лісостану. Усі складові компоненти лісу є необхідними, яку б роль вони не виконували. Серед цих складових одним із найменш вивчених компонентів лісу щодо його значення для росту деревостанів є підлісок. Його формування значною мірою залежить від лісорослинних умов та лісівничо-таксаційних показників деревостанів, адже добре сформований лісовий намет може пропускати менше 1% сонячної енергії (Chazdon, & Pearcy, 1991).

На поширення підліскових видів та формування підліску в лісостанах істотно впливає материнський деревостан, а особливо – кількість світла, яка проникає через лісовий намет (Бондаренко, 1998, 2011, 2011a, 2013; Бондаренко, Музика, 2010, 2010a; Zaika, & Bondarenko, 2018, Козловський, Бондаренко, 2013). Інтенсивність світла є одним із основних чинників, який впливає на ріст, розвиток і життєдіяльність піднаметової лісової рослинності (Majasalmi & Rautiainen, 2020).

Існують різні погляди щодо значення підліску в лісостанах різних лісорослинних умов (Deng, et al., 2023). І тут важливе значення має видовий склад деревостанів. На нашу думку (Сасюк, Заїка, Павлюк, 2022; Сасюк та ін., 2022) роль підліску істотно посилюється у чистих хвойних деревостанах, де формується груба лісова підстилка з переважанням хвої в її складі. У такій лісовій підстилці формується кисле середовище, яке є переважно несприятливим для розвитку сапротрофних мікроорганізмів, які безпосередньо беруть участь у процесах її гуміфікації і мінералізації. Опад підліскових видів у таких деревостанах покращує умови для поширення і функціонування сапротрофних мікроорганізмів і певною мірою заміщає відсутність листяних деревних видів. Грунтовні дослідження в цьому напрямі були проведені П. С. Погребняком (1993). Він досліджував актуальну реакцію фільтратів з опадів 31-го деревного і кущового видів у в різні періоди сезонного розвитку. За отриманими результатами П. С. Погребняк розділив види на три групи – підкислювачі (ацидофікатори), підлугувувачі (алкалізатори) і нейтральні. До алкалізаторів ним віднесено низку підліскових видів – бузину чорну, бруслину європейську, бруслину бородавчасту і глід колючий.

У процесі формування лісостанів між його компонентами складаються непрості взаємозв'язки. Реакцією підліскових видів на динамічні зміни умов піднаметового середовища є морфофізіологічні пристосування, які забезпечують проходження процесів життєдіяльності на достатньому рівні. Дослідження адаптивних реакцій підліскових видів на умови середовища і, зокрема, на умови світло-

вого режиму дає змогу виявити їхні індивідуальні видові особливості щодо здатності до поширення і виживання в умовах лісових фітоценозів. Такі дослідження є актуальними, оскільки дають не тільки теоретичні уявлення щодо механізмів пристосування підліскових видів до умов піднаметового середовища деревостанів, але й мають практичне значення щодо їх використання у лісових фітоценозах з різним світловим режимом.

Мета дослідження – встановити розмах морфофізіологічної реакції підліскових видів під наметом 56-90-річних соснових деревостанів в умовах свіжих і вологих сугрудів та суборів Шепетівського Полісся.

Об'єкти та методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – морфофізіологічні особливості функціонування підліскових видів у соснових лісостанах Шепетівського Полісся. *Предмет дослідження* – вплив материнських деревостанів на формування підлісковими видами листяного апарату та біосинтез пластидних пігментів.

Шепетівське Полісся як геоморфологічний округ займає східну частину Малого Полісся і розташоване на території Шепетівського, Ізяславського та Славутського адміністративних районів Хмельницької області (Природа Хмельницької області, 1980; Цись, 1962). В основі цього округу лежить Шепетівський тектонічний блок, який охоплює крайню північну частину області і з півдня обмежений Шепетівським уступом по лінії сіл Кунів – Плужне до міст Ізяслав – Шепетівка – Полонне. Для округу властивий поліський тип ландшафту, що характеризується низкою специфічних ознак (Маринич, Пашенко & Шищенко, 1985). Насамперед, в межах округу переважають рівнинні форми рельєфу з незначним і неглибоким його розчленуванням (практично без ярів і балок). Окрім того, рівнинний характер поверхні ускладнює стікання природних вод, погіршує її дренажність, що спричинює надмірне локальне зволоження території, особливо у пониженнях. Поширення піщаних пухких наносів переважно водного походження зумовлює формування специфічного ландшафту з перевагою соснових лісів і боліт. Специфіка округу полягає також в особливих кліматичних умовах території, які формується за найнижчих, в середньому на 30 м, абсолютних висот (220-240 м), обширних масивів лісів і боліт, значної втрати частини тепла, що витрачається на випаровування перезволожених територій.

Такі природні особливості зменшують суму активних температур у регіоні, що є причиною виникнення тривалих затяжних весен. Осадкові породи крейдового та неогенового періодів, вкриті зверху піщаними і супіщаними відкладами, створюють передумови для активного поширення широкого спектру переважно оліготрофної та мезотрофної деревної рослинності (Маринич, Шищенко, 2005).

Морфофізіологічні дослідження підліску здійснювали в 56-90-річних соснових деревостанах Шепетівського Полісся, які ростуть в умовах свіжих і вологих сугрудів та суборів філії «Ізяславське ЛГ», «Славутське ЛГ» і «Шепетівське ЛГ» (табл. 1).

Частка сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у складі дослідних деревостанів становить 9-10 одиниць. У складі окремих з них близько 10% посідають дуб звичайний (*Quercus robur* L.) або береза повисла (*Betula pendula* Roth), а такі деревні види як клен гостролистий (*Acer pseudoplatanus* L.), в'яз голий (*Ulmus glabra* Huds.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), клен ясенелистий (*Acer negundo* L.), ялина

європейська (*Picea abies* (L.) Karst.), липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), яблуня лісова (*Malus sylvestris* (L.) Mill.) та вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.) виступають у ролі домішки. Сосна звичайна у цих деревостанах росте за I-I^a класами бонітету, абсолютна повнота становить 29,8-38,6 м²/га. Запас стовбурової деревини порівняно високий – 326-481 м³/га (Сасюк та ін., 2022).

З метою дослідження морфометричних показників листків і вмісту пластидних пігментів у найбільш поширених під наметом деревостанів видів підліску, відбирали по 25-30 листочків підліскового виду з верхньої частини крони. Листки відбирали з 8-10 рослин кожного досліджуваного деревного виду.

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники соснових деревостанів

Table 1. Forest-mensuration indicators of pine stands

№ ПП	Склад деревостану	Індекс типу лісу	А, років	D, см	H, м	Бонітет	G, м ² /га	M, м ³ /га
1	10Сз + Дз, Ялє, Гз, Бп	С ₂ -Г-ДС	65	29,6	25,5	I ^a	38,6	480
2	10Сз + Дз, Клг, Вzg, Гз, Ясз, Кляс	С ₂ -Г-ДС	65	33,8	25,7	I ^a	35,6	436
3	10Сз + Бп	С ₂ -Г-ДС	75	31,3	25,2	I	30,3	376
4	9Сз1Дз + Лпс, Вzg, Ялє, Клг, Гз	С ₃ -Г-ДС	71	30,8	26,1	I ^a	36,8	464
5	10Сз	С ₂ -Г-ДС	63	31,8	26,0	I ^a	32,2	414
6	10Сз + Дз, Бп, Гз	С ₂ -Г-ДС	58	26,9	23,3	I ^a	38,4	452
7	10Сз	С ₂ -Г-ДС	73	34,3	25,5	I	38,2	481
8	9Сз1Бп + Дз	В ₃ -ДС	80	29,1	25,2	I ^a	29,8	388
9	9Сз1Дз + Бп, Ябл	С ₂ -Г-ДС	68	34,7	28,1	I ^a	34,9	469
10	10Сз + Дз, Гз	С ₂ -Г-ДС	59	26,0	21,2	I	30,4	328
11	10Сз + Дз, Бп, Ябл	В ₂ -ДС	81	30,3	24,3	I	34,6	419
12	10Сз + Дз, Бп	В ₂ -ДС	56	21,2	18,8	I	32,5	326
13	9Сз1Дз + Ялє, Гз	С ₂ -Г-ДС	63	25,9	21,4	I	35,9	386
14	10Сз + Бп, Вхч	С ₂ -Г-ДС	90	38,0	28,9	I ^a	33,9	473
15	10Сз + Дз, Бп	В ₃ -ДС	81	30,1	24,5	I	35,2	429

Примітка. Сз – сосна звичайна, Дз – дуб звичайний, Клг – клен гостролистий Вzg – в'яз голий, Гз – граб звичайний, Ясз – ясен звичайний, Кляс – клен ясенелистий, Ялє – ялина європейська, Бп – береза повисла, Лпс – липа серцелиста, Ябл – яблуня лісова, Вхч – вільха чорна.

Вимірювали довжину, ширину та площу листових пластинок. Для визначення площі листочків їх контури переносили на папір, вирізали і зважували з точністю до 0,001 г. Площу листків знаходили за відношенням маси вирізаних з паперу листочків до маси відомої площі паперу.

Вміст пластидних пігментів визначили за однією із загальноприйнятих методик (Казаков, 2000). Для цього 70-100 мг подрібнених листків розтирали

до однорідної маси і екстрагували 96% етанолом. Екстракт фільтрували через фільтр Шотта. Оптичну густину розчинів визначали на спектрофотометрі ULAB 102UV за довжини хвилі 440,5, 649 і 665 нм. Концентрацію хлорофілів (С) розраховували за формулами Вернона: $C_a = 13,70 \times D_{665} - 5,76 \times D_{649}$ (мг/л), $C_b = 23,80 \times D_{649} - 7,60 \times D_{665}$ (мг/л), а каротиноїдів – за формулою Веттштейна: $C_{кар.} = 4,695 \times D_{440.5} - 0,268 \times (C_a + C_b)$, мг/л. Вміст

пігментів (А) розраховували на абсолютно суху масу за формулою:

$$A = \frac{C \times V}{P \times 1000} \times K$$

де: А – вміст пігментів, мг/г абсолютно сухої маси; V – об'єм витяжки пігментів, мл; Р – наважка рослинного матеріалу, г; С – концентрація пігментів, мг/л; К – коефіцієнт усихання листків.

Результати (Results).

Під наметом деревостанів виявлено десять підліскових видів, серед яких горобина звичайна (*Sor-*

bus aucuparia L.) трапляється на всіх площах, крушина ламка (*Frangula alnus* Mill.) – на 92,9% і ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.) – на 78,6% дослідних ділянок. Меншою мірою трапляються терен колючий (*Prunus spinosa* L.), калина звичайна (*Viburnum opulus* L.), барбарис звичайний (*Berberis vulgaris* L.), черемха пізня (*Prunus serotina* Ehrh.), бузина червона (*Sambucus racemosa* L.), бруслина європейська (*Euonymus europaeus* L.) і глід колючий (*Crataegus oxyacantha* L.). На переважній кількості ділянок підлісок розміщений рівномірно (рис. 1а), а на окремих з них – куртинами (рис. 1б).



а)



б)

Рис. 1. Фрагменти соснових деревостанів з переважанням у складі підліску *Sorbus aucuparia* L. (а) і *Berberis vulgaris* L. (б)

Fig. 1. Fragments of pine stands with an understorey dominated by *Sorbus aucuparia* L. (a) and *Berberis vulgaris* L. (b)

За попередніми нашими даними (Сасюк та ін., 2022), загальна кількість підліскових видів у дослідних лісових фітоценозах змінюється в межах 13,67-76,67 тис. шт./га і не залежить від типу лісу чи лісорослинних умов. Під наметом деревостанів трапляється від 2-3 до 4-7 підліскових видів.

Важливим показником поширення підліскових видів у деревостанах є їхнє траплення. Його значення на переважній кількості дослідних ділянок становить більше 80%. Високими показниками траплення характеризуються горобина звичайна, крушина ламка і ліщина звичайна, а в окремих деревостанах – бруслина європейська і барбарис звичайний. Ступінь впливу підліску на деревостани і фітоценотичні умови під наметом лісу зале-

жить не лише від його кількості, але й від біометричних показників і здатності формувати зімкнутий намет. Результати досліджень біометричних показників підліскових видів наведено в табл. 2.

За результатами досліджень, підліскові види характеризуються значною видовою диференціацією біометричних показників. Найбільшої висоти і діаметра в деревостанах досягають *Corylus avellana*, *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus* і *Berberis vulgaris*. Так, середня висота екземплярів ліщини у різних деревостанах змінюється в межах 58-403 см, горобини – 55-263 см, крушини – 51-225 см і барбариса – 50-207 см. Значної середньої висоти у цих умовах також досягає *Sambucus racemosa* (43-210 см) і *Prunus serotina* (125-170 см).

Таблиця 2. Біометричні показники підліскових видів

Table 2. Biometric indicators of the understorey species

Індекс виду	Висота, см			Розподіл за висотою, %			Діаметр, мм		
	середня	min	max	до 50 см	51-150	> 150	середній	min	max
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пробна площа 1									
Грбз	119	10	460	38,3	20,6	41,1	7,6	2	24
Кршл	120	10	402	25,8	28,2	46,0	8,4	2	32
Лщз	298	102	450	–	10,0	90,0	19,8	8	42

Продовж. табл. 2
Continuation of Table 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пробна площа 2									
Брсє	26	5	110	85,7	9,5	4,8	3,2	2	8
Бузч	55	11	101	50,0	50,0	0,0	4,8	2	8
Глдк	60	5	170	62,5	18,8	18,8	5,5	3	12
Грбз	168	10	460	25,0	25,0	50,0	12,2	4	33
Лщз	260	10	650	23,8	14,3	61,9	18,4	2	88
Пробна площа 3									
Грбз	194	15	500	10,2	19,4	70,4	12,7	3,2	30,4
Кршл	65	8	230	50,0	22,2	27,8	6,3	2,1	19,5
Лщз	83	60	110	–	75,0	25,0	6,9	4,2	10,0
Пробна площа 4									
Брсє	13	4	25	100,0	0,0	0,0	2,8	2,0	3,8
Бузч	43	4	210	75,0	12,5	12,5	5,5	2,2	25,8
Грбз	133	60	195	–	50,0	50,0	11,5	7,3	20,8
Кршл	225	16	350	33,3	0,0	66,7	19,6	3,8	36,7
Лщз	403	30	1000	13,3	4,0	82,7	27,2	3,5	81,4
Пробна площа 5									
Брбз	184	30	400	21,1	15,8	63,1	11,6	2,5	25,0
Бузч	103	15	180	11,5	46,2	42,3	9,2	4,9	13,7
Грбз	55	32	80	50,0	50,0	0,0	7,2	4,3	11,4
Глдк	55	41	70	50,0	50,0	0,0	6,6	4,3	8,8
Клнз	195	43	350	50,0	–	50,0	20,1	8,2	32,0
Кршл	51	8	200	68,8	25,0	6,3	6,5	2,0	16,6
Лщз	58	45	70	50,0	50,0	0,0	6,3	5,0	7,6
Пробна площа 6									
Брбз	207	172	251	–	–	100,0	13,7	10,1	20,2
Бузч	118	11	382	28,6	14,3	57,1	8,3	3,6	12,9
Грбз	161	12	398	31,3	6,3	62,5	14,2	2,2	34,2
Глдк	88	21	374	71,4	14,3	14,3	7,0	3,2	23,8
Кршл	69	5	180	50,0	28,6	21,4	5,5	2,0	14,8
Лщз	189	15	521	23,1	15,4	61,5	14,0	3,2	38,4
Пробна площа 7									
Брбз	165	51	253	16,7	–	83,3	10,4	6,0	15,2
Грбз	263	62	450	–	16,7	83,3	15,9	6,0	29,0
Клнз	35	31	43	100,0	0,0	0,0	5,0	4,1	6,2
Кршл	63	15	110	50,0	0,0	50,0	6,0	2,0	10,0
Трнк	160	–	–	–	–	100,0	13,6	–	–
Пробна площа 8									
Грбз	137	11	430	21,5	26,2	52,3	9,8	2,0	34,6
Кршл	175	141	210	–	–	100,0	9,7	8,8	10,6
Пробна площа 9									
Брбз	50	–	–	100,0	–	–	2,6	–	–
Глдк	51	22	100	71,4	28,6	–	4,4	2,8	7,3
Грбз	121	25	570	26,3	31,3	42,4	8,8	2,0	57,6
Кршл	90	26	190	40,0	30,0	30,0	6,0	2,8	13,4
Лщз	238	28	750	8,4	16,8	74,8	17,0	3,0	65,8
Чрмп	142	50	262	16,7	16,7	66,7	10,5	4,0	15,9

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Пробна площа 10									
Брсє	79	16	215	56,2	13,7	30,1	7,5	2,0	21,2
Бузч	49	25	110	83,3	0,0	16,7	5,0	3,3	8,3
Грбз	194	26	600	8,0	36,0	56,0	13,0	2,3	48,0
Кршл	52	11	204	70,7	13,3	16,0	4,2	2,0	19,8
Лщз	303	100	550	–	3,8	96,2	21,0	2,0	51,0
Пробна площа 11									
Грбз	130	32	294	27,5	20,0	52,5	10,2	2,8	27,9
Кршл	150	–	–	–	–	100,0	10,4	–	–
Пробна площа 12									
Грбз	120	21	293	38,5	–	61,5	8,4	2,0	19,5
Кршл	66	12	241	55,4	26,6	18,1	5,2	2,2	32,0
Чрмп	170	–	–	–	–	100,0	23,0	–	–
Пробна площа 13									
Грбз	82	5	202	35,3	35,3	29,4	6,9	2,0	18,2
Кршл	77	11	352	46,9	35,4	17,7	6,4	2,0	20,7
Лщз	76	251	500	–	–	100,0	25,5	18,0	30,0
Пробна площа 14									
Бузч	210	150	252	–	–	100,0	21,8	13,8	27,3
Грбз	154	21	400	21,2	24,2	54,5	12,4	2,9	40,3
Кршл	112	5	300	30,6	27,8	41,7	8,0	2,5	30,1
Чрмп	125	15	700	25,8	38,7	35,5	13,6	2,2	93,0

Примітка. Брбз – барбарис звичайний, Брсє – бруслина європейська, Бузч – бузина червона, Глдк – глід колючий, Грбз – горобина звичайна, Клнз – калина звичайна, Кршл – крушина ламка, Лщз – ліщина звичайна, Трнк – терен колючий, Чрмп – черемха пізня.

У межах дослідних ділянок встановлена значна внутривидова мінливість підліскових видів за висотою, яка змінюється від 4-10 см до 5-10 м (див. табл. 1). У зв'язку з цим, здійснено поділ екземплярів підліскових видів на групи висот, у межах яких нами виділено дрібний (висота до 50 см), середній (51-150 см) і великий (більше 150 см) підлісок. Серед дослідних видів переважанням великого підліску виділяється ліщина, горобина і барбарис, частка якого, відповідно, становить 61,5-100, 50,0-83,3 і 63,1-100%. Підлісок з дрібними і середніми екземплярами ліщини і горобини представлений лише у деревостані на ПП №5, а барбарису – на ділянці №9. *Frangula alnus* також сформувала значну кількість великого підліску у деревостанах на пробних площах № 1, 4, 7, 8 і 14, а *Sambucus racemosa* – на ПП № 5, 6 і 14.

Результати досліджень морфометричних показників листків показали, що їх довжина у крушини становить 72,1-78,4 мм, ширина – 37,7-42,1 мм і площа – 19,1-24,4 см² (табл. 3). У горобини ці показники, відповідно, змінюються в межах 39,4-52,4 мм, 14,1-20,8 мм і 3,9-7,0 см², у ліщини – 85,1-103,9 мм, 65,0-83,3 мм і 39,5-63,3 см² та у барбарису – 37,4-40,8 мм, 19,3-21,1 мм і 5,1-6,2 см².

Варіабельність довжини і ширини листків підліскових видів у деревостанах переважно змінюється в межах 10-30% (див. табл. 3). Мінливість площі поверхні листків виявилась значно вищою і становить 30-50%. Вплив деревного соснового намету на біометричні показники листків встановлювали шляхом вивчення кореляції їхньої площі з абсолютною повнотою деревостанів. У різних підліскових видів його показники виявилися неоднаковими. Так, у *Sorbus aucuparia* коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів і площею листків є зворотнім і помірним ($r = -0,48$); зворотнім і слабким – у *Corylus avellana* ($r = -0,09$) та *Frangula alnus* ($r = -0,17$). Отримані результати підтверджують, що зі збільшенням абсолютної повноти деревостанів у межах 29,8-38,6 м²/га найбільш значимо зменшується площа листків у горобини і значно меншою мірою змінюються розміри листової пластинки, у зв'язку з інтенсивністю освітлення, у крушини і ліщини.

Ще одним механізмом виживання рослин під наметом лісу в умовах недостатньої освітленості є зміни у біосинтезі пластидних пігментів. Зазвичай рослини для поглинання достатньої кількості сонячного світла нагромаджують більшу кількість пластидних пігментів.

Таблиця 3. Морфометричні показники листків підліскових видів
Table 3. Morphometric indicators of leaves of the understorey species

№ ПП	Підлісковий деревний вид	Показники					
		довжина, мм		ширина, мм		площа, см ²	
		M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %
1	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	46,1±2,2	19,4	16,1±0,6	16,5	5,5±0,5	35,4
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	78,4±3,9	19,4	42,1±2,3	20,7	24,4±2,3	40,4
2	<i>Corylus avellana</i> L.	85,1±4,7	22,6	65,0±3,6	23,1	39,5±3,7	39,0
3	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	47,9±2,0	20,5	16,3±0,6	17,4	5,5±0,5	42,3
4	<i>Corylus avellana</i> L.	103,9±4,5	16,0	83,3±3,7	16,4	63,3±4,6	27,1
5	<i>Berberis vulgaris</i> L.	37,4±1,3	13,9	19,3±0,5	10,3	5,1±0,2	17,0
6	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	40,2±1,5	18,6	15,5±0,5	15,8	4,5±0,3	33,1
	<i>Corylus avellana</i> L.	89,8±5,3	21,2	75,5±5,1	24,2	49,2±6,4	46,6
7	<i>Berberis vulgaris</i> L.	40,8±2,3	27,8	21,1±1,1	26,3	6,2±0,6	49,3
	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	39,4±1,5	18,9	14,1±0,6	22,2	3,9±0,3	38,8
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	72,1±3,7	22,1	37,7±1,9	22,1	19,1±1,9	44,5
8	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	45,5±1,2	13,5	16,9±0,4	13,6	5,5±0,3	28,6
9	<i>Corylus avellana</i> L.	101,8±4,7	17,2	82,5±4,9	22,4	61,1±5,4	32,8
10	<i>Euonymus europaeus</i> L.	49,7±3,0	28,4	24,4±1,4	27,0	8,2±1,0	55,1
11	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	43,2±2,2	21,3	14,3±0,8	24,2	5,0±0,6	45,5
12	<i>Frangula alnus</i> Mill.	77,4±2,8	15,6	41,9±1,4	15,0	22,8±1,4	27,7
13	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	38,8±1,9	22,4	15,7±0,7	20,2	4,7±0,4	39,1
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	72,9±3,4	20,6	38,7±1,4	16,2	20,7±1,6	35,5
14	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	52,4±2,9	19,4	20,8±2,2	36,9	7,0±0,7	36,4
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	75,7±3,2	14,7	39,2±2,3	20,3	22,4±2,0	30,3
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	100,9±2,9	10,3	37,5±1,3	12,5	26,3±1,1	15,6

Таблиця 4. Вміст пластидних пігментів у підліскових видів на дослідних ділянках соснових
деревостанів Шепетівського Полісся

Table 4. Content of plastid pigments in understorey species in experimental plots of pine stands
in Shepetivka Polissia

№ ПП	Підлісковий деревний вид	Хлорофіли			Каротиноїди	Відношення	
		<i>a</i>	<i>b</i>	<i>a+b</i>	<i>c</i>	<i>a/b</i>	<i>(a+b)/c</i>
1	2	3	4	5	6	7	8
1	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	4,008	1,727	5,735	1,024	2,32	5,60
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	9,829	4,351	14,180	2,706	2,26	5,24
2	<i>Corylus avellana</i> L.	6,288	5,618	11,906	1,538	1,12	9,68
3	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	3,665	2,929	6,593	1,454	1,25	4,54
4	<i>Corylus avellana</i> L.	10,476	5,093	15,569	2,670	2,06	5,83
5	<i>Berberis vulgaris</i> L.	6,847	3,226	10,073	1,363	2,12	7,39

Продовж. табл. 4
Continuation of Table 4

1	2	3	4	5	6	7	8
6	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	6,396	2,956	9,352	1,440	2,16	6,49
	<i>Corylus avellana</i> L.	5,340	2,491	7,831	1,355	2,14	5,78
7	<i>Berberis vulgaris</i> L.	5,231	2,450	7,681	0,827	2,14	9,29
	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	5,542	2,423	7,965	1,437	2,29	5,54
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	9,539	4,214	13,753	2,593	2,26	5,30
8	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	4,289	1,821	6,110	1,164	2,35	5,25
9	<i>Corylus avellana</i> L.	9,038	4,308	13,346	2,314	2,10	5,77
10	<i>Euonymus europaeus</i> L.	6,979	3,415	10,394	1,907	2,04	5,45
11	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	5,364	2,332	7,696	1,405	2,30	5,48
12	<i>Frangula alnus</i> Mill.	6,123	2,633	8,756	1,741	2,33	5,03
13	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	4,166	1,797	5,963	1,123	2,32	5,31
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	6,893	2,959	9,852	2,006	2,33	4,91
14	<i>Sorbus aucuparia</i> L.	7,648	3,590	11,238	1,951	2,13	5,76
	<i>Frangula alnus</i> Mill.	9,335	4,395	13,730	2,649	2,12	5,18
	<i>Prunus serotina</i> Ehrh.	7,714	3,450	11,164	1,966	2,24	5,68

Найпомітнішою реакцією на умови середовища характеризуються *Corylus avellana* та *Frangula alnus* (табл. 4). Вміст зелених пігментів у цих видів під наметом дослідних деревостанів становить, відповідно, 8,756-14,180 і 7,831-15,569, а жовтих – 1,741-2,706 і 1,355-2,670 мг/г абсолютно сухої маси (див. табл. 4). У *Sorbus aucuparia* вміст хлорофілів змінюється від 5,735 до 11,238 мг/г, каротиноїдів – від 1,024 до 1,951 мг/г абсолютно сухої маси. Високим нагромадженням пластидних пігментів характеризуються також *Berberis vulgaris*, вміст хлорофілів в якого становить 7,681-10,073, каротиноїдів – 0,827-1,363 мг/г абсолютно сухої маси. В *Euonymus europaeus* і *Prunus serotina* ці показники, становлять, відповідно, 10,346-11,164 і 1,907-

1,966 мг/г абсолютно сухої маси. Розмах мінливості вмісту хлорофілів у *Frangula alnus* на різних ділянках становить 1,62 і каротиноїдів – 1,51 раза. У *Corylus avellana* ці показники, становили, відповідно, 1,99 і 1,98, у *Sorbus aucuparia* – 1,96 і 1,91 та у *Berberis vulgaris* – 1,31 і 1,65 раза. Відношення хлорофілів *a/b* у підліскових видів змінюється переважно в межах 2,06-2,35, що є характерним природним біологічним показником. Подібна тенденція виявлена також за відношенням сумарного вмісту хлорофілів до каротиноїдів, яке становить 4,54-7,39.

Кореляційні зв'язки між повнотою деревостанів і вмістом зелених та жовтих пігментів у підліскових видів виявились неоднаковими (табл. 5).

Таблиця 5. Коефіцієнти кореляції (*r*) між абсолютною повнотою соснових деревостанів і вмістом пластидних пігментів у найбільш поширених підліскових деревних видів

Table 5. Correlation coefficients (*r*) between the absolute density of pine stands and the content of plastid pigments in the most common understorey woody species

Підлісковий деревний вид	Показники					
	хл. <i>a</i>	хл. <i>b</i>	сума <i>a+b</i>	каротиноїди <i>c</i>	<i>a/b</i>	$(a+b)/c$
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	0,27	-0,11	0,16	-0,14	0,49	0,69
<i>Corylus avellana</i> L.	-0,41	0,47	0,76	0,91	0,40	-1,00
<i>Frangula alnus</i> Mill.	0,59	0,99	0,98	1,00	-0,72	-0,54

Реакція різних підліскових видів на зміну умов під наметом деревостанів є різною. Так, у крушини встановлено істотне зростання вмісту хлорофілів *a* і *b* та каротиноїдів зі зростанням повноти соснових деревостанів (див. табл. 5). Коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів та вмістом зелених і жовтих пігментів становить 0,59-0,98. У ліщини звичайної встановлено зниження біосинтезу хлорофілу *a* ($r = -0,41$) зі збільшенням повноти деревостанів і зростання концентрації хлорофілу *b* ($r = 0,47$) і каротиноїдів ($r = 0,91$). Таке зростання вмісту хлорофілів зумовлене переважно за рахунок хлорофілу *b*. Найменші зміни в біосинтезі зелених і жовтих пігментів виявлено у *Sorbus aucuparia*. У неї встановлено лише тенденцію до зростання кількості хлорофілу *b* і каротиноїдів ($r = -0,11 - -0,14$) зі збільшенням повноти деревостанів.

Подібні дослідження біосинтезу пластидних пігментів були проведені у грабово-дубових деревостанах Західного Поділля (Zaika & Bondarenko, 2018). Автори встановили значне зростання біосинтезу зелених і жовтих пігментів у підліскових видів під наметом деревостанів порівняно з умовами відкритої території. Під наметом деревостанів у підліскових видів особливо зростає біосинтез хлорофілу *b*.

Отримані результати показали, що у крушини і ліщини зі збільшенням повноти деревостанів вміст зелених і жовтих пігментів зростає, а у горобини встановлено тенденцію до зменшення концентрації хлорофілу *b* і каротиноїдів. Загалом же зі збільшення повноти деревостанів у листках ліщини і крушини зростає біосинтез хлорофілу *b* і каротиноїдів. Такі зміни у біосинтезі пластидних пігментів очевидно викликані спектральними характеристиками світлової енергії, яка проникає під намет деревостанів. Відомо, що хлорофіл *b* більшою мірою пристосований до поглинання далеких синьо-фіолетових і ближніх червоних променів. Максимум же поглинання каротиноїдів знаходиться в синьо-зеленій частині видимого спектру.

Дискусія (Discussion).

В Україні дослідженню поширення, особливостей формування та ролі підліскових видів у лісостанах різних лісорослинних умов приділялося недостатньої уваги. За останній 25-30-річний період трапляються лише роботи Т.В. Бондаренка з співавторами (Бондаренко, 1998, 2011, 2011a, 2013, 2013a; Бондаренко, Музика, 2010, 2010a; Zaika, & Bondarenko, 2018; Козловський, Бондаренко 2013). В умовах свіжої і вологої грабової діброви Західного Лісостепу під наметом складних грабово-дубових деревостанів у складі підліску переважно трапляється один-два види (Бондаренко, 2010, 2013a; Бондаренко, Музика, 2010a). Загалом в цих умовах переважають лісостани з рідким підліском, який формується під наметом деревостанів з відносною повнотою 0,7-0,8 і вище, густий – в деревостанах з повнотою 0,7 і нижче. За їхніми даними, найкращі умови для поширення і розвит-

ку підліскових видів у дубово-грабових лісостанах Західного Лісостепу складаються в деревостанах з повнотою 0,5-0,6. Водночас в соснових деревостанах сугрудів і суборів Малого Полісся спостерігається зростання видового розмаїття підліскових видів та інтенсивний його розвиток (Сасюк та ін., 2022).

Підліскові види інтенсивно розвиваються також і на ділянках лісових культур, часто створюючи конкуренцію деревним видам (Бондаренко, 2011; Бондаренко, Музика, 2010). У штучних одновікових деревостанах та у деревостанах, де проведено лісогосподарські заходи, не встановлено зниження видового розмаїття підліскових видів (Duguid, & Ashton, 2013). Це дослідження характеризує високий природний лісовідновний потенціал підліскових видів.

Підліскові види мають здатність рости і функціонувати під лісовим наметом, але характеризуються різною тінювитривалістю. Реакція рослин підліскових видів на зниження інтенсивності світла проявляється на морфофункціональному рівні (Сасюк та ін., 2022, 2023). Встановлено істотне зростання у них показників імпедансу і зниження поляризаційної ємності, що вказує на погіршення процесів життєдіяльності. Важливим адаптивним механізмом пристосування рослин до погіршення умов світлового режиму є зростання біосинтезу пластидних пігментів та зміни у співвідношенні хлорофілів *a/b* та відношення суми хлорофілів до вмісту каротиноїдів.

Нами також встановлено вплив повноти деревостанів на морфометричні показники листків підліскових видів (Сасюк та ін., 2022). Дещо раніше в дубових деревостанах свіжої і вологої грабової діброви Західного Лісостепу адаптивні зміни процесів життєдіяльності підліскових видів досліджували Т.В. Бондаренко і В.К. Заїка (Zaika, & Bondarenko, 2018; Bondarenko, 2013, 2013a). У їхніх роботах за змінами діелектричних показників і біосинтезу пластидних пігментів також показано адаптивну лабільність підліскових видів. У тінювих листках підліску посилюється біосинтез хлорофілу *b* і каротиноїдів, що є очевидною реакцією на спектральні характеристики світла, яке проникає під лісовий намет.

Результати досліджень у бореальних лісах Фінляндії показали, що формування підліску пов'язане з показником листового індексу лісового намету, а також з його зімкнутістю і по-різному проявляється у різних типах лісорослинних умов. Чіткіше такі закономірності фіксуються у деревостанах багатших трофотопів.

На нашу думку, роль підліскових видів істотно посилюється в чистих хвойних деревостанах та в умовах сугрудів і суборів (Bondarenko et al., 2025). У чистих соснових деревостанах унаслідок гуміфікації і мінералізації лісової підстилки та кореневих виділень ґрунти характеризуються кислотою і дуже кислотою реакцією, що погіршує умови

для функціонування фізіологічно активних коренів та поглинання ними з ґрунту поживних речовин і води. Тому була висунута гіпотеза про здатність підліскових видів своїм опадом, певною мірою, компенсувати вплив на лісову підстилку і ґрунт відсутніх у складі деревостанів листяних видів. Нами встановлено вплив підліскових видів на зниження кислотності та покращення низки інших агрохімічних показників ґрунту.

Здатність видів рости під наметом деревостанів визначається їхньою морфофізіологічною реакцією на умови середовища і, особливо, надходженням сонячної енергії (Pickett, & Kempf, 1980; Mao et al., 2017; Li et al., 2023; Li et al., 2012; Deng et al., 2023; Kloeppel, Abrams, & Kubiske, 1993; Kalkman, Simonton, & Dornbos, 2019; Barbier, Gosselin, & Balandier, 2008; Chazdon, & Pearcy, 1991; Pearcy, 1988). Так, в оглядовій статті (Barbier et al., 2008) стверджується, що на видове розмаїття підліскових видів істотно впливає тип деревостанів. За їхніми даними, хвойні ліси мають менше розмаїття судинних рослин, ніж листяні. Проте таке твердження, на нашу думку, не має однозначного трактування. Тут більшою мірою вплив на видове розмаїття підліску проявляє видовий склад деревостанів. За нашими даними, у чистих соснових деревостанах в умовах сугрудів трапляється від чотирьох до семи підліскових видів (Сасюк та ін., 2022). У зімкнутих ялинових чи ялицевих деревостанах підлісок переважно відсутній.

Істотний вплив на видове розмаїття підліскових видів мають також лісорослинні умови, вертикальна структура деревостанів тощо. Показано, що в тропічному лісі вплив світла на морфофізіологічні процеси під наметом деревостанів є важливішим, ніж концентрація у ґрунті азоту (Mao et al., 2017). Відомо, що у зімкнутих деревостанах до рівня підліску доходить не більше 0,5-5% світла. Тому для проходження фотосинтезу в підліскових видів важливе значення відіграють сонячні плями, які тривають від декількох секунд до кількох хвилин та освітлюють невеликі ділянки підліску (Chazdon, & Pearcy, 1991; Pearcy, 1988). Тіньовитривалі види можуть отримувати 30-60% щоденного вуглецевого приросту завдяки сонячним плямам. Зниження інтенсивності світла призводить до зменшення галуження і щільності розташування на пагонах листків (Pickett, & Kempf, 1980).

Варіабельність морфометричних показників листків та вмісту пластидних пігментів у підліскових видів вказує на їхню реакцію на умови світлового режиму під наметом деревостанів. І ті підліскові види, які характеризуються більшою лабільністю до умов світлового режиму під наметом деревостанів, здатні інтенсивніше поширюватися у соснових лісостанах. До таких видів належать *Frangula alnus*, *Sorbus aucuparia* і *Corylus avellana*.

Висновки (Conclusions).

1. У 56-90-річних соснових деревостанах Шепетівського Полісся виявлено десять підліскових

видів загальною густотою від 13,67 до 76,67 тис. екз./га, серед яких найбільшим поширенням характеризуються *Sorbus aucuparia*, *Frangula alnus* і *Corylus avellana*. Значно рідше трапляються *Prunus spinosa*, *Viburnum opulus*, *Berberis vulgaris*, *Prunus serotina*, *Sambucus racemosa*, *Euonymus europaeus* і *Crataegus oxyacantha*. На переважній кількості ділянок підлісок розміщений рівномірно, а на окремих – куртинами.

2. Середня висота екземплярів ліщини під наметом деревостанів змінюється в межах 58-403, горобини – 55-263, крушини – 51-225 і барбариса – 50-207 см. Значної середньої висоти у цих умовах також досягає бузина (43-210 см) і черемха (125-170 см). Найвищими екземплярами у підліску виділяються ліщина (частка 61,5-100%), горобина (50,0-83,3%) і барбарис (63,1-100%).

3. Варіабельність довжини і ширини листової пластинки підліскових видів у деревостанах змінюється в межах 10-30%, а площі поверхні листків – 30-50%. У горобини коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів і площею листків є зворотнім і помірним ($r = -0,48$) та зворотнім і слабким – у ліщини ($r = -0,09$) і крушини ($r = -0,17$).

4. Найвідчутнішою реакцією на умови середовища під наметом деревостанів характеризуються крушина і ліщина. Вміст зелених пігментів у цих видів становить 7,831-15,569, жовтих – 1,355-2,670 мг/г абсолютно сухої маси. Розмах мінливості вмісту хлорофілів у крушини на різних ділянках становить 1,62 і каротиноїдів 1,51, у ліщини, відповідно, 1,99 і 1,98, у горобини – 1,96 і 1,91 та барбарису – 1,31 і 1,65 рази.

5. У крушини встановлено істотне зростання хлорофілів a і b та каротиноїдів зі зростанням повноти соснових деревостанів. Коефіцієнт кореляції між повнотою деревостанів та вмістом зелених і жовтих пігментів становить 0,59-0,98. У ліщини виявлено зниження біосинтезу хлорофілу a ($r = -0,41$) зі збільшенням повноти деревостанів і зростання концентрації хлорофілу b ($r = 0,47$) та каротиноїдів ($r = 0,91$). Найменший вплив повноти деревостанів на біосинтез зелених і жовтих пігментів виявлено у горобини звичайної.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Barbier, S., Gosselin, F., & Balandier, P. (2008). Influence of tree species on understory vegetation diversity and mechanisms involved – A critical review for temperate and boreal forests. *Forest Ecology and Management*, 254(1), 1-15. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.038>
- Bondarenko, T.V. (2013). Electrophysiological characterization of understory shrubs in the Forest-

- steppe of Western Ukraine. *Lesne prace badawcze: kwartalnik Instytutu Badawczego leśnictwa*, 74, 13-16. <https://bibliotekanauki.pl/articles/1318169> [Bondarenko, T. V. (2013). Elektrofizjologiczna charakterystyka krzewow podszytowych w lasostepie zachodniej Ukrainy. *Lesne prace badawcze: kwartalnik Instytutu Badawczego leśnictwa*. 74, 13-16] (In Polish)
- Bondarenko, T. V. (2011). The undergrowth in artificial forest stands of the Western Forest-Steppe. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (Series "Forestry and Horticulture")*, 164(3), 64-71. [Бондаренко, Т. В. (2011). Підлісок у штучних лісостанах Західного Лісостепу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України (серія «Лісівництво та декоративне садівництво»)*, 164 (3), 64-71] (in Ukrainian)
- Bondarenko, T. V. (2011a). Phytomass of undergrowth shrubs as a resource for energy-saving fuel technologies. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(16), 343-346. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/index.htm [Бондаренко, Т. В. (2011). Фітомаса підліскових чагарників як ресурс для енергоощадних паливних технологій. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 343-346] (in Ukrainian)
- Bondarenko, T. V. (2013a). *Silvicultural and ecological role of undergrowth in hornbeam-oak forests of the Western Forest-Steppe*: Doctoral dissertation abstract, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe? [Бондаренко, Т. В. (2013a). Лісівничо-екологічна роль підліску в грабових дібровах Західного Лісостепу: автореф. дис.... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Bondarenko, T. V. (1998). Some features of undergrowth formation in oak forests of the Forest-Steppe. *Collected Scientific Works of the Institute of Forest of the National Academy of Sciences of Belarus*, 48, 110-112. Retrieved from <https://elib.nlb.by/catalog/Collection/BY-NLB-br0001904756> [Бондаренко, Т. В. (1998). Некоторые особенности формирования подлеска в дубравах Лесостепи. *Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси*, 48, 110-112] (in Russian)
- Bondarenko, T. V., & Muzyka, T. M. (2010). Dogwood in forest plantations of the Medobory Nature Reserve. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20(16), 128-131. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_16/index.htm [Бондаренко, Т. В., Музика, Т. М. (2010a). Свидина в лісових культурах природного заповідника «Медобори». *Науковий вісник НЛТУ України*, 20(16), 128-131] (in Ukrainian)
- Bondarenko, T. V., & Muzyka, T. M. (2010a). Species composition and condition of the undergrowth in oak forests of the Medobory Nature Reserve. In *Nature Reserve Fund of Ukraine – Past, Present, Future: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 247-250. Ternopil: Textbooks and manuals. [Бондаренко, Т. В., Музика, Т. М. (2010). Видовий склад та стан підліску дібров природного заповідника «Медобори». *Природно-заповідний фонд України – минуле, сьогодення, майбутнє: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. Тернопіль: Підручники і посібники*, 247-250] (in Ukrainian)
- Bondarenko, T., Sasyuk, A., Zaika, V., Pavliuk, V., Olifir, Y., & Trenčiansky, M. (2025). The influence of undergrowth species on the formation of forest litter and agrochemical soil properties in pine forest stands of Minor Polissya region in Ukraine. *Forestry Ideas*, 31, 1(69), 91-102. https://forestry-ideas.info/issues/issues_Index.php?pageNum_rsIssue=1&totalRows_rsIssue=7&journalFilter=76
- Chazdon, R. L., & Pearcy, R. W. (1991). The importance of sunflecks for forest understory plants. *BioScience*, 41(11), 760-766. <https://doi.org/10.2307/1311725>
- Deng, J., Fang, S., Fang, X., Jin, Y., Kuang, Y., Lin, F., ... Liu, Ch. (2023). Forest understory vegetation study: current status and future trends. *Forestry Research*, 3, Article 6. <https://doi.org/10.48130/FR-2023-0006>
- Duguid, M. C., & Ashton, M. S. (2013). A meta-analysis of the effect of forest management for timber on understory plant species diversity in temperate forests. *Forest Ecology and Management*. 303, 81-90. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112713002156>
- Kalkman, J. R., Simonton, P., & Dornbos, D. L. Jr. (2019). Physiological competitiveness of common and glossy buckthorn compared with native woody shrubs in forest edge and understory habitats. *Forest Ecology and Management*, 445, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.007>
- Kazakov, Ye. O. (2000). *Methodological foundations for setting up experiments in plant physiology*. Kyiv: Phytosociocenter. ISBN 966-7459-60-8 [Казаків, Є. О. (2000). *Методологічні основи постановки експерименту з фізіології рослин*. Київ: Фітосоціоцентр. 272 с.] (in Ukrainian)
- Kozlovskiy, M. P., & Bondarenko, T. V. (2013). Influence of undergrowth in hornbeam-oak forests on the formation of soil nematode communities. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(2), 15-23. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_2/index.htm [Козловський, М. П. & Бондаренко, Т. В. (2013). Вплив підліску у грабових дібровах на формування угруповань ґрунтових нематод. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(2), 15-23] (in Ukrainian)
- Kloeppel, B. D., Abrams, M. D., & Kubiske, M. E. (1993). Seasonal ecophysiology and leaf morphology of four successional Pennsylvania barrens species in open versus understory environments. *Canadian Journal of Forest Research*, 23(2), 181-189. <https://doi.org/10.1139/x93-025>

- Li, M., Du, Z., Pan, H., Yan, C., Xiao, W., & Lei, J. (2012). Effects of neighboring woody plants on target trees with emphasis on effects of understory shrubs on overstorey physiology in forest communities: A mini-review. *Community Ecology*, 13(1), 117-128. <https://doi.org/10.1556/ComEc.13.2012.1.13>
- Li, W., Li, B., Ma, X., Saha, S., Wu, H., Zhang, P., & Shen, H. (2023). Physiological and biochemical traits of needles imply that understory light conditions in the growing season may be favorable to *Pinus koraiensis* trees. *Forests*, 14(7), 1333. <https://doi.org/10.3390/f14071333>
- Majasalmi, T., & Rautiainen, M. (2020). The impact of tree canopy structure on understory variation in a boreal forest. *Forest Ecology and Management*, 466, 118100. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118100>
- Mao, Q., Wang, C., Mo, J., Zhou, K., & Lu, X. (2017). Responses of understory plant physiological traits to a decade of nitrogen addition in a tropical reforested ecosystem. *Forest Ecology and Management*, 401, 65-74. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.047>
- Marynych, A.M., Pashchenko, V.M., & Shyshchenko, P.H. (1985). Nature of the Ukrainian SSR: Landscapes and Physical-Geographical Zoning. Kyiv: Scientific opinion. Retrieved from <https://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/ukr0000024582> [Маринич, А.М., Пашченко, В.М., Шищенко, П.Г. (1985). Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико-географическое районирование. Киев: Наукова думка. 224 с.] (in Russian)
- Marynych, O.M., & Shyshchenko, P.H. (2005). *Physical Geography of Ukraine*. Kyiv: Knowledge. Retrieved from <https://irbis-nbuv.gov.ua/ulib/item/ukr0000016739> [Маринич, О.М., Шищенко, П.Г. (2005). Фізична географія України. 3-є видання. Київ: Знання, 511 с.] (in Ukrainian)
- Nature of Khmelnytskyi Region* (1980). Lviv: Higher school. <https://studfile.net/preview/5454321/> [Природа Хмельницької області (1980). За ред. К.І. Геренчука. Львів: Вища школа. 152 с.] (in Ukrainian)
- Pearcy, R.W. (1988). Photosynthetic utilisation of lightflecks by understory plants. *Australian Journal of Plant Physiology*, 15(2), 223-238. <https://doi.org/10.1071/PP9880223>
- Pickett, S.T.A., & Kempf, J.S. (1980). Branching patterns in forest shrubs and understory trees in relation to habitat. *New Phytologist*, 86(2), 219-228. <https://www.jstor.org/stable/2432108>
- Pohrebnyak, P.S. (1993). On the origin of the reaction of forest litter. In *Forest Ecology and Forest Typology. Selected Works*. Kyiv: Scientific opinion, 334-351. ISBN 5-12-003586-8 [Погребняк, П.С. (1993). До питання про походження реакції лісової підстилки. Лісова екологія і типологія лісів. Вибрані праці. Київ: Наукова думка. 334-351] (in Ukrainian)
- Sasyuk, A., Zaika, V. & Pavliuk, V. (2023). Morphophysiological features of interaction between pine and undergrowth in pine stands of Shepetivka Polissya. In *Objects of the Nature Reserve Fund of Ukraine: Current State and Ways to Ensure Their Effective Functioning: Proceedings of the All-Ukrainian Scientific and Practical Conference*, 144-147. Slavuta, August, 3-4. Slavuta. <https://doi.org/10.61584/3-4-08-2023-31> [Сасюк, А., Заїка, В., Павлюк, В. (2023). Морфофізіологічні особливості взаємодії сосни і підліску в соснових лісостанах Шепетівського Полісся. Об'єкти природно-заповідного фонду України: сучасний стан та шляхи забезпечення ефективної їх діяльності: матеріали Всеукраїнської наук.-практ. конф., м. Славути, 3-4 серпня 2023 р. Славути, 144-147] (in Ukrainian)
- Sasiuk, A.V., Zaika, V.K., & Pavliuk, V.V. (2022). Physiological and biochemical adaptations of understory species to pine forest conditions in the Shepetivka Polissia region. In: *Scientific foundations for improving productivity and biological stability of forest and urbanized ecosystems*. Proc. of the 72nd scientific-technical conference of professors, researchers, doctoral and postgraduate students summarizing scientific work in 2021-2022, 69-71. Lviv, December 6, 2022. Lviv: UNFU. <https://drive.google.com/file/d/1JGdk--9M3fpMlaZQ5C-m05E4dbys6iMWb/view> [Сасюк, А.В., Заїка, В.К., Павлюк, В.В. (2022). Фізіолого-біохімічні особливості пристосування підліскових видів до умов соснових деревостанів Шепетівського Полісся. Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: матер. 72-ої наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2021-2022 роках, м. Львів, 6 грудня 2022 р. Львів, 69-71] (in Ukrainian)
- Sasyuk, A.V., Zaika, V.K., Pavliuk, V.V., & Matusiak, M.V. (2022). Distribution and formation of undergrowth in pine stands of Shepetivka Polissya. *Agriculture and Forestry*, 26, 160-171. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-3-12> [Сасюк, А.В., Заїка, В.К., Павлюк, В.В., Матусяк, М.В. (2022). Поширення і формування підліску в соснових деревостанах Шепетівського Полісся. Сільське господарство та лісівництво, 26, 160-171] (in Ukrainian)
- Tsys, P.M. (1962). *Geomorphology of the Ukrainian SSR*. Lviv: Publishing House of Lviv State University. Retrieved from https://geography.lnu.edu.ua/wp-content/uploads/2020/03/TSys-P.I._geomorfologiya_ursr.pdf [Цись, П.М. (1962). Геоморфологія УРСР. Львів: Вид-во Львівського держуніверситету. 224 с.] (in Ukrainian)
- Zaika, V., & Bondarenko, T. (2018). The level of chlorophyll *a* and *b* in the leaves of understory shrubs in the hornbeam-oak forests of the Forest Steppe of Western Ukraine. *Lesne Prace Badawcze*, 79(1), 23-28. <https://doi.org/10.2478/frp-2018-0003> [Zaika, V., & Bondarenko, T. (2018). Poziom chlorofilu *a* i *b* w liściach krzewów podszytowych w grabowo-dębowych lasach Lasostepu Ukrainy Zachodniej. *Lesne Prace Badawcze*, 79(1). 23-28] (In Polish)

Morphophysiological features of the functioning of understorey species in the pine forests of Shepetivka Polissia

A. Sasiuk¹, V. Zaika², V. Pavliuk³

The study examined morphometric indicators of leaf apparatus and the biosynthesis of plastid pigments in understorey species growing under the canopy of 56-90-year-old pine stands in Shepetivka Polissya. The pine component in the studied stands accounts for 9-10 units (out of 10). A total of 10 understorey species were identified in these forests, among which the most common are rowan tree (*Sorbus aucuparia* L.), glossy buckthorn (*Frangula alnus* Mill.) and common hazel (*Corylus avellana* L.). Less frequently encountered species include blackthorn (*Prunus spinosa* L.), may rose (*Viburnum opulus* L.), common barberry (*Berberis vulgaris* L.), late bird cherry (*Prunus serotina* Ehrh.), red elderberry (*Sambucus racemosa* L.), European spindle (*Euonymus europaeus* L.), and common hawthorn (*Crataegus oxyacantha* L.). In the majority of the plots, the understorey is evenly distributed, while in some plots it appears in clumps. The total number of understorey individuals ranges from 13,670 to 76,670 pieces per hectare and does not depend on forest type or site conditions. Among the

studied species, hazel, rowan, and barberry are notable for forming a large-sized understorey.

The average height of hazel specimens in the studied stands varies between 58 and 403 cm, rowan – 55-263 cm, buckthorn – 51-225 cm, and barberry – 50-207 cm. Significant average heights under these conditions are reached by the red elderberry (43-210 cm) and the late bird cherry (125-170 cm). Among the large-sized understorey species, it is necessary to single out hazel (the share is 61.5-100.0%), rowan (50.0-83.3%) and barberry (63.1-100.0%).

The morphometric analysis of the leaves showed that variation in leaf length and width generally ranged from 10 to 30%, while leaf surface area varied from 30 to 50%. In rowan, the correlation coefficient between stand density and leaf area was moderate and negative ($r = -0.48$), while in hazel ($r = -0.09$) and buckthorn ($r = -0.17$), it was weak and negative. As the absolute stand density increased from 29.8 to 38.6 m²/ha, the leaf area of rowan decreased most significantly, while buckthorn and hazel showed much less sensitivity to environmental conditions.

A high degree of plasticity in plastid pigment biosynthesis in response to environmental conditions was observed among the understorey species. The variability range of chlorophyll content in buckthorn across different plots was 1.62 times, and carotenoids 1.51 times; in hazel – 1.99 and 1.98 times; in rowan – 1.96 and 1.91 times; and in barberry – 1.31 and 1.65 times, respectively. In buckthorn, the correlation coefficient between stand density and the content of green and yellow pigments ranged from 0.59 to 0.98. In hazel, an increase in stand density was associated with a decrease in the biosynthesis of chlorophyll a ($r = -0.41$), and an increase in the concentration of chlorophyll b ($r = 0.47$) and carotenoids ($r = 0.91$). The smallest changes in the biosynthesis of green and yellow pigments were observed in rowan.

Key words: understorey; understorey species occurrence; forest stand; timber stand; chlorophylls; carotenoids; plastid pigments; green pigments; yellow pigments; leaf morphometric indicators.

¹ Andriy Sasyuk – director. National nature park “Male Polissya”, 32 Mikhelska st., Iziaslav, Khmelnytskyi region, 30300, Ukraine. E-mail: malepolisja@ukr.net ORCID: [http://orcid.org/0009-0002-6933-516X]

² Volodymyr Zaika – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Forestry and Agrarian Management, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenko st., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: [http://orcid.org/0009-0007-6641-8847]

³ Vasyl Pavliuk – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: pww1960@i.ua ORCID: [http://orcid.org/0000-0003-0992-7550]



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412508>
Article received 2025.01.15
Article revised 2025.01.31
Article accepted 2025.07.07
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Shparyk
yuriy.shparyk@gmail.com
4 Zarichna st., Stara Guta, Ivano-Frankivsk region,
77745, Ukraine

УДК 581.5:582.726(477.41) : 630*5:502(477.42) : 633.872(477.44)

Праліси і квазіпраліси Карпатського національного природного парку: різноманіття, динаміка, менеджмент

М.С. Чорній¹, Ю.С. Шпарик²

Актуальним науковим завданням є моніторинг старовікових лісів та розробка пропозицій з покращення системи їх охорони і вирішення проблем менеджменту. Зокрема, у Карпатському національному природному парку в 2024 р. здійснено вже другу інвентаризацію старовікових лісів, і аналіз її результатів є предметом цієї публікації. Польові дослідження 219 лісових ділянок щодо відповідності їхніх показників до затверджених критеріїв та індикаторів дали можливість оцінити динаміку кількісних показників старовікових лісів.

У лісах Карпатського НПП частка пралісів і квазіпралісів становить близько 7%, з яких праліси посідають близько 1%. З шести головних деревних видів цих лісів переважають ялина європейська або смерека (47%) та сосна гірська (34%), а з шістнадцяти типів лісу – вологий гірсько-сосновий субір (34%) та волога чиста сусмеречина (24%). Загалом, старовікові ліси Парку – це корінні триярусні моновидові деревостани нижче нормальної повноти, низької продуктивності, з низьким запасом мертвої лежачої деревини та з достатньою кількістю підросту корінних деревних видів. Структура цих лісів мінлива і детермінується головним деревним видом: кількість ярусів змінюється від двох (вільха зелена) до чотирьох (бук та ялиця); середні висоти – від 1,5 (вільха зелена) до 35 (ялиця біла) метрів; запаси деревини – від 5 (вільха зелена) до 700 (ялиця біла) м³·га⁻¹; кількість деревних видів у складі – від двох до семи. Достовірної залежності запасів мертвої лежачої деревини чи кількості підросту від частки головного деревного виду у складі не встановлено: достовірність апроксимації цих залежностей поліноміальною кривою 2-го порядку становить <0,0091.

Різноманіття вищих судинних рослин пралісів і квазіпралісів Карпатського НПП налічує 70 видів і змінюється від 12-ти у криволіссях сосни гірської – до 33-ох видів в ялицевих лісах.

Розбіжності, виявлені під час інвентаризації старовікових лісів Парку, свідчать про необхідність чіткого законодавчого врегулювання процедури їх переведення в господарські, а також суттєвого покращення інформування про їхню охорону.

Ключові слова: Українські Карпати; старовікові ліси; головний деревний вид; тип лісу; мертва деревина; підріст; судинні рослини.

Вступ (Introduction).

Особливу цінність пралісів для ведення природоохоронного та лісового господарства науковці відзначали вже більше 100 років тому (Шпарик, Коммармот, Беркела, 2010; Гамор та ін., 2013),

але значні за обсягами і за результативністю наукові дослідження Карпатських пралісів на перетині XX-XXI ст. (Dietrich, Müller, & Schlenker, 1970; Leibundgut, 1982; Korpel, 1995; Чернявський, Хміль, 1998; Парпан, Стойко, 1999; Гамор та ін.,

¹ Чорній Михайло Степанович – аспірант кафедри лісового і аграрного менеджменту Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76000, Україна. E-mail: mikhailochornii@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1526-9480>

² Шпарик Юрій Степанович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, начальник науково-дослідного відділу. Національний природний парк «Синьогора», вул. Зарічна, 4, с. Стара Гута Івано-Франківської області, 77745, Україна. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

2008; Шпарик та ін., 2010; Гамор та ін., 2013) підвищили розуміння їхнього значення на новий рівень. Законодавча формалізація терміна «праліс» почалася у 2004 р. з його першої згадки в тексті «Рамкової конвенції про охорону та сталий розвиток Карпат». Пізніше, у 2007 р., ЮНЕСКО включило Карпатські праліси до переліку об'єктів «Всесвітньої природної спадщини», який станом на 2021 рік розширений до 93 масивів у 18 країнах Європи (UNESCO, 2021); у 2011 р. в «Протоколі про стале управління лісами» до згаданої вище Карпатської конвенції наведено офіційне визначення пралісу, а в додатку до цього протоколу – критерії та індикатори пралісів; в 2017 р. в Законі України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони пралісів згідно з Рамковою конвенцією про охорону та сталий розвиток Карпат» сформульовані законодавчі основи збереження пралісів в Україні, а також – визначення пралісів, квазіпралісів та природних лісів; у 2018 р. Міністерство довкілля затвердило «Методику визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів» з порядком ідентифікації пралісів, квазіпралісів та природних лісів, а також – з їхніми критеріями та індикаторами; в 2018 р. Міністерство довкілля також затвердило «Методику визначення належності територій до пралісових пам'яток природи» з порядком створення пралісових пам'яток природи; в 2023 р. Кабінет Міністрів України затвердив «Порядок здійснення лісовпорядкування» з відповідними вказівками щодо ідентифікації та охорони пралісів. Отже, станом на початок 2025 р. в Україні є чіткі законодавчі основи для ідентифікації та збереження пралісів, квазіпралісів та природних лісів (далі – старовікових лісів) у заповідних зонах, або в пралісових пам'ятках природи.

Наукові дослідження Карпатських старовікових лісів в останні роки в Україні і в Європі суттєво інтенсифікувалися і стали більш різноплановими. Зокрема, описано стан і структуру практично всіх цінних масивів старовікових лісів (Commarmot et al., 2013; Максимюк та ін., 2017; Старовікові ліси..., 2021; Korol et al., 2022; Shyshkanynets et al., 2024; Шпарик та ін., 2024); діджиталізовано етапи розвитку цих лісів за елементами лісостану, зокрема, і з використанням ГІС та даних ДЗЗ (Олексів та ін., 2008; Шпарик та ін., 2010; Trotsiuk, Nobl, & Commarmot, 2012; Стойко, 2018; Шпарик Ю., Вітер, Шпарик, В., 2020); вивчено густоту і породний склад природного відновлення (Шпарик та ін., 2010; Шпарик, Лосюк, Плига, 2021; Дебринюк та ін., 2023); вивчено запас і породний склад мертвої деревини (Шпарик та ін., 2010; Чернявський, Іжик, 2014; Шпарик та ін., 2021); запроваджено ведення їх моніторингу (Олексів та ін., 2008; Шпарик та ін., 2021); розроблено сучасні підходи до вирішення проблем з охорони старовікових лісів (Максимюк, Притула, Сенчина, 2017; Стойко, 2018; Шпарик та ін., 2020).

На сьогодні триває подальша дискусія щодо критеріїв, індикаторів та методики ідентифікації старовікових лісів. Відзначено, що значними площами відзначаються саме румунські праліси, які трактуються як «серце Європи» (Hohnwald et al., 2020; Kun et al., 2020; Luick et al., 2021). Багаторічні дослідження пралісів здійснює Словаччина, насамперед як моделей сталого функціонування лісів (Saniga, Pittner, & Vencurik, 2020); у Сербії зосереджені в основному на способах управління старовіковими лісами (Kisin, Vasić, & Baković, 2025); в усій Європі основний акцент зосереджено на екологічних функціях пралісів (Buezo et al., 2023; Schreiber et al., 2025).

Основною науковою проблемою ідентифікації старовікових лісів наразі є відсутність регламентації їх критеріїв та індикаторів за лісорослинними умовами та головними деревними видами. Наприклад, широко представленим деревним видом у цих лісах є *Pinus mugo* Turra, яка росте у найбідніших лісорослинних умовах, але її лісівничотаксаційні показники не співставимі з такими в інших деревних видів – *Fagus sylvatica* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill. та ін., які ростуть у багатших типах лісорослинних умов.

Частиною проблеми охорони старовікових лісів є динаміка їхніх критеріїв та індикаторів під впливом зміни клімату і господарської діяльності людини. Суттєвими є й управлінські проблеми: механізми виділення їх охоронних зон не прописані законодавчо; до оформлення охоронного статусу повністю обмежені лісівничі заходи; механізм створення пралісових пам'яток природи прописаний законодавчо, проте чіткого механізму щодо зміни охоронного статусу ідентифікованих старовікових лісів поки-що немає тощо. У зв'язку з цим, *актуальним науковим завданням* є аналіз кількісних показників ідентифікованих старовікових лісів України конкретних підприємств та їх відповідності чинним нормативам, а науковим результатом – підготовка пропозицій з покращення охорони і збереження пралісів, квазіпралісів та природних лісів.

Мета досліджень – ідентифікувати старовікові ліси Карпатського НПП (другий етап) з метою оцінювання їхньої природності та соціологічної цінності і підготовки пропозицій з покращення їх охорони та збереження.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – ідентифікація старовікових лісів Карпатського національного природного парку в контексті змін їхніх критеріїв та індикаторів, ефективності подальшого збереження. *Предмет дослідження* – мінливість кількісних показників ідентифікованих старовікових лісів Карпатського НПП за лісорослинними умовам під впливом зміни клімату та господарської діяльності людини.

Ідентифікацію старовікових лісів Карпатського НПП здійснено згідно з положеннями «Методики визначення належності лісових територій до пра-

лісів, квазіпралісів і природних лісів» (2018) з відповідною фотофіксацією. Результати польових обстежень внесено в цифрову базу даних у програмі Microsoft Excel, в картографічну – у програмі Q-GIS. Статистичне опрацювання результатів досліджень виконано з використанням програми StatSoft STATISTICA 10.0.1011.

Результати (Results).

Наукові дослідження старовікових лісів Українських Карпат здійснено в 2024 р. у межах лісостанів Карпатського національного природного парку. Територія Карпатського НПП становить 38322,0 га з вилученням і 12173,0 га – без вилучення у постійних користувачів, займаючи місцезонавання у верхів'ї басейну річки Прут. Протяжність території з півночі на південь складає 60 км і з заходу на схід – 20 км; варіабельність висот над рівнем моря складає від 490 м (с. Дора) до 2061 м (г. Говерла). Землі, які надані в постійне користування, поділено на 12 природо-охоронних науково-дослідних відділень, найбільшим з яких є Говерлянське (5570 га), а найменшим – Високогірне (2049,0 га). У процесі функціонального зонування всієї території Парку станом на 2003 р. виділено такі зони: заповідну – 11401,4 га (22,6%); регульованої рекреації – 25953,1 га (51,4%); стаціонарної рекреації – 106,6 га (0,2%); господарську – 13033,9 га (25,8%). Ліси є основним типом рослинних угруповань в Карпатському НПП, посідаючи більше 75% території, з переважанням смерекових лісів (80% площі). Серед листяних переважають ліси з домінуванням бука лісового (більше 10%). Менші площі представлені лісами з переважанням *Pinus mugo*, *Betula pendula* Roth., *Alnus incana* (L.) Moench, *Acer pseudoplatanus* L. та *Abies alba* Mill. Ліси ще 11-ти головних деревних видів представлені лише окремими локалітетами (Літопис природи..., 2024).

Перший етап інвентаризації старовікових лісів Карпатського НПП станом на початок 2019 р. виявив приналежність лісових ділянок до пралісів, квазіпралісів і природних лісів на площі 2581,4 га, з яких на 22,0 га ідентифіковано як праліси. Головним деревним видом, який займає найбільші площі в цих лісах (49%) є *Picea abies*; третину площі цих лісів (33%) посідає *Pinus mugo* (Літопис природи..., 2024).

У 2024 р. було проведено другий етап ідентифікації старовікових лісів на території Карпатського НПП. Під час виконання підготовчих робіт за таксаційною базою даних було встановлено, що лісові ділянки Парку на площі 11555,7 га потенційно відповідають критеріям належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів або природних лісів. Найбільше таких ділянок було відібрано в Бистрецькому (1,6 тис. га), Говерлянському (2,4 тис. га) і Женецькому (1,7 тис. га) ПОНДВ, а найбільші площі займали лісостани *Picea abies* (75,3%), *Fagus sylvatica* (9,9%), *Pinus mugo* (6,6%) та *Abies alba* (6,6%). На польовому етапі робіт більшість з цих ділянок було ідентифіковано як «госпо-

дарський ліс» через невідповідність таким критеріям чи індикаторам: видовий склад не відповідав типу лісу; значний антропогенний вплив – наявність інформації щодо рубок чи заготівлі деревної продукції, промислової заготівлі недеревинних лісових продуктів, випасу худоби; форма ділянки – відстань між протилежними межами менша ніж 200 м. Внаслідок цих причин за результатами польових робіт лише 2612,0 га лісів Карпатського НПП було віднесено до старовікових, з яких 445,0 га – до пралісів.

Дослідження лісових екосистем на 219 лісових ділянках ідентифікованих пралісів та квазіпралісів дали можливість оцінити різноманіття їхньої структури. Лісорослинні умови їх місць зростання (рис. 1) характеризуються наявністю трьох еда топів (вологих субору, сугруду і груду), 16 типів лісу і дев'яти лісових формацій (буково-смереково-ялицева, буково-ялицево-смерекова, вільхи зеленої, кедрово-сосново-смерекова, смерекова, смереково-соснова, смереково-ялицево-букова, сосни гірської, ялицево-смерекова). З еда топів найбільші площі посідають вологі субір і сугруд – близько 45% кожен (у пралісах, відповідно, 73 і 27%), а частка вологого груду становить лише 10%. З рослинних формацій найбільші площі посідають ліси з перевагою в складі *Pinus mugo* – більше 34% та *Picea abies* – більше 31% (у пралісах, відповідно, 68 і 22%), а найменшу площу займають смереково-соснові ліси (1,3%).

Різноманіття деревних рослин у пралісах і квазіпралісах Карпатського НПП формують шість деревних видів (*Picea abies*, *Pinus mugo*, *Fagus sylvatica*, *Abies alba*, *Pinus sylvestris* L., *Alnus alnobetula* (Chaix.) D.C.), з яких за площею домінують *Picea abies* – 47% та *Pinus mugo* – 34% (у пралісах, відповідно, 22 і 68%). Найменші площі посідають *Pinus sylvestris*, *Alnus alnobetula*, а в пралісах – *Fagus sylvatica* (рис. 2).

Варіабельність показника відносної повноти в пралісах і квазіпралісах Карпатського НПП становить від 0,3 до 1,0 з максимумом в 63% на повнотах 0,6-0,7. Продуктивність цих лісів змінюється від I^a до V^b класів бонітету з максимумом в 36% V класі бонітету. Кількість дерев, які досягли фізіологічної межі віку, в цих лісах змінюється від 1 до 6 шт./га з перевагою 3-4 екз. на 1 га на частці площі в 69%. Запас мертвої лежачої деревини в цих лісах змінюється від 0,5 до 30 м³·га⁻¹. Найчастіше (на 25% площі) трапляється мертва лежача деревина в обсязі 15 м³·га⁻¹. Кількість підросту змінюється від 0,5 до 20 тис. шт./га. Найчастіше повторювану варіанту – 10 тис. шт./га підросту спостережено на 28% площі цих лісів.

Загалом, праліси і квазіпраліси Карпатського НПП – це корінні двоярусні монодомінантні деревостани низької повноти, невисокої продуктивності, з низьким запасом мертвої лежачої деревини та з достатньою для природного відновлення кількістю підросту головних деревних видів.

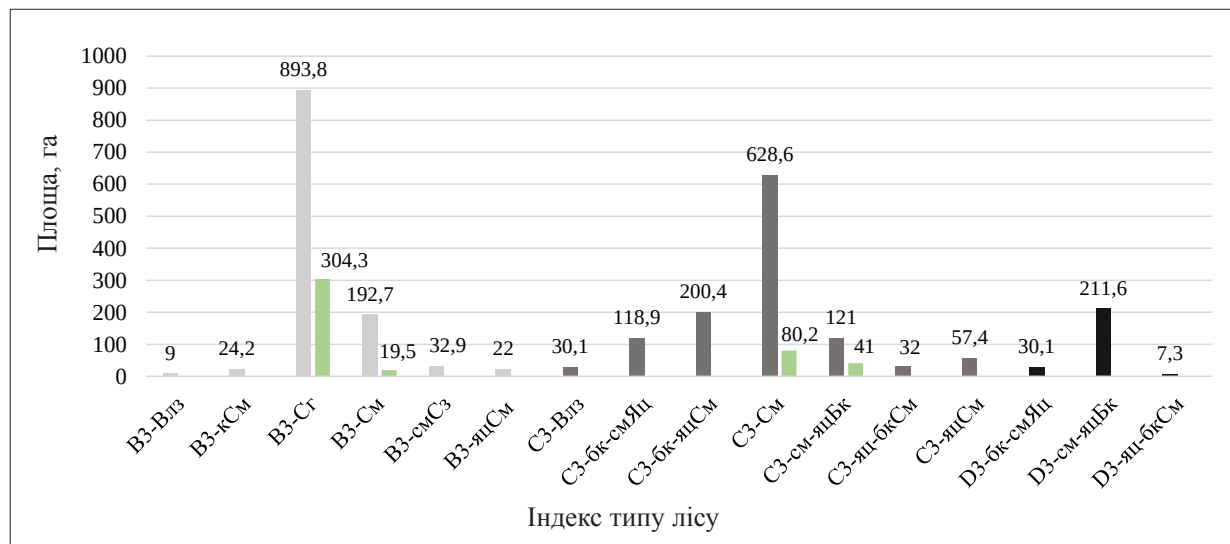


Рис. 1. Площа старовікових лісів Карпатського НПП за типами лісу

Fig. 1. Area of old-growth forests in the Carpathian National Nature Park by forest types

(умовні позначення до рис. 1-5: V₃ – вологий субір, C₃ – вологий сугруд, D₃ – вологий груд, Влз – вільха зелена, Бк – бук лісовий, к – сосна кедрова європейська, См – смерека, Сг – сосна гірська, Сз – сосна звичайна, Ял – ялиця біла, стовпці зеленого кольору – площа пралісів)

Legend for Fig. 1-5: V₃ – moist fairly infertile pine site type (moist oligotrophic site conditions), C₃ – moist fairly fertile site type (moist mesotrophic site conditions), D₃ – moist fertile site type (moist megatrophic site conditions), Влз (VAR) – Green alder, Бк (BE) – European beech, к (CD) – European cedar pine, См (NS) – Norway spruce, Сг (MOP) – Mountain pine, Сз (SP) – Scots pine, Ял (SF) – Silver fir, green columns – area of the virgin forests

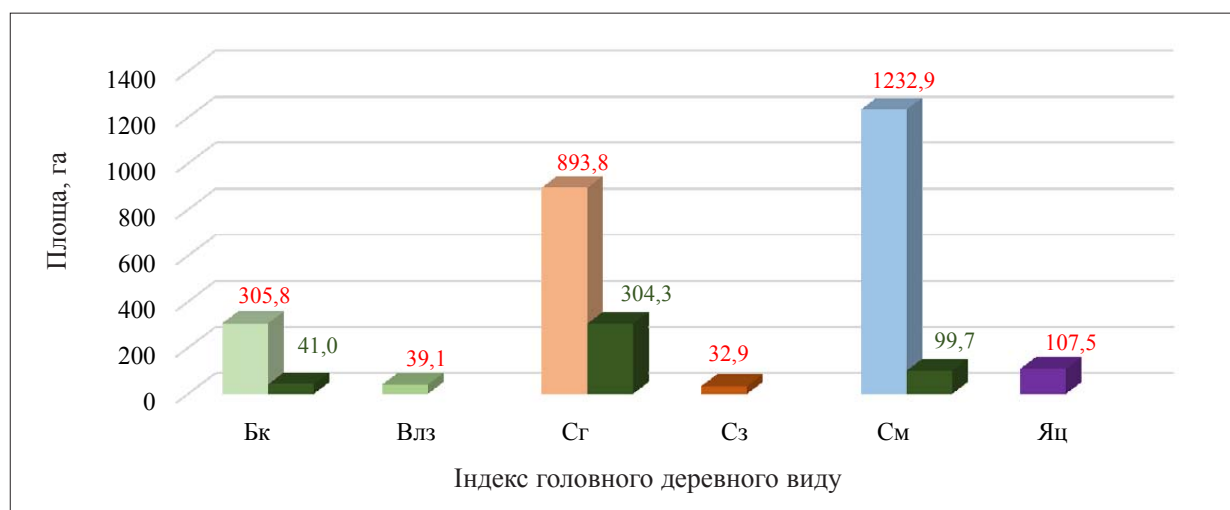


Рис. 2. Площа старовікових лісів Карпатського НПП за породами

Fig. 2. Area of old-growth forests in the Carpathian National Nature Park by main species

В результаті аналізу зміни запасів мертвої лежачої деревини у пралісах і квазіпралісах Карпатського НПП, залежно від частки деревного виду у породному складі, чітких закономірностей не встановлено (рис. 3). Для бука лісового характерна варіабельність середніх запасів мертвої лежачої деревини в межах 15-22 м³·га⁻¹ за участі деревного виду в складі від 3 до 10 одиниць. Для ялини європейської максимальні запаси цієї деревини встановлено для монодомінантних деревостанів (17,6 м³·га⁻¹); зі зменшенням частки деревного виду

у породному складі запаси мертвої лежачої деревини також зменшуються. Для лісів ялиці білої спостережено зворотній процес – запаси мертвої деревини мають тенденцію до збільшення зі зменшенням частки ялиці у складі.

Аналіз кількості підросту у пралісах і квазіпралісах Карпатського НПП, залежно від частки головного деревного виду у складі, також не виявив чітких закономірностей (рис. 4). Для букових лісостанів характерна варіабельність середньої кількості підросту в межах 7,5-12,5 тис. шт./га за участі

бука і складі деревостану від 3 до 10 одиниць. Для ялини максимальну кількість підросту встановлено під наметом монодомінантних деревостанів (11,4 тис. шт./га) і зі зменшенням її частки у складі

кількість підросту поступово зменшується. Під наметом ялицевих лісостанів кількість підросту доволі стабільна (10-11 тис. шт./га) не залежно від частки ялиці у породному складі.

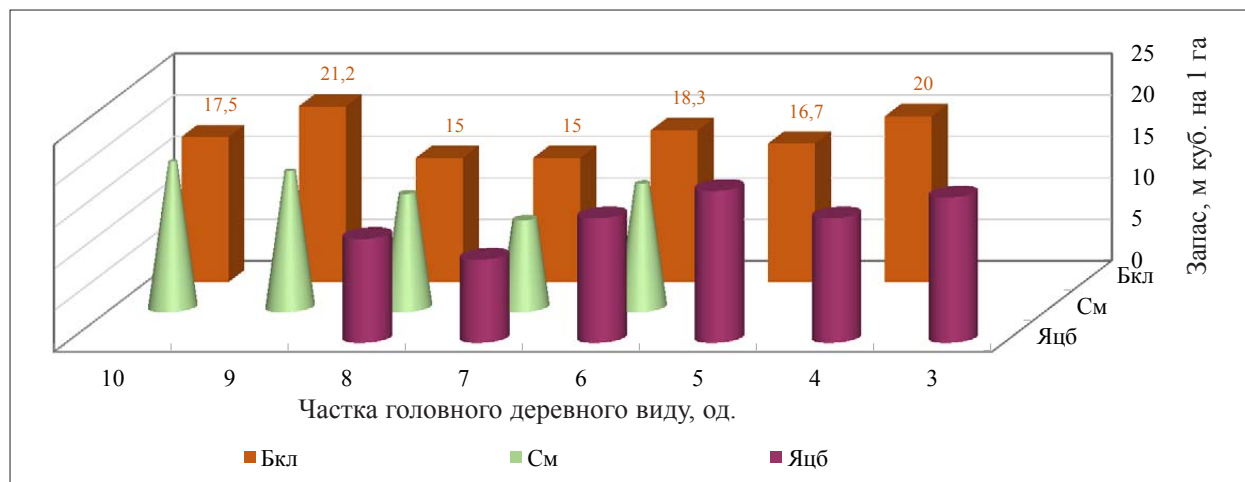


Рис. 3. Запас мертвої деревини (м³/га) у старовікових лісах Карпатського НПП різних порід за часткою головної породи у породному складі

Fig. 3. Deadwood volume (m³·ha⁻¹) in old-growth forests of the Carpathian NNP by different species and by the share of the main species in the species composition

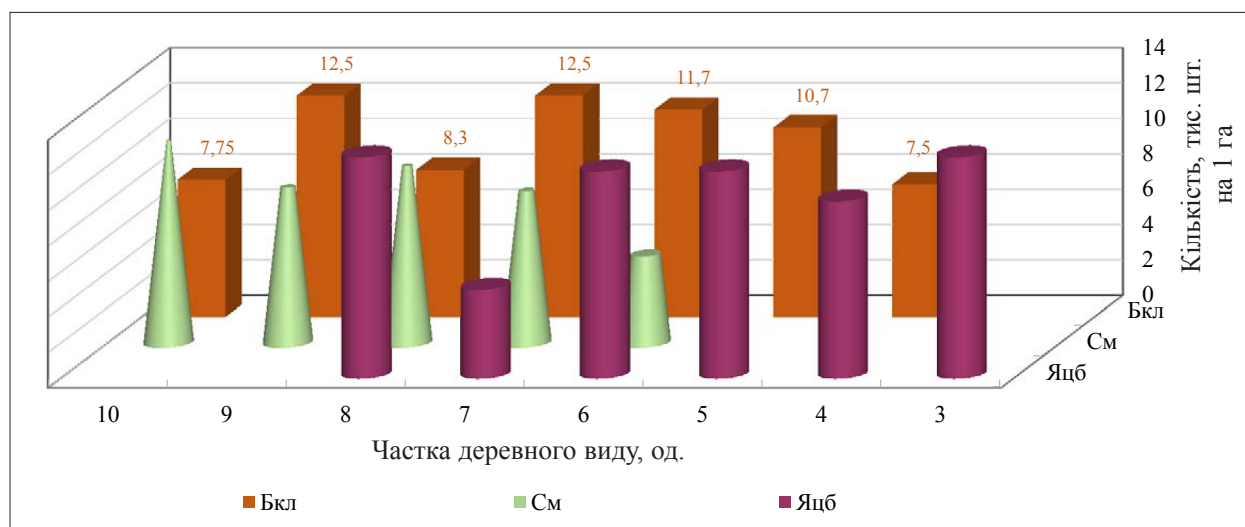


Рис. 4. Кількість підросту (тис. шт./га) у старовікових лісах Карпатського НПП за часткою головного деревного виду у складі деревостану

Fig. 4. Natural advance growth numbers (thousand pcs/ha) in old-growth forests of the Carpathian NNP by the share of the main species in the species composition

Відсутність певної залежності між кількістю підросту та часткою головного деревного виду у складі добре ілюструє рис. 5, що ґрунтується на даних 150 ділянок смерекових старовікових лісів Карпатського НПП. Так, коефіцієнт детермінації між кількістю підросту та часткою деревного виду у складі ($R^2 = 0,009$) є настільки низьким, що взаємна залежність між цими ознаками взагалі не прослідковується.

Також не встановлено залежності між запасом мертвої лежачої деревини і часткою головного деревного виду у складі лісостану ($R^2 = 0,008$).

Аналіз видового різноманіття рослин у старовікових лісах Карпатського НПП дає підставу стверджувати про їхню невелику кількість, якщо брати до уваги значну площу цих лісів. Так, всього у деревостанах шести головних деревних видів на площі більше 2,6 тис. га ідентифіковано 70 видів вищих судинних рослин, з яких дев'ять видів – це дерева, а шість – кущі (табл.). За головними деревними видами фіторізноманіття лісових екосистем змінюється від 12 (гірсько-соснові ліси) до 33 (ялицеві ліси) видів. Єдиним видом рослини, який є спільним для лісів усіх головних деревних видів, є *Picea abies*.

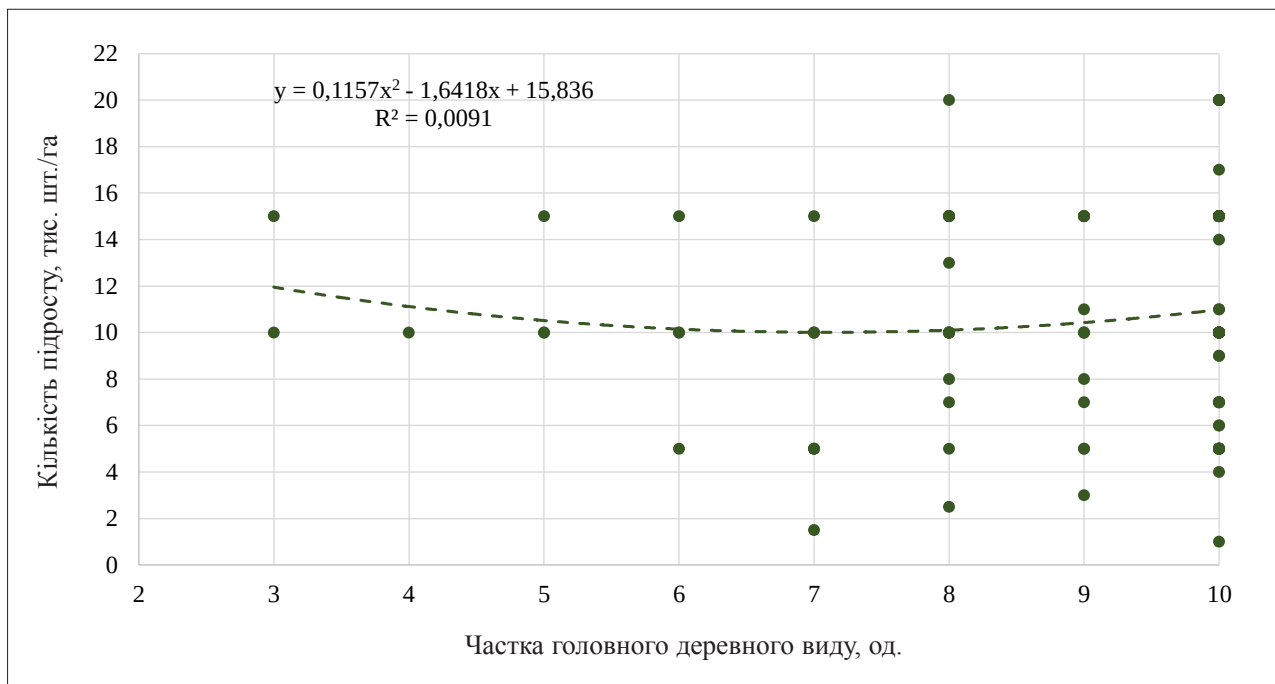


Рис. 5. Апроксимація залежності кількості підросту у старовікових смерекових лісах Карпатського НПП від частки головної породи

Fig. 5. Dependence approximation of the natural advance growth numbers in old-growth spruce forests of the Carpathian NNP on the proportion of the main species

Примітка. На графіку представлено 39 точок, що відображають дані з 150 виділів. Зменшення кількості точок зумовлене повним збігом показників для окремих виділів, унаслідок чого вони візуалізуються як одна. Таким чином, одна точка репрезентує декілька виділів із аналогічними характеристиками.

Таблиця. Різноманіття рослин у старовікових лісах Карпатського НПП

Table. Plant diversity in old-growth forests of the Carpathian NNP

№	Рослинний вид	Поширення за Браун-Бланке*					
		Бкл	Влз	Сг	Сз	См	Яцб
1.	<i>Abies alba</i> Mill.	2				1	5
2.	<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	1				r	+
3.	<i>Aconitum variegatum</i> L.	+					
4.	<i>Aegopodium podagraria</i> L.						r
5.	<i>Alnus incana</i> (L.) Moench				r		
6.	<i>Alnus viridis</i> L.		4	r			
7.	<i>Asarum europaeum</i> L.						r
8.	<i>Athyrium filix-femina</i> L.	+				+	1
9.	<i>Ajuga reptans</i> L.	1					
10.	<i>Betula pendula</i> Roth.				+		+
11.	<i>Brachypodium sylvaticum</i> Hudson.					+	
12.	<i>Calamagrostis epigejos</i> L.					r	
13.	<i>Caltha palustris</i> L.						r
14.	<i>Cardamine bulbifera</i> L.	1					r
15.	<i>Cardamine glanduligera</i> O. Schwarz.	r					+
16.	<i>Carex pendula</i> Huds.						r
17.	<i>Carex sylvatica</i> L.	+					1

№	Рослинний вид	Поширення за Браун-Бланке*					
		Бкл	Влз	Сг	Сз	См	Яцб
18.	<i>Corylus avellana</i> L.				1		
19.	<i>Chamaenerion angustifolium</i> (L.) Scop.			г			
20.	<i>Cicerbita alpina</i> L.					г	
21.	<i>Dryopteris filix-mas</i> L.	+			+		1
22.	<i>Empetrum nigrum</i> L.			2			
23.	<i>Erigeron annuus</i> L.						г
24.	<i>Fagus sylvatica</i> L.	5			+	1	2
25.	<i>Festuca supina</i> Schreb.		1				
26.	<i>Galium odoratum</i> L.	1					+
27.	<i>Gentiana asclepiadea</i> L.		1			+	
28.	<i>Geranium robertianum</i> L.						+
29.	<i>Geum rivale</i> L.						+
30.	<i>Hardus stricta</i> L.			г			
31.	<i>Hieracium alpinum</i> L.			1			
32.	<i>Hieracium murorum</i> L.	+				г	
33.	<i>Homogyne alpina</i> L.		1				
34.	<i>Hypericum perforatum</i> L.		г				
35.	<i>Impatiens parviflora</i> DC.						г
36.	<i>Lamium galeobdolon</i> L.	г					1
37.	<i>Laserpitium alpinum</i> L.		1				
38.	<i>Lonicera nigra</i> L.	1					
39.	<i>Luzula luzuloides</i> Lam.				1		1
40.	<i>Luzula sylvatica</i> Huds.	г				2	
41.	<i>Ligusticum mutellina</i> L.		1				
42.	<i>Lycopodium annotinum</i> L.				2		
43.	<i>Mycelis muralis</i> L.	г				г	+
44.	<i>Oxalis acetosella</i> L.		2			1	1
45.	<i>Phyteuma spicatum</i> L.						
46.	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	+		1	2	5	1
47.	<i>Pinus cembra</i> L.			+	+	г	
48.	<i>Pinus mugo</i> Turra.		+	5	+		
49.	<i>Pinus sylvestris</i> L.				4		
50.	<i>Polygonatum verticillatum</i> (L.) All.						+
51.	<i>Prenanthes purpurea</i> L.					+	
52.	<i>Ranunculus platanifolius</i> L.		1				
53.	<i>Rhododendron myrtifolium</i> Schott & Kotschy.			2			
54.	<i>Rubus hirtus</i> L.	+	1				2
55.	<i>Rubus idaeus</i> L.	г	2			+	
56.	<i>Salix aurita</i> L.		+				
57.	<i>Salix caprea</i> L.		г				
58.	<i>Sambucus nigra</i> L.						г

Продовж. табл.
Continuation of Table

№	Рослинний вид	Поширення за Браун-Бланке*					
		Бкл	Влз	Сг	Сз	См	Яцб
59.	<i>Sanicula europaea</i> L.				+		1
60.	<i>Senecio ovatus</i> Willd.	+				r	+
61.	<i>Stachys sylvatica</i> L.	1					2
62.	<i>Stellaria nemorum</i> L.						r
63.	<i>Strephopus amplexifolius</i> L.					+	
64.	<i>Tussilago farfara</i> L.						r
65.	<i>Ulmus glabra</i> Huds.	+					
66.	<i>Urtica dioica</i> L.						r
67.	<i>Vaccinium myrtillus</i> L.		2	2	2	2	
68.	<i>Vaccinium uliginosum</i> L.			1			
69.	<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.			2	r	+	
70..	<i>Viola reichenbachiana</i> Jordan.						1

* – шкала рясності рослин Браун-Бланке: 5 – вкрито більше 75% території; 4 – від 50 до 75%; 3 – від 25 до 50%; 2 – від 5 до 25%; 1 – менше 5%; + – мало особин; r – окремі особини.

* – The Brown-Blanquet plant abundance scale: 5 – more than 75% of the territory is covered; 4 – from 50 to 75%; 3 – from 25 to 50%; 2 – from 5 to 25%; 1 – less than 5%; + – few individuals; r – several individuals.

Окремо відмітимо суттєве різноманіття структури пралісів і квазіпралісів Карпатського НПП (рис. 6): кількість ярусів варіює від двох (гірсько-соснові та зелено-вільхові ліси) до чотирьох (букові та ялицеві ліси); середні висоти – від 1,5 (зелено-вільхові ліси) до 35 (ялицеві ліси) метрів; запаси деревини – від 5 (зелено-вільхові ліси) до 700 (ялицеві ліси) м³·га⁻¹; кількість деревних видів у складі від двох (зелено-вільхові ліси) до семи (букові ліси). Отримані раніше результати ідентифікації старовікових лісів в Українських Карпатах (Шпарик та ін., 2021) підтверджують, що таке різноманіття структури пралісів і квазіпралісів є характерним для регіону.

Ідентифікація старовікових лісів Карпатського НПП також засвідчила про невідповідність окремих кластерів ідентифікованих квазіпралісів із законодавчо затвердженими критеріями та індикаторами для таких лісів. Так, ліси кластеру 1 Бистрецького ПОНДВ (кв. 2, вид. 13, 15, 16) на площі 29,5 га були ідентифіковані як «господарський ліс» через невідповідність форми (розміри менше 200 м) кластеру зі встановленими нормативами. Ліси кластеру 11 Бистрецького ПОНДВ (кв. 15, вид. 14 і 21) на площі 28,0 га були ідентифіковані як «господарський ліс» через наявність на території кластеру лісової дороги. А площа кластеру 1 Ворохтянського ПОНДВ (кв. 1, вид. 8) була зменшена на 15 га також через наявність на території кластеру лісової дороги. Ці приклади підтверджують, що стан пралісів, квазіпралісів та природних лісів потребують моніторингу з позицій їх відповідності затвердженим критеріям та індикаторам.

Дискусія (Discussion).

В Україні нагромаджено значну базу даних щодо основних показників старовікових лісів, які визначали під час їхньої ідентифікації та вносили у таблицю встановленої форми. Ці дані до 2021 р. уніфіковано для 97 тис. га **старовікових лісів (пралісів, квазіпралісів та природних лісів)** України, зокрема, для 50 тис. га пралісів. Основне місце їх розташування – Українські Карпати (майже 95%), а решту виявлено в умовах Полісся. Високим є різноманіття типів лісу цих лісів – з 91 типу лісу найбільші площі мають букові (волога чиста бучина, волога чиста суббучина, волога смереково-ялицева суббучина – разом 41%) та смерекові (вологий смерековий суббір, волога чиста сусмеречина, волога буково-ялицева сусмеречина – разом 25%) типи лісу. При цьому різноманіття головних деревних видів значно менше – лише 11, серед яких домінують *Fagus sylvatica* з часткою 58% та *Picea abies* з часткою в 33%, тобто два деревні види формують більше 90% старовікових лісів України (Шпарик та ін., 2021). На сьогодні охоронний статус отримали вже 64 тис. га цих лісів, а 10 тис. га – ще ні (WWF Україна, 2021).

Впродовж першого етапу інвентаризації старовікових лісів Карпатського НПП станом на початок 2019 р. виявлено 2581,4 га пралісів і квазіпралісів, з яких на площі 22,0 га ідентифіковано праліси. Головним деревним видом, який займає найбільші площі (49%) у цих лісах, є *Picea abies*, а третю частину цих лісів (33%) посідає *Pinus mugo* (Літопис природи ..., 2024). У літературних джерелах зазначають дещо інші площі старовікових лісів Парку, що

встановлені на основі таксаційних даних – 3244,6 га загалом, з яких 605,6 га займають праліси (Максимук та ін., 2017). Однак, правильність ідентифікації старовікових лісів цими авторами підлягає сумніву,

оскільки на основі наведеної карти їх розташування на території Говерляньського ПОНДВ можна зробити висновок про не дотримання критеріїв щодо форми лісових ділянок (ширина від 200 м).



а) буковий квазіпраліс /
European beech quasi-virgin forest



б) гірсько-сосновий праліс /
Mountain pine virgin forest



с) смерековий праліс /
Norway spruce virgin forest



д) ялицевий квазіпраліс /
Silver fir quasi-virgin forest

Рис. 6. Фрагменти структури пралісів і квазіпралісів Карпатського НПП (2024 рік)
Fig. 6. Structure fragments of virgin and quasi-virgin forests in the Carpathian NNP (2024)

Інвентаризація старовікових лісів Карпатського НПП у 2024 р. виявила вже 2612,0 га старовікових лісів, з яких 445,0 га становлять праліси. Частка смереки в цих лісах зменшилася з 49 до 47%, що є наслідком масового всихання ялинових лісів Карпат (Шпарик, 2019), але домінування смерекових і гірсько-соснових типів лісу залишилося. Виявлена невідповідність ідентифікованих до 2019 р. старовікових лісів до затверджених критеріїв та індикаторів (> 50 га) зумовлена антропогенним тиском на ліси Парку. Під час формування нового «Проекту організації території Карпатського НПП...» виявлено суттєву проблему зі зміною менеджменту таких лісів – зняти заповідання для ідентифікованих до 2019 р. старовікових лісів, які зараз не відповідають індикаторам для таких лісів, дуже складно.

Якщо процедура віднесення лісових масивів до старовікових лісів і подальшого створення об'єктів ПЗФ добре прописана у законодавчому полі, то процедура вилучення лісових масивів зі складу старовікових лісів у випадку втрати їх відповідності затвердженим критеріям та індикаторам детально не прописана. Існують лише загальні положення щодо зміни меж, категорії та скасування статусу територій та об'єктів природно-заповідного фонду (стаття 54 Закону України «Про природно-заповідний фонд України»). А проведені дослідження засвідчили потребу у такій процедурі – навіть менше ніж за 10 років лісові ділянки, які було віднесено до старовікових лісів, на сьогодні не відповідають затвердженим критеріям та індикаторам щодо таких лісів. Однією із причин погіршення стану старовікових лісів є інтенсивний антропогенний вплив, зокрема – рекреаційне навантаження, яке постійно зростає на території Парку впродовж останніх років (Літопис природи ..., 2024). Для його регулювання доцільно встановити інформаційні щити щодо наявності площ пралісів і квазіпралісів та чітко дотримуватись умов їх охорони (використання).

Висновки (Conclusions).

1. У лісових масивах Карпатського НПП частка старовікових лісів складає близько 7%, з яких біля 1% становлять праліси. З шести головних деревних видів у цих лісах більшість площ формують *Picea abies* (47%) та *Pinus mugo* (34%), а з шістнадцяти типів лісу переважають вологий гірсько-сосновий субір (34%) та волога чиста суслеречина (24%). Загалом старовікові ліси Карпатського НПП – це корінні триярусні однопородні деревостани низької повноти і продуктивності, з низьким запасом мертвої лежачої деревини та з достатньою для природного відновлення кількістю підросту. Найбільші площі квазіпралісів ідентифіковано у Бистрецькому (888,0 га), а пралісів – у Високогірному ПОНДВ (304,3 га).

2. Структура старовікових лісів Парку мінлива і детермінується головним деревним видом та

лісорослинними умовами: кількість ярусів змінюється від двох (гірсько-соснові та зелено-вільхові ліси) до чотирьох (букові та ялицеві ліси); середні висоти – від 1,5 (зелено-вільхові ліси) до 35 (ялицеві ліси) метрів; запаси деревини – від 5 (зелено-вільхові ліси) до 700 (ялицеві ліси) м³/га; кількість деревних видів у складі – від двох (зелено-вільхові ліси) до семи (букові ліси). Достовірної залежності між запасами мертвої лежачої деревини і кількості підросту та часткою головного деревного виду у породному складі в ідентифікованих пралісах і квазіпралісах не встановлено.

3. Різноманіття вищих судинних рослин у старовікових лісах Карпатського НПП змінюється від 12-ти у гірсько-соснових лісах до 33-ох видів – в ялицевих лісах; у всіх старовікових лісах ідентифіковано лише 70 видів рослин.

4. Виявлено розбіжності між результатами першої (до 2019 р.) і другої (2024 р.) інвентаризації старовікових лісів Карпатського НПП: на площі 72,5 га старовікових лісів під час другої інвентаризації не виявлено відповідності щодо затверджених критеріїв та індикаторів; близько 400 га квазіпралісів ідентифіковано як праліси; нових старовікових лісів виявлено на площі більше 100 га.

5. У зв'язку зі зміною клімату та антропогенним навантаженням у законодавчому полі необхідно чітко встановити процедуру переведення старовікових лісів у господарські.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Buezo, J., Medina, N.G., Hereş, A.-M., & Yuste, J.C. (2023). Downed woody debris carbon emissions in a European temperate virgin forest as driven by species, decay classes, diameter and microclimate. *The Science of Total Environment*, 912(1), 169133. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2023.169133>
- Chernyavskyj, M., & Khmil, I. (1998). Dynamics of the structure of primeval beech forests of Borzhava. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 8(1), 21-34. [Чернявський, М.В., Хміль, І.В. (1998). Динаміка структури букових пралісів Боржави. *Науковий вісник НЛТУ України*, 8(1), 21-34] (in Ukrainian)
- Chernyavskyj, M., & Izhyk, G. (2014). Deadwood in virgin beech forests as a complex of fungal microhabitats. *Bulletin of Lviv University. Geographical Series*, 45, 144-149. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2014.45.1159> [Чернявський, М., Іжик, Г. (2014). Відмерла деревина у букових пралісах як комплекс мікросередовищ існування грибів. *Вісник Львівського університету. Серія географічна*, 45, 144-149] (in Ukrainian)

- CNNP (2024). *Chronicle of Nature of the Carpathian National Nature Park*. XXXVII. Retrieved from <https://karpatskyi-park.in.ua/pro-nas/nashi-vydannia/> [Літопис природи Карпатського національного природного парку. Книга XXXVIII, КНПП. 421 с.] (in Ukrainian)
- Commarmot, B., Brändli, U.-B., Hamor, F., & Lavnyy, V. (2013) *Inventory of the largest primeval beech forest in Europe*. WSL, Birmensdorf, 69. URL: https://www.researchgate.net/publication/329019447_Inventory_of_the_largest_primeval_beech_forest_in_Europe_A_Swiss-Ukrainian_scientific_adventure
- Debryniuk, V., Nechai, M., Koliadzhyn, I., & Lavnyy, V. (2023). Effectiveness of natural regeneration in spruce primeval forests of the Verkhovynskyi National Nature Park. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 56-73. <https://doi.org/10.15421/412304> [Дебринюк, В., Нечай, М., Коляджин, І., Лавний, В. Успішність природного поновлення у смерекових пралісах НПП «Верховинський». *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 56-73] (in Ukrainian)
- Dietrich, H., Müller, S., & Schlenker, G. (1970). *Urwald von Morgen*. Stuttgart: Ulmer, 174.
- Gamor, F., Berkela, Y., Bundzhyak, V., Voloschuk, M., Hubko, V., Dovganych, Y., ... Sukharyuk, D. (2013). *Primeval and Ancient Beech Forests of Europe: Problems of Protection and Sustainable Use*. Uzhhorod: City Printing House Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/conf2013/conf2013.pdf>. [Гамор, Ф.Д., Беркела, Ю.Ю., Бундзяк, В.В., Волощук, М.І., Губко, В.М., Довганич, Я.О., ... Сухарюк, Д.Д. (2013). *Букові праліси та давні букові ліси Європи: проблеми збереження та сталого використання*. Ужгород: міська друкарня. 378 с.] (in Ukrainian)
- Gamor, F., Dovganych, Y., Pokynchereda, V., Sukharyuk, D., Bundzhyak, J., Berkela, Y., Voloschuk, M., Godovanets, B., & Kabal, M. (2008). *Primeval forests of Transcarpathia. Inventory and management*. Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve. Retrieved from http://cbr.nature.org.ua/vydan_u.htm. [Гамор, Ф.Д., Довганич, Я.О., Покиньчереда, В.Ф., Сухарюк, Д.Д., Бундзяк, Й.Й., Беркела, Ю.Ю., ... Кабаль, М.В. *Праліси Закарпаття. Інвентаризація та менеджмент*. Рахів: Карпатський біосферний заповідник. 86 с.] (in Ukrainian)
- Hohnwald, S., Indreica, A., Walentowski, H., & Leuschner, C. (2020). Microclimatic Tipping Point at the Beech–Oak Ecotone in the Western Romanian Carpathians. *Forests*, 11, 919. <https://doi.org/10.3390/f11090919>
- Kisin, B., Vasić, V., & Baković, Z. (2025) Management of virgin beech forests in Serbia and the dynamics of changes in their basic structural elements. *Nova Geodesia*, 5(2), 309. <https://doi.org/10.55779/ng52309>
- Korol, M., Tokar, O., Gusti, M., Portakh, S., Nagornyak, B., Pryndak, V., Zeman, V., & Kramarets, V. (2022). The structure and stem carbon of natural forest stands in the protected territories of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 143-152. <https://doi.org/10.15421/412213> [Король, М., Токар, О., Густі, М., Портах, С., Нагорняк, Б., Земан, В., Крамарець, В. (2022). Структура природних насаджень заповідних територій Українських Карпат та оцінка стовбурового запасу вуглецю. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 143-152] (in Ukrainian)
- Korpel, Š. (1995). *Primeval Forests of the West Carpathians*. Stuttgart: Fischer Verlag. Retrieved from <https://www.amazon.de/Die-Urw%C3%A4lder-Westkarpaten-Stefan-Korpel/dp/3437307029> [Korpel, Š. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Stuttgart: Fischer Verlag, 310] (in Germany)
- Kun, Z., DellaSalla, D., Keith, H., Kormos, C., Mercer, B., Moomaw, W.R. & Wiezik, M. (2020). Recognizing the importance of unmanaged forests to mitigate climate change. *Global Change Biology Bioenergy*, 12(12), 1034-1035. <https://doi.org/10.1111/gcbb.12714>
- Leibundgut, H. (1982). *European Mountain Primeval Forests*. Bern: Stuttgart. Retrieved from <https://katalog.slub-dresden.de/id/0-025262637> [Leibundgut, H. (1982). *Europäische Urwälder der Bergstufe*. Bern: Stuttgart, 308] (in Germany)
- Luick, R., Reif, A., Schneider, E., Grossmann, M., & Fodor, E. (2021). *Virgin forests at the heart of Europe – The importance, situation and future of Romania's virgin forests*. ISSN 0067-2528. <https://doi.org/10.6094/BLNN/Mitt/24.02>
- Maksymyuk, G., Prytula, I., & Senchyna, B. (2017). Primeval forest ecosystems of Chornogora (within the Carpathian National Park): current state, ways of use and preservation. *Physical geography and geomorphology*, 3, 81-91. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=fiz_geo_2017_3_12 [Максимюк, Г.В., Пригула, І.М., Сенчина, Б.В. (2017). Пралісові екосистеми Чорногори (у межах Карпатського НПП): сучасний стан, шляхи використання і збереження, *Фізична географія та геоморфологія*, 3, 81-91] (in Ukrainian)
- Old-growth forests as a model for restoring the functional essence of Carpathian Forests* (2021). Proceedings of International Scientific and practical Conference. Lviv, June 23-24. Lviv: Institute of Ecology of the Carpathians. Retrieved from <https://ecoinst.org.ua/news/starovikovi-lisy/materialy-konferentsii-starovikovi-lisy-lviv-2021.pdf> [Старовікові ліси, як модель відновлення функціональної суті Карпатських лісів (2021). Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. Львів, 23-24 червня. Львів: Інститут екології Карпат. 52 с.] (in Ukrainian)
- Oleksiv, T., Klimuk, Y., & Glystyuk, Y. (2008). Monitoring of virgin forests with the participation of *Pinus cembra* L. in Dovbushansky Gorgany. *Bulletin of the Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, Biology*, 12, 21-26. Retrieved from

- <http://lib.pu.if.ua:8080/handle/123456789/17619/simple-search?filterquery=Pinus+cembra&filtername=subject&filtertype>equals> [Олексів, Т.М., Клімук, Ю.В., Глисюк, Ю.С. (2008). Моніторинг пралісів з участю *Pinus cembra* L. в Довбушанських Горнах. *Вісник Прикарпатського національного університету імені Василя Стефаника, Біологія*, 12, 21-26] (in Ukrainian)
- On approval of the Methodology for determining the belonging of forest territories to virgin forests, quasi-virgin forests and natural forests (2018). Order No. 161 of 18.05.2018 Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0707-18#Text> [Про затвердження Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів (2018). Наказ №161 від 18.05.2018 р. Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України] (in Ukrainian)
- Parpan, V., & Stoyko, S. (1999). Primeval beech forests of the Ukrainian Carpathians: their protection and cenotic structure. *Proceeding of Folklore Institute of Academy of Science of Ukraine*, 4, 81-86. [Парпан, В., Стойко, С. (1999). Букові праліси Українських Карпат: їх охорона і ценотична структура. *Праці Інституту фольклору НАН України*, 4, 81-86] (in Ukrainian)
- Saniga, M., Pittner, J., & Vencurik, J. (2020) *Structure of selected virgin forests of Slovakia as the basis for creation of models in forest of diameter classes*. Zvolen: Publishing House of the Technical University Zvolen. ISBN: 978-80-228-3206-9.
- Schreiber, J., Pouska, V., Macek, P., Thom, D., & Bässler, C. (2025). Effects of canopy-mediated microclimate and object characteristics on deadwood temperature. *Agricultural and Forest Meteorology*, 362(13), 110378. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2024.110378>
- Shparyk, Y., Commarmot, B., & Berkela, Y. (2010). *Structure of the virgin beech forest of the Ukrainian Carpathians*. Snyatyn: Prutprynt. ISBN 978-966-2289-17-6. [Шпарик, Ю., Коммармот, Б., Беркела, Ю. (2010). *Структура букового пралісу Українських Карпат*. Снятин: Прутпринт. 143 с.] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Danylyk, I., Kuzyarin, O., Senchak, I., & Kruk, N. (2024). European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Quasi-Virgin Forest Stand of the Gorgany Mts.: Structure, Plants Diversity, Health Conditions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 96-106. <https://doi.org/10.15421/412417> [Шпарик, Ю.С., Данилик, І.М., Кузярін, О.Т., Сенчак, І.І., Крук, Н.І. (2024). Буковий (*Fagus sylvatica* L.) квазіпраліс Горган: структура, фіторізноманіття, стан. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 96-106] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Losyuk, V., & Plyha, A. (2021). The state and structure of virgin forests in the Ukrainian Carpathians according to the monitoring results. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 77-88. <https://doi.org/10.15421/412106> [Шпарик, Ю., Лосюк, В., Плига, А. Стан і структура пралісів Українських Карпат за результатами моніторингу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 77-88] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Viter, R., & Shparyk, V. (2020). Structural changes of the Common beech (*Fagus sylvatica* L.) virgin forest in the context of climate-smart forestry. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(1), 87-97. <https://doi.org/10.31548/forest2020.01.087> [Шпарик, Ю., Вітер, Р., Шпарик, В. Структурні зміни букового (*Fagus sylvatica* L.) пралісу в контексті кліматично орієнтованого лісівництва. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 11(1), 87-97] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. (2019). Forecast of the Norway spruce forests' decline at the Ukrainian Carpathians according to forest types. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 79-88. <https://doi.org/10.15421/411929> [Шпарик, Ю. (2019). Прогноз всихання ялиників в Українських Карпатах за типами лісу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 79-88] (in Ukrainian)
- Shyshkanynets, I., Zadorozhnyy, A., Potish, L., & Mihaly, A. (2024). The state and structure of beech primeval forests in the Zacharovanyi Krai National Nature Park. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(3), 8-24. <https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.08> [Шишканинець, І., Задорожний, А., Потіш, Л., Мигаль, А. (2024). Стан і структура букових пралісів у національному природному парку «Зачарований край». *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 15(3), 8-24] (in Ukrainian)
- Stoyko, S. (2018). Ecology, coenotic heterogeneity of the beech forest formation in Ukraine and the preservation of primeval forest ecosystems. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 149-157. <https://doi.org/10.15421/411830> [Стойко, С. (2018). Екологія, ценотична гетерогенність формції бука лісового в Україні та збереження пралісових екосистем. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 149-157] (in Ukrainian)
- Trotsiuk, V., Hobi, M.L., & Commarmot, B. (2012). Age structure and disturbance dynamics of the relic virgin beech forest Uholka (Ukrainian Carpathians). *Forest Ecology and Management*, 265, 181-190. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2011.10.042>.
- UNESCO (2021). *Ancient and Primeval Beech Forests of the Carpathians and Other Regions of Europe*. Retrieved from <https://whc.unesco.org/en/list/1133/>
- WWF Ukraine (2021). *Virgin forests preserving*. Retrieved from <https://wwf.ua/our-work/forest/unique-forests/> [WWF Україна (2021). Збереження пралісів] (in Ukrainian)

Primeval and quasi-primeval forests of the Carpathian National Nature Park: diversity, dynamics, management

M. Chornij¹, Y. Shparyk²

Primeval forest ecosystems are natural examples of maintaining the stability and productivity of forests in any site conditions, as well as standards for forest biodiversity and combating invasive species. The interest in their scientific study in Europe has grown sharply after the inclusion of Ukrainian and Slovak primeval forests in the UNESCO World Natural Heritage List in 2007. In 2017, Ukraine adopted a law to improve the protection of primeval, quasi-primeval and natural forests, and in 2018 – appropriate methods for their identification and transfer to the NPF objects. That allowed identifying almost 100 thousand hectares of such forests, of which almost 50 thousand hectares are primeval. Therefore, urgent scientific tasks are their state monitoring and development of proposals for improving the system of their protection and management to improve their protection and management system.

The second inventory of old-growth forests conducted in the Carpathian National Nature Park in 2024, and the analysis of its results is the subject of this publication. Field studies of 219 forest plots for compliance of their indicators with the approved criteria and indicators made it possible to assess the dynamics of their quantitative changes.

It was found that the share of primeval and quasi-primeval forests in the Carpathian NNP is about 7%, of which about 1% is primeval forests. Of the six main species of these forests, spruce (47%) and mountain pine (34%) dominate, and within sixteen forest types – moist oligotrophic mountain-pine (34%) and moist mesotrophic pure spruce (24%) forest types dominate. In general, the old-growth forests of the park are native three-layered monodominant stands with normal density, low productivity, low stock of standing dead trees and a sufficient number of the native species young growth. The structure of these forests in the Carpathian NNP is variable and determined by the main species: the number of layers varies from 2 (Green alder forests) to 4 (European beech & Silver fir forests); the average height – from 1.5 (Green alder forests) to 35 (Silver fir forests) meters; the volume of wood from 5 (Green alder forests) to 700 (Silver fir forests) m³/ha; the number of species in the composition from 2 (Green alder forests) to 7 (European beech forests). No significant dependence of the volume of the standing dead trees on the proportion of the main species was found, and neither was there any dependence for the amount of young growth numbers. And the approximation reliability of these dependencies by polynomial curve is <0.0091.

The diversity of higher vascular plants in the park's virgin and quasi-virgin forests is 70 species and it ranges from 12 (Mountain pine forests) to 33 (Silver fir forests) species.

The discrepancies revealed in the results of two inventories of the park's old-growth forests allowed us to propose the following measures: clearly prescribe in the legislative framework the procedure for old-growth forests converting into commercial forests; significantly improve the situation with the availability of information boards regarding their protection and use.

Key words: Ukrainian Carpathians; old-growth forests; main species; forest type; standing dead trees; young growth; vascular plants.

¹ *Mykhajlo Chornij* – Postgraduate student at the Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, 57 Shevchenko st., Ivano-Frankivsk, 76000, Ukraine. E-mail: mikhailochornii@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1526-9480>

² *Yuriy Shparyk* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Science of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Scientific Department of the Synohora NNP, 4 Zarichna st., Stara Guta, Ivano-Frankivsk region, 77745, Ukraine. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412509>
Article received 2025.02.01
Article revised 2025.02.17
Article accepted 2025.06.26
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Lavnyy
lavnyy@gmail.com

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК: 630*232 : 504.5(100)

Міжнародний досвід ренатуралізації девастрованих територій лісівничими методами

Р. А. Ярошук¹, В. В. Лавний², С. В. Ярошук³

Проаналізовано міжнародний досвід відновлення лісових ландшафтів Forest Landscape Restoration (FLR) як відповідь на масштабну деградацію екосистем, з акцентом на природоорієнтовані лісівничі підходи, які реалізуються в країнах Південно-Східної та Східної Азії, а також Європейського Союзу. Використано порівняльно-аналітичний підхід для синтезу політик та практик FLR в 11 країнах – Китаї, В'єтнамі, М'янмі, Непалі, Індонезії, Філіппінах, Таїланді, Німеччині, Франції, Італії, Іспанії – за критеріями правового забезпечення, кліматичними умовами, участю зацікавлених сторін та економічного стимулювання. Встановлено, що деградація лісів і земель охоплює майже 2 млрд га земної поверхні та становить загрозу для засобів щодо існування, добробуту, а також продовольчої, водної та енергетичної безпеки близько 3,2 млрд людей. Станом на 2023 рік Китай відновив понад 70, В'єтнам – 5,3, Непал – 1,8 млн га, переважно завдяки реформам прав власності та громадському лісокористуванню. У ЄС в межах Глобальної ініціативи (Bonn Challenge) і Стратегії з біорізноманіття до 2030 року заплановано відновити щонайменше 30 млн га. У Німеччині вже відновлено понад 1,3 млн га з акцентом на мішані ліси та екосистемне управління. Італія, згідно з Національною лісовою стратегією, з 2000 року відновила понад 800 тис. га, приділяючи увагу залісенню деградованих сільських територій, зниженню пожежної небезпеки та збереженню культурного ландшафту. Перевага дослідження полягає у можливості застосування міжнародних моделей для післявоєнного екологічного відновлення України, забезпечуючи соціально справедливий, адаптивний і кліматично стійкий підхід до ренатуралізації.

Ключові слова: відновлення земель; агролісівництво; деградація ґрунтів; біоре mediaція; залісення; екологічна безпека; FLR.

Вступ (Introduction).

Ліси планети забезпечують засоби для існування понад кільком мільярдам людей, які живуть у крайній бідності, використовують ліси як джерело продовольства, паливної деревини та недержавної продукції. На додаток до цих переваг, відновлення земель сприяє у працевлаштуванні місцевого населення для проведення управлінських заходів,

а також може покращити надання екосистемних послуг. Крім того, надання пільг із засобів до існування, включно з працевлаштуванням, ймовірно, збільшить можливість участі місцевих жителів у збереженні лісів (Edwards, Fisher, & Boyd, 2010).

За останні 25 років майже 50 млн га первісних лісів було втрачено через їх зрубування. Численні міжнародні ініціативи, такі як Боннський виклик

¹ Ярошук Роман Анатолійович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, докторант. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: jaroschukr@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-5592>

² Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

³ Ярошук Світлана Василівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Сумський національний аграрний університет, вул. Герасима Кондратьєва, 160, Суми, 40000, Україна. E-mail: s.yaroshchuk@snau.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6125-1979>

та Нью-Йоркська декларація про ліси, поставили амбітні цілі щодо відновлення деградованих і зрубаних лісів до 2030 року. Реалізація глобальних зобов'язань щодо відновлення лісів та ландшафтів (Forest Landscape Restoration, FLR) вимагатиме створення лісових насаджень за участю мільярдів дерев на мільйонах гектарів деградованих земель для вирішення потрійної кризи: втрати біорізноманіття, зміни клімату та неефективності продовольчих систем (Food and Agriculture..., 2024).

Зростання масштабів деградації ландшафтів внаслідок інтенсивного природокористування, змін клімату та збройних конфліктів створює серйозну загрозу для екологічної стійкості, біорізноманіття і добробуту мільйонів людей. Особливої актуальності ця проблема набуває в країнах, які перебувають у процесі війни та післявоєнного відновлення, зокрема і в Україні. У цьому контексті критично важливим є впровадження ефективних механізмів ренатуралізації девастрованих територій з використанням лісівничих методів, з опорою на перевірений міжнародний досвід.

В останні десятиріччя низка країн Азії (Китай, В'єтнам, Непал, Індонезія) реалізували масштабні програми FLR, які охопили мільйони гектарів деградованих земель і продемонстрували високий рівень ефективності за участі громад, застосування природної регенерації та економічних стимулів (PES). Паралельно з цим, країни Європейського Союзу (Німеччина, Італія, Франція, Іспанія) формують власні моделі FLR у межах політик Green Deal, Biodiversity Strategy 2030 та фінансування за програмою CAP. У Німеччині відновлено понад 1,3 млн га лісів із застосуванням підходів клімато-адаптивного лісівництва. В Італії відновлено понад 800 тис. га деградованих територій, зокрема у Сицилії і Тоскані, де активно впроваджується агролісівництво. У Франції та Іспанії щорічні дотації в межах CAP сягають 200-250 євро/га для фермерів, які зберігають дерево-господарські системи (den Herder et al., 2017). Водночас в Україні ще не існує інтегрованої національної моделі FLR, яка поєднувала б екологічну ефективність із соціальною доцільністю, правовим захистом та економічною мотивацією. Вивчення європейського та азійського досвіду дає змогу ідентифікувати оптимальні практики для формування власної стратегії відновлення у післявоєнний період.

Загальний масштаб агролісівництва у ЄС є показовим для розвитку його в Україні з метою захисту та відновлення ґрунтів. Так, загальна площа агролісівництва в ЄС-27 оцінюється приблизно в 15,4 млн га, що відповідає 3,6% території ЄС та близько 8,8% площі сільськогосподарських земель. Основними країнами за площею агролісівництва є такі: Іспанія – 5,6, Франція – 1,6, Греція – 1,6, Італія – 1,4, Португалія – 1,2, Румунія – 0,9, Болгарія – 0,9, інші країни ЄС – 2,2 млн га.

Агролісівничі системи ЄС за категоріями можна поділити на три основні типи агролісівництва:

агролісомеліорація (Arable Agroforestry) – поєднання сільськогосподарських культур з деревами (близько 0,3 млн га); *силвопасторальні системи* (Livestock Agroforestry) – поєднання тваринництва з деревами (найбільша категорія – 14,0 млн га); системи з деревами високої цінності (High Value Tree Agroforestry) – включають плодові дерева, оливкові та горіхові сади (близько 1,1 млн га) (den Herder et al., 2017).

Регіональна концентрація агролісівництва в ЄС має найвищу щільність агролісівничих систем і знаходиться у південно-західній частині Піренейського півострова, на півдні Франції, Сардинії, півдні та центрі Італії, центральній і північно-східній Греції, центральній Румунії і Болгарії (den Herder et al., 2017).

Однією із ключових проблем ЄС є процеси деградації ґрунтів в італійських сільськогосподарських і лісових екосистемах. Низка процесів деградації загрожує функціям ґрунту. Десять із них визнані Європейським Союзом і п'ятнадцять – Організацією економічного співробітництва та розвитку (ОЕСР) (Міністерство закордонних справ..., 2023), але принаймні ще сім були вказані різними авторами в Італії та інших частинах світу. Прямі річні витрати на усунення наслідків процесу деградації ґрунту оцінюють в понад 38 млрд євро на рік у Європі в цілому, тоді як в Італії витрати на усунення наслідків лише зсувів, повеней та ерозії ґрунту становлять 900 млн євро. Втрата здатності виробляти продовольчі товари через деградацію ґрунту особливо важлива в Італії, оскільки самозабезпеченість продовольством нещодавно знизилася до менш ніж 80%, а ґрунти сільськогосподарського призначення в Італії страждають від кількох проблем, серед яких обмежений дренаж ґрунту, несприятлива текстура та кам'янистість, мала глибина вкорінення рослин, незадовільні хімічні властивості (Costantini, & Lorenzetti, 2013).

Україна може перейняти успішний досвід країн ЄС з великим обсягом агролісівництва, зокрема силвопасторальних систем. Важливо визначити території, придатні для впровадження агролісівничих практик, та створити відповідну нормативну базу, опираючись на досвід ЄС.

Враховуючи кліматичні та ґрунтові умови, доцільно впроваджувати комплексні системи, поєднуючи деревні культури з тваринництвом або вирощуванням сільськогосподарських культур.

Латинська Америка та Карибський басейн володіють одними із найцінніших з екологічного погляду лісовими екосистемами у світі, що становить 27% світових лісів. Незважаючи на їхню важливість, 20% лісових угідь сильно деградували, а ще 20% – повністю зрубані. Як результат, понад 650 млн га ландшафтів у регіоні пошкоджено, що загрожує громадам і країнам, які від них залежать. Програма «20×20» (20×20 Initiative) – це ініціатива понад 17 країн, які прагнуть змінити динаміку деградації земель у Латинській Америці та

Карибському басейні, розпочавши захист і відновлення 50 млн га лісів, ферм, пасовищ та інших ландшафтів до 2030 року (табл. 1-2). Ініціативу «20×20» підтримують понад 120 технічних організацій та установ, а також коаліція інвесторів і приватних фондів із залученням 2,5 млрд дол. приватних інвестицій (World Resources Institute, 2025; Initiative 20×20, 2025).

Таблиця 1. Національні зобов'язання по країнах (* цілі, які планується досягти до 2030 року, ** TBD – країна зобов'язалася розробити національну стратегію відновлення земель)

Table 1. National commitments by country (* targets to be achieved by 2030, ** TBD – the country has committed to develop a national land restoration strategy) (World Resources Institute..., 2025, Initiative 20×20..., 2025)

Країна або штат	Площа, млн га
Мексика	8,5 млн га
Гватемала	1,2 млн га
Беліз	TBD** (очікується уточнення)
Гондурас	1 млн га
Сальвадор	1 млн га
Коста-Рика	1 млн га
Панама	1 млн га
Нікарагуа	2,8 млн га
Домініканська Республіка	0,09 млн га
Колумбія	1 млн га
Еквадор	0,5 млн га
Перу	3,2 млн га
Бразилія	22 млн га*
Штат Мату-Гросу (Бразилія)	2,9 млн га
Штат Еспіріту-Санту (Бразилія)	0,08 млн га
Штат Сан-Паулу (Бразилія)	0,3 млн га
Аргентина	1 млн га
Чилі	1 млн га
Уругвай	2,5 млн га
Парагвай	TBD** (очікується уточнення)

Таблиця 2. Недержавні ініціативи з відновлення
Table 2. Non-governmental restoration initiatives (World Resources Institute..., 2025, Initiative 20×20..., 2025)

Організація	Площа, млн га
Патагонська охорона природи	1,0
Bosques Modelo (Модельні ліси)	1,6
Американська організація охорони птахів	0,1

Ініціатива 20×20 (див. табл. 1-2) – це регіональна ініціатива, яка спрямована на виконання глобальних цілей Bonn Challenge та Десятиліття ООН з відновлення екосистем (2021-2030). Ініціатива поєднує державні зобов'язання та інвестиції приватного сектору для масштабного відновлення лісів, сільськогосподарських угідь і деградованих ландшафтів у країнах Латинської Америки та Карибського басейну.

За результатами аналізу публікацій щодо сприяння природному відновленню лісів на колишніх сільськогосподарських землях через економічні та політичні втручання, наводимо карту наймабільніших заходів стосовно лісорозведення та лісовідновлення (рис.). Основна мета дослідників полягала у наданні науково обґрунтованих принципів та прикладів для урядів, практиків, фермерів і місцевих громад щодо методів відновлення деградованих земель (Chazdon et al., 2020).

Ці ілюстративні дослідження відрізняються за часовими рамками аналізу, що використано для відображення змін у природному відновленні лісового покриву. Тут подано зміни як чистий приріст природного лісового покриву або його відносне збільшення на основі регіональних оцінок землекористування та лісового покриву. У всіх випадках інформація подана лише щодо природного поновлення, а збільшення площ штучних лісів не враховано. Тропічні та субтропічні лісові біоми позначені темно-зеленим, тоді як помірні та бореальні лісові біоми відмічені світло-зеленим кольором. Представлена зведена інформація об'єднує екологічну, соціальну та економічну складові в масштабах деградованих територій (Chazdon et al., 2020).

Актуальність проблеми полягає у необхідності узагальнення міжнародних практик ренатуралізації деградованих ландшафтів із застосуванням лісівничих інструментів з метою визначення найбільш ефективних моделей для їх впровадження в Україні.

Метою дослідження є аналіз і систематизація міжнародного досвіду ренатуралізації деградованих територій з використанням лісівничих методів для обґрунтування доцільності їх впровадження у рамках національної стратегії післявоєнного відновлення України.

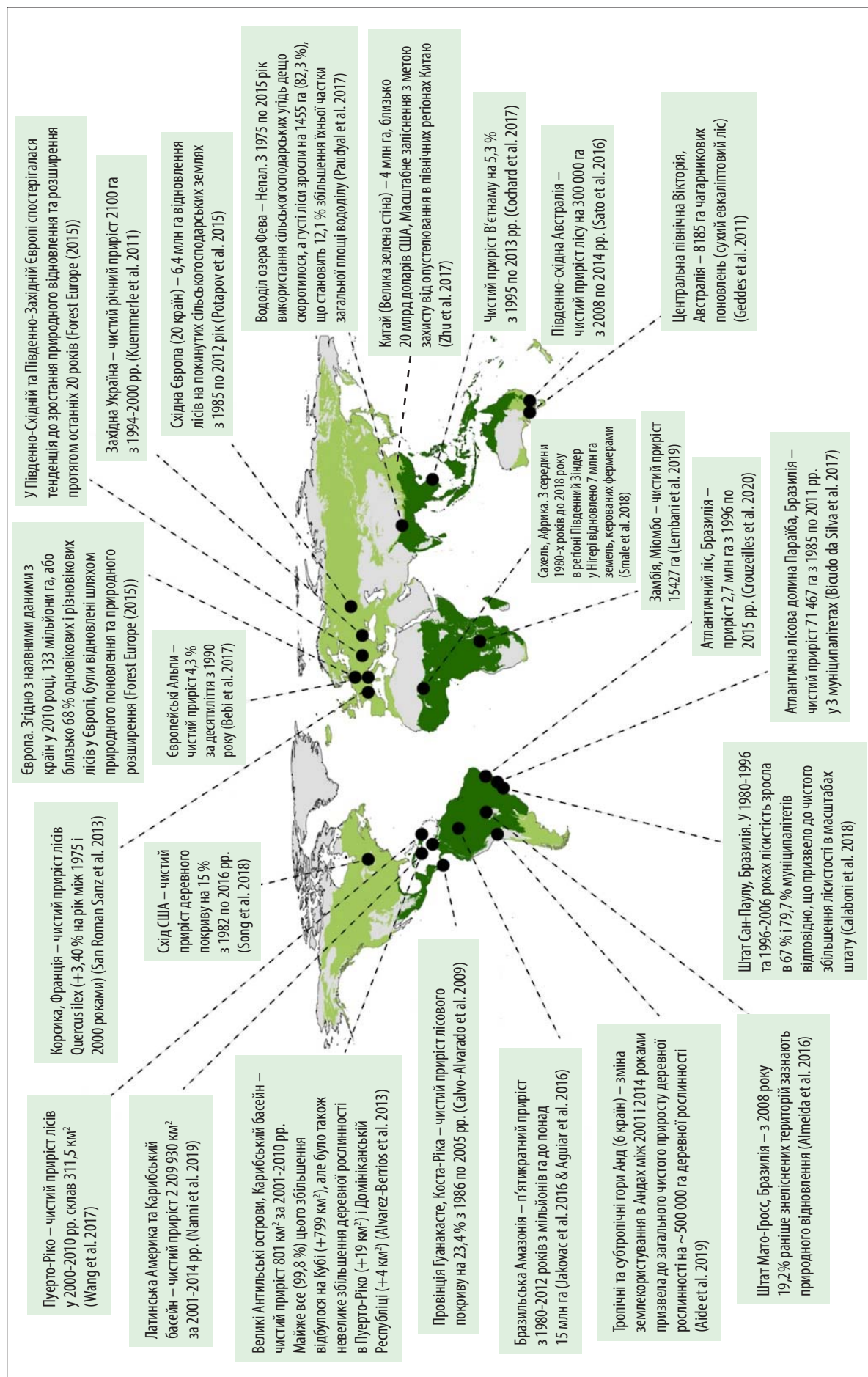


Рис. Задokumentовані випадки великомасштабного природного відновлення лісів у сільськогосподарських ландшафтах у помірних, тропічних і субтропічних лісових регіонах світу (Chazdon R. L. et al., 2020)

Fig. Documented cases of large-scale natural regeneration of forests in agricultural landscapes in temperate, tropical and subtropical forest regions of the world (Chazdon R. L. et al., 2020)

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods)

Об'єкт дослідження – процеси екологічної та лісівничої ренатуралізації дегазованих територій у міжнародній практиці. *Предмет дослідження* – інструменти, моделі та політика FLR, що реалізуються в країнах Азії та Європейського Союзу, з урахуванням їх потенційної адаптації до соціо-екологічних умов України.

Для виконання мети роботи проаналізовано масштаби, чинники і наслідки деградації земель у країнах, які реалізують FLR-підходи; оцінено ефективність правових, соціальних та економічних інструментів у політиках FLR; систематизовано приклади успішних FLR-програм у країнах Азії та ЄС (Китай, В'єтнам, Непал, Індонезія, Італія, Німеччина, Франція, Іспанія); визначено ключові фактори успішності реалізації FLR у контексті сталого землекористування; запропоновано науково обгрунтовану модель FLR для України на основі міжнародного досвіду.

Матеріали та методи дослідження базуються на міждисциплінарному аналізі міжнародного досвіду з екологічної ренатуралізації територій, що зазнали деградації внаслідок інтенсивного антропогенного або воєнного впливу, з використанням лісівничих інструментів. У центрі уваги – країни Європи (Франція, Німеччина, Італія, Іспанія, Польща), Азії (Китай, В'єтнам, Непал, М'янма) та Латинської Америки, які мають значний практичний досвід у сфері FLR (Forest Landscape Restoration), PES (платежі за екосистемні послуги) та агролісівництва (agroforestry).

Методологія побудована з урахуванням принципів FLR, встановлених низкою міжнародних організацій – FAO, IUCN, GEF, Plan Vivo, Verra та Європейською Комісією. Наголос зроблено на екологічно обгрунтованих типах втручань, що можуть бути застосовані в українському контексті – зокрема у післявоєнних умовах північно-східного Лісостепу України.

Основні етапи дослідження складаються з окремих елементів, серед яких: *огляд наукових джерел*: систематизація міжнародних практик ренатуралізації, включаючи програми Bonn Challenge, LIFE, EU Green Deal; *типологізація лісівничих методів*: класифікація інтервенцій – природна регенерація, смугове заліснення, агролісівництво, силвопасторальні моделі, технічна рекультивація; *правовий аналіз*: вивчення національного законодавства країн ЄС та України щодо охорони лісів, дегазованих земель і відновлювальних програм; *порівняльна оцінка ефективності*: аналіз практичних результатів впровадження FLR-інтервенцій у вибраних країнах; *адаптація до умов України*: визначення придатних моделей відновлення для дегазованих територій північно-східного лісостепу України, зокрема агролісомеліорації, збереження лісосмуг, відновлення біокоридорів.

Для забезпечення точності отриманих результатів використано лише відкриті, перевірені джерела з міжнародним рецензуванням. Усі FLR-моделі проаналізовано за однаковими критеріями – тип втручання, тривалість реалізації, біофізичний ефект, участь громад. Здійснено критичне оцінювання можливостей імплементації кожної моделі в Україні з урахуванням законодавчих бар'єрів і кліматичних обмежень.

Результати дослідження (Results).

Наглядним світовим прикладом є ініціатива FAO-RECOFTC FLR, завдяки якій було розпочато багатонаціональне дослідження з метою аналізу стану відновлення лісів (FAO/RECOFTC..., 2016). Мета полягала у сприянні розробці стратегій, практичних заходів і політичних керівних принципів, спрямованих на досягнення декількох ключових цілей: збереження лісового біорізноманіття, захист екосистемних послуг, пом'якшення наслідків зміни клімату та забезпечення справедливого розподілу лісових ресурсів. У рамках дослідження розглянуто історичні аспекти деградації земель; прямі і непрямі причини деградації та їхні наслідки; взаємозв'язок між лісовою політикою і деградацією земель; основні стратегії відновлення лісових і дегазованих територій; соціально-економічні чинники успіху; приклади успішних ініціатив з відновлення лісів.

До аналізу було включено низку країн – Китай, Індонезію, М'янму, Непал, Філіппіни, Таїланд та В'єтнам (Chazdon et al., 2020). У табл. 3 наведено загальні характеристики країн та основні напрями відновлення лісів. Усі країни зазнали значних втрат від зрубів лісів або продовжують таких втрат зазнавати. Втрати, здебільшого, супроводжувались гаслами економічного зростання. Ті країни, які розпочали реалізацію лісогосподарських програм, орієнтованих на інтереси людей з відповідною політикою та законодавством, починають відновлювати втрати.

Аналізуючи дані табл. 3 варто зазначити, що власність на землю в країнах, що розвиваються, характеризується законодавством, яке наголошує на державній чи приватній власності та применшує ресурси, що належать громаді; загалом землі у приватній власності становлять лише невелику частку загальної земельної площі у цих країнах. Величезна кількість людей, які залежать від лісу, отримує засоби для існування в державних лісах. Як наслідок, часто виникають конфлікти між місцевими громадами та представниками підприємств лісового господарства, а проблеми землеволодіння для місцевих громад досі не вирішені (Narada et al., 2015). Оскільки незахищеність землеволодіння сприяють зрубіванню та деградації лісів, а також захопленню лісових земель, забезпечення чітких і надійних прав на землю, ліси та вуглець через соціальні гарантії REDD+ може гарантувати як збереження самих лісів, так і стійкість місцевих ресурсів для існування громад (Alexander et al., 2011).

Таблиця 3. Характеристики лісового господарства країн, площі лісів яких впливають на клімат планети

Table 3. Characteristics of forestry in countries whose forest areas have an impact on the global climate

№	Загальні характеристики	Основні характеристики лісового господарства
1	2	3
1	Китай <u>Розташування:</u> Північно-Східна Азія (тропічні помірно-альпійські умови) <u>Населення:</u> 1 333 млн осіб <u>Площа лісів:</u> 206,8 млн га (22%) <u>Річний приріст:</u> +1.4%	Китай має широкий спектр кліматичних регіонів, а отже, має значне розмаїття лісів, включаючи альпійські, помірні та тропічні типи. У минулому ліси зазнавали інтенсивної експлуатації, що призвело до серйозних екологічних проблем. Починаючи з 2000 р., відбувся значний зсув від виробництва деревини до досягнення сталого управління лісами. Завдяки низці ключових ініціатив, зокрема реформі політики землекористування, країна почала повертати назад процес втрати лісів. Наразі 22% території країни вкрито лісами, при цьому щорічний приріст за площею становить близько 1,4%. Більшість приросту було досягнуто за рахунок розширення площ насаджень, переважно шляхом запровадження монокультури. Однак, роль громад у цьому зростанні була чітко визначена.
2	Індонезія <u>Розташування:</u> Тропічний архіпелаг (Південно-Східна Азія) <u>Населення:</u> 240 млн осіб <u>Площа лісів:</u> 94,4 млн га (52%) <u>Річний приріст:</u> -0,7%	Індонезія все ще має високий рівень лісистості – майже 52% і залишається великим виробником деревини зі своїх природних лісів – наразі вона втрачає близько 0,7% своєї лісової площі щороку. Хоча ці ліси є одними із найбільш мегарізноманітних екосистем на Землі, все ще існує сильний тиск щодо переведення їх в інші види землекористування, особливо під плантації товарних культур. Сильно фрагментовані і порушені ліси надзвичайно вразливі до лісових пожеж, і значні їхні ділянки регулярно втрачаються. Деякі нові дослідження на місцях відкривають шляхи до формування підходів щодо відновлення лісів.
3	М'янма <u>Розташування:</u> Континентальна Південно-Східна Азія (тропічна) <u>Населення:</u> 56 млн осіб <u>Площа лісів:</u> 31,7 млн га (48%) <u>Річний приріст:</u> -0,9%;	М'янма має широке розмаїття лісів, серед яких переважають тропічні вічнозелені ліси помірного поясу. М'янма зберегла високий рівень лісистості – 48% і є провідним світовим джерелом деревини з природних лісів. Торгівля деревиною становить понад 10% експортних надходжень, що свідчить про важливу роль, яку відіграє лісове господарство в економіці країни. Хоча М'янма має багату історію лісочористування, воно в основному зосереджене на природних лісах, громадське лісове господарство не впроваджено у повному обсязі. Через надмірну залежність лісового господарства від національної економіки, незаконні рубки, сільське господарство та інші причини, площа лісів продовжує скорочуватися приблизно на 0,95% щорічно.
4	Непал <u>Місцезнаходження:</u> Південна Азія (субтропічна-тропічна) <u>Населення:</u> 23 млн осіб <u>Площа лісів:</u> 3,6 млн га (29%) <u>Річний приріст:</u> 0.0%	Непал має широкий діапазон кліматичних умов, які підтримують тропічні, помірні та альпійські типи лісів. В таких умовах країна повинна зберегти високий рівень лісистості. Однак внаслідок того, що понад 80% населення залежить від сільського господарства, площа лісів скоротилася до близько 29% від загальної площі країни. Втрата лісових територій відбувається з різних причин: незаконна рубка, захоплення безземельними фермерами лісових ділянок, випасання худоби тощо. Ці причини призвели до швидкого погіршення стану довкілля. За підтримки донорів країна розпочала широкомасштабні програми общинного та орендного лісогосподарювання; наразі понад 1,6 млн домогосподарств займаються громадським лісовим господарством, керуючи понад 1 млн га лісів. Ці програми починають задовольняти значну частину потреб країни у деревині. Темпи зрубання лісів загалом почали сповільнюватися. Було впроваджено низку змін у політиці та законодавстві, спрямованих на посилення ролі людей у володінні та управлінні лісами. Крім того, деякі з цих лісів з належним захистом від посягань (природних та антропогенних) здатні відновлюватися після рубок, що вимагає менших зусиль для їх відновлення.

1	2	3
5	Філіппіни <i>Розташування:</i> Тропічний архіпелаг у Південно-Східній Азії <i>Населення:</i> 100 млн осіб <i>Площа лісів:</i> 7,6 млн га (26%) <i>Річний приріст:</i> + 0,7%	У 1970 р. понад 50% території країни було вкрито лісами, але наприкінці 1990 р. цей показник знизився. До кінця 1990 р. ця частка скоротилася до менш ніж 20%. Втрату цих мегарізноманітних лісів можна простежити в основному через несправедливу політику, яка сприяла швидкій експлуатації деревини та перетворенню лісових масивів на сільськогосподарські угіддя для бідних фермерів. Уряд замінив такі комерційні схеми іншими формами спільного виробництва, які не були ефективними. Були спроби збільшити лісистість за рахунок масового відновлення у 1990 р., але без належного захисту та догляду вони не були повністю успішними. Проте нещодавні звіти свідчать про позитивний річний приріст лісових площ на 0,7%. Починаючи з 1990 р., основна увага приділяється соціальній справедливості та рівності у лісовому секторі, що призвело до поширення «орієнтованих на людей» програм ведення лісового господарства. Окрім застосування нових інструментів землеволодіння, неурядові організації, органи місцевого самоврядування та громадські організації долучаються до ініціатив з відновлення лісів. Розробляються плани відновлення зрубаних лісів, а також залучення до лісів «відкритого доступу» під громадське лісоуправління.
6	Таїланд <i>Розташування:</i> Континентальна Південно-Східна Азія (тропічна) <i>Населення:</i> 67 млн осіб <i>Площа лісів:</i> 18,9 млн га (37 %) <i>Річний приріст:</i> + 0.1 %	У Таїланді більше половини території колись була вкрита лісами, але зі стрімким економічним зростанням і розширенням сільськогосподарського виробництва лісистість країни скоротилася до рівня нижче 40%. Зіткнувшись з постійними зазіханнями, незаконними рубками, пожежами та іншими негативними чинниками, у 1989 р. було введено заборону на рубку природних лісів. Проте лісовий сектор і надалі продовжує стикатися із незаконними рубками і конфліктами з мешканцями лісів. Лісостани, що оцінюються приблизно в 1,87 млн га, є основним джерелом деревини для орієнтованої на експорт деревообробної промисловості (каучук). Досі тривають дебати щодо прав традиційних і місцевих громад на доступ до лісів та їх використання. Однак законопроект про громадське лісове господарство ще не прийнятий, що не дає можливості відкрити додаткові можливості для людей в управлінні лісами. Поряд з цим, технічні знання у сфері лісовідновлення деградованих лісів і земель є досить добре розвиненими. Проте лісова політика перешкоджає проведенню широкомасштабних відновлювальних робіт.
7	В'єтнам <i>Розташування:</i> Континентальна Південно-Східна Азія (тропічна) <i>Населення:</i> 92 млн осіб <i>Площа лісів:</i> 13,7 млн га (43%) <i>Річний приріст:</i> + 1,1%	Південний кордон В'єтнаму знаходиться близько до екватора, а північний торкається субтропічного поясу. У зв'язку з такими різноманітними кліматичними умовами, типи лісів у В'єтнамі відзначаються значним розмаїттям. У 1940 р. майже половина країни була вкрита лісом, але ця площа швидко скорочувалася і до 1990 р. лісистість становила лише 27%. Якість лісів також погіршилася. Основними причинами деградації лісів були надмірні рубки, зміна системи землеробства, перетворення лісових земель на сільськогосподарські угіддя, зазіхання та шкода від військових дій. Уряд запровадив правила для відновлення природних лісів, заліснення та рекультивації деградованих територій. Стратегія включала орієнтацію на збільшення обсягу лісових ресурсів, реструктуризацію лісового господарства із залученням населення та приватного сектору із фокусуванням на різноманітні продукти і послуги, а також розвиток лісів на науковій основі. Уряд зараз вивчає підходи до збільшення цінності природних лісів за допомогою платежів за екосистемні послуги (Payments for Ecosystem Services, PES), такі як поглинання вуглецю, біорізноманіття та генетичне збереження.

Підходи FLR, що впроваджуються у В'єтнамі, М'янмі та Китаї, передбачають економічну мотивацію фермерів, правовий захист відновлених насаджень, розвиток соціального партнерства. Деградація лісів і земель охоплює майже 2 млрд га

земної поверхні та становить загрозу для близько 3,2 млрд людей. Відновлення лісів і ландшафтів є відносно новою стратегією реагування на ці виклики, спрямованою на відновлення екологічної функціональності деградованих територій і покра-

щення добробуту населення у знелісених регіонах. Крім того, практика FLR довела свою ефективність у боротьбі з наслідками зміни клімату, забезпечуючи стабільність екосистем і стійкість соціально-економічних систем (Garrett et al., 2022).

На основі вивченого міжнародного досвіду нами запропоновано декілька способів, застосування яких дасть змогу місцевим громадам північно-східного Лісостепу України підтримувати відновлення пошкоджених ґрунтів лісовничими методами.

1. Активна участь у реставраційних проєктах.

Садіння дерев і лісовідновлення: місцеві громади можуть брати участь у садінні дерев і лісовідновленні деградованих територій. Це особливо ефективно в проєктах агролісомеліорації або лісовідновлення, де члени громади роблять свій внесок, висаджуючи і доглядаючи за деревами впродовж певного часу.

Практики збереження ґрунтів: фермери і землевласники можуть застосовувати такі методи, як контурне землеробство, терасування та висаджування покривних культур для запобігання ерозії ґрунту. Місцеві знання про традиційні практики управління землею також можуть бути інтегровані з сучасними методами для кращих результатів.

Збереження дикої природи: громади, які живуть поблизу деградованих екосистем, можуть допомогти захистити місцеву дику природу, беручи участь у програмах збереження, повідомляючи про незаконну діяльність (рубки лісу, браконьєрство тощо), створюючи буферні зони навколо вразливих територій.

2. Стале управління земельними ресурсами.

Запровадження агролісівництва: громади можуть застосовувати методи агролісівництва, які поєднують деревні насадження з сільськогосподарськими культурами та випасанням худоби, що поступово сприятиме відновленню родючості ґрунту, покращенню біорізноманіття та підвищенню продуктивності сільського господарства. Агролісомеліорація також забезпечує економічні вигоди, оскільки диверсифікує джерела доходу для фермерів.

Стале сільське господарство: застосування місцевих стійких практик, серед яких сівозмінна, зменшення використання хімікатів та органічне землеробство сприятимуть відновленню ґрунту та зменшенню деградації, спричинену інтенсивними методами землеробства. Навчання фермерів цим методам і підтримка їх впровадження є життєво важливим завданням.

3. Власність та управління громадою.

Довгострокове обслуговування: для успіху лісовідновлення громади повинні взяти у власність відновлювані землі. Будучи охоронцями землі, вони забезпечують її довготривале збереження та захист від майбутньої деградації. Місцеве керівництво гарантує, що зусилля з відновлення триватимуть і надалі.

Моніторинг і звітність: місцеві громади можуть контролювати хід відновлення, відстежувати зміни

навколишнього середовища та повідомляти про будь-які ознаки деградації чи незаконної діяльності. Близькість громад до відновлених територій робить їх ідеальними для моніторингу в реальному часі.

4. Освіта та розвиток потенціалу.

Екологічна освіта: підвищення обізнаності та розуміння важливості відновлення лісів серед членів громади є важливим елементом загальної стратегії. Освітні програми повинні підкреслювати переваги лісовідновлення, серед яких покращення якості води, зменшення ерозії ґрунту, збільшення біорізноманіття, що призводить до підвищення активності та мотивації учасників.

Навчання методам відновлення: громади потребують навчання конкретним методам лісовідновлення – садіння місцевих лісотвірних деревних видів, застосування заходів боротьби з ерозією ґрунту. Програми розбудови спроможності, надані урядами чи міжнародними організаціями, забезпечуватимуть громадам можливість діяти.

5. Підтримка політики та адвокації.

Місцева адвокація екологічної політики: громади можуть виступати за політику відновлення, наприклад, правовий захист відновлених територій, практики сталого землекористування або стимули для відновлення земель. Висловлюючи свою підтримку політиці, сприятливої для реставрації, громади можуть впливати на місцевих і національних чиновників, які приймають рішення.

Спільне управління природоохоронними територіями: у деяких випадках місцеві громади можуть співпрацювати з урядовими установами або екологічними організаціями для спільного управління природоохоронними територіями. Такий спільний підхід допомагає гарантувати, що зусилля з лісовідновлення відповідають потребам та інтересам місцевого населення, дотримуючись при цьому цілей збереження.

6. Використання традиційних екологічних знань.

Врахування знань корінних народів: місцеві громади, особливо групи корінного населення, часто володіють цінними традиційними екологічними знаннями щодо землеустрою та відновлення. Включення цих знань у сучасну реставраційну роботу може підвищити успіх проєкту шляхом застосування перевірених часом методів, які добре підходять для місцевих умов.

Сприяння культурній та екологічній стійкості: багато заходів з реставрації пов'язані з культурними цінностями і практиками місцевих громад. Підтримка культурно стійких практик, зокрема збереження природних лісів з історичною спадщиною або традиційних моделей землекористування, допомагає зберегти як біорізноманіття, так і культурну спадщину.

7. Економічна участь і диверсифікація засобів до існування.

Створення робочих місць за допомогою проєктів реставрації: проєкти реставрації можуть забезпечити економічні можливості для місцевих

громад. Залучаючи місцевих жителів для роботи над такими проєктами, як садіння дерев, агролісозорозведення та моніторинг земель, ініціативи щодо відновлення можуть сприяти місцевій економіці та зменшенню рівня бідності.

Диверсифіковані джерела доходу: громади можуть отримати вигоду від продуктів і послуг, створених відновленими землями, наприклад, не-деревних лісових продуктів (мед, фрукти, лікарські рослини), екотуризму і сталого сільського господарства, що допоможе створити економічну стійкість, одночасно зберігаючи навколишнє середовище.

8. Ініціативи під керівництвом громади.

Масові реставраційні проєкти: у багатьох випадках успішна реставрація починається з невеликих громадських ініціатив. Місцеві групи за підтримки неурядових організацій або органів місцевого самоврядування можуть ініціювати зусилля з відновлення на своїх територіях, пристосовуючи їх до конкретних потреб свого середовища та населення.

Громадські ліси: створення лісів, якими керує громада, де місцеві жителі мають контроль над рішеннями щодо управління землею, може сприяти сталому землекористуванню. Ці ліси допомагають відновлювати природні екосистеми, водночас забезпечуючи економічні і культурні вигоди для громади.

9. Співпраця з урядами та неурядовими організаціями.

Партнерство для ресурсів і досвіду: співпраця з місцевими органами влади та міжнародними організаціями може надати громадам технічну експертизу, ресурси та фінансування, необхідні для масштабної реставрації. Ці партнерства також забезпечать доступ до передового досвіду і наукових знань.

Планування реставрації за участю інших сторін: громади можуть співпрацювати із зовнішніми зацікавленими сторонами для спільної розробки проєктів реставрації, які відображають місцеві пріоритети та умови, гарантуючи, що втручання є актуальними, прийнятними та мають високу ймовірність успіху.

Враховуючи скрутний фінансовий стан держави, реалізація запропонованих нами способів відновлення пошкоджених ґрунтів лісівничими методами у регіоні досліджень можлива завдяки міжнародній підтримці. Як приклад, представляємо 10 наймасштабніших програм, які спрямовані на відновлення лісових насаджень планети: 1. Зелена Велика стіна «The Great Green Wall» – Африка (Sileshi et al., 2023); 2. Китайська програма з відновлення земель «Зелена Велика стіна» (Turner et al., 2023); 3. Програма «Bonn Challenge» – глобальна ініціатива з відновлення лісів (Stanturf et al., 2019); Bhattacharjee A., (2020); 4. Програма REDD+ «Reduced Emissions from Deforestation and Forest Degradation» – Глобальна ініціатива ООН (Goetz et al., 2015); Dulal, Shah, & Sapkota, 2012); 5. Програма «Great Plains Shelterbelt» – США (Mac-

gan, 1935; Gardner, 2009); 6. Програма «Green Belt Movement» – Кенія (Boyer-Rechlin, 2010); 7. «Sustainable Land Management Program» – Ефіопія (Ethiopia – Sustainable Land Management Project, 2008); 8. Програма «Million Trees Initiative» – Австралія (Simmons et al., 2020); Broadhurst, & Coates, 2017); 9. Проєкт відновлення ґрунтів у регіоні Сахель – «WORLD Bank» (Mbow, 2017); 10. Програма з відновлення деградованих лісів «Amazon Rainforest Restoration» – Бразилія (da Cruz et al., 2021).

Документ FAO (2021) визначає FLR як «процес повернення екологічної функціональності деградованим територіям за одночасного підвищення добробуту населення». Основні принципи FLR полягають у таких положеннях: орієнтація на ландшафтну складову, а не лише на локальні ділянки; адаптація до потреб громад – соціальні інтереси рівнозначні екологічним; комбінація методів – природна регенерація, штучне заліснення, агролісівництво, відновлення ґрунтів; моніторинг за допомогою індикаторів – вкрита лісом площа, вуглецеві баланси, біорізноманіття тощо.

Як узагальнення варто зазначити, що насамперед потрібно розробити національні рекомендації стосовно FLR відповідно до принципів ЄС та ООН, включаючи правове визнання агролісівництва та механізмів оплати за екосистемні послуги; запустити пілотні FLR-проєкти за підтримки міжнародних донорів (EU LIFE, FAO, GEF, Horizon Europe); забезпечити міжвідомчу координацію між лісовим, аграрним, екологічним і соціальним секторами; розробити правові та економічні умови для запровадження механізмів PES і торгівлі карбоновими квотами.

При цьому держава повинна стимулювати запровадження програми компенсацій фермерам за лісові насадження на деградованих землях; надання грантів громадам та агровиробникам для створення захисних лісосмуг; посилення ефективності моніторингу, підвищення рівня місцевої відповідальності за відновлення лісових ландшафтів та екологічну безпеку.

Особливу цінність цей підхід має в умовах післявоєнного відновлення територій, де офіційні структури тимчасово обмежені в ресурсах або доступі. Громади можуть: здійснювати геоприв'язане картування деградованих земель; проводити візуальні спостереження за приживлюваністю дерев, появою інвазійних видів, проявом локальних ерозійних процесів; повідомляти про незаконну господарську діяльність, що загрожує лісовим насадженням або захисним смугам.

Отримані результати досліджень можуть бути використані для формування державної політики з відновлення ландшафтів та забезпечення екологічної безпеки. Дослідження може стати основою для створення пілотних проєктів FLR в Україні із залученням громад та міжнародних донорів. Запропоновані рішення можуть бути використані

у межах реалізації низки проєктів, серед яких: Продовольча та сільськогосподарська організація ООН – Food and Agriculture Organization (FAO) (Food and Agriculture Organization..., 2025); Міжнародний союз охорони природи – International Union for Conservation of Nature (IUCN) <https://www.iucn.org>; Система сертифікації карбонових проєктів на рівні громад (Plan Vivo) (Plan Vivo Standart, 2025); Платформа сертифікації вуглецевих проєктів (Verra) (Verra..., 2025); Глобальна ініціатива – Bonn Challenge (Bonn Challenge, 2025); Зелений курс ЄС – EU Green Deal (European Commission, 2024); Програма ЄС – LIFE (LIFE Programme, 2025), орієнтованих на відновлення біорізноманіття та боротьбу з деградацією земель.

За результатами досліджень можна констатувати, що нами вперше здійснено порівняльний аналіз європейських та азійських моделей FLR з погляду їхньої правової, соціальної та екологічної ефективності; сформовано типологію FLR-інтервенцій, адаптованих до умов післявоєнної України; визначено інтеграційні механізми застосування CAP, PES і агролісівництва у рамках стратегії ренатуралізації.

Дискусія (Discussion).

Результати дослідження підкреслюють актуальність і прикладну цінність моделі відновлення лісових ландшафтів північно-східного Лісостепу України як стратегічного інструменту для вирішення екологічних, соціально-економічних проблем і наслідків війни. Запропонована модель інтегрує підходи, засновані на екосистемних рішеннях та інклюзивне управління, відображаючи найкращі практики країн Європейського Союзу (Франція, Німеччина, Італія, Польща), а також міжнародний досвід В'єтнаму, Непалу і Китаю. Ключовою перевагою моделі є її адаптивність до специфіки регіону – деградованих ґрунтів, фрагментованих лісових масивів і території, пошкоджених унаслідок війни.

Модель узгоджується з чинною законодавчою базою України, зокрема з Постановою КМУ № 650 «Про затвердження Правил утримання та збереження полезахисних лісових смуг, розташованих на землях сільськогосподарського призначення» (Кабінет Міністрів України..., 2020); Розпорядженням КМУ № 1777-р «Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року»; Розпорядженням КМУ № 1363-р «Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року».

Важливо, що прослідковується правова сумісність FLR із законами України про *охорону земель* (Верховна Рада України. Земельний кодекс України: Закон..., 2002; Верховна Рада України. Закон України про охорону навколишнього природного середовища, 1991; Кабінет Міністрів України. Про схвалення Національного плану управління відходами в Україні до 2030 року, 2019; Верховна Рада України. Закон України про основи адміністративно-територіального устрою України..., 2023), *лісів* (Верховна Рада України. Лісовий

кодекс України, 1994), а також з процедурою *стратегічної екологічної оцінки* (CEO) (Верховна Рада України. Закон України про стратегічну екологічну оцінку..., 2018). Наведені приклади свідчать про наявність законодавчих передумов для впровадження FLR.

Порівняно з міжнародними моделями, український контекст має як переваги, так і обмеження. На відміну від країн, де діють ефективні механізми оплати за екосистемні послуги (напр., Іспанія, Франція), в Україні ці інструменти лише формуються. Однак можливість включення FLR до програм відновлення регіонів і поступове наближення до інструментів CAP (Спільної аграрної політики ЄС) відкривають перспективи для фінансування. Аналогічно, запровадження принципів «наближеного до природи лісівництва» (close-to-nature forestry) за прикладом Німеччини та Австрії, може стати ефективним інструментом для рекультивативної деградованих земель, зокрема після розмінування.

Модель акцентує увагу на участі громад, що відповідає підходам Непалу та В'єтнаму у сфері громадського лісокористування. В українських реаліях залучення місцевих жителів, внутрішньо переміщених осіб і ветеранів до відновлення лісів може сприяти не лише екологічному оздоровленню, але й соціальній реінтеграції.

Крім того, FLR у запропонованій моделі виконує функції пом'якшення наслідків зміни клімату, збереження біорізноманіття, захисту ґрунтів і вод – трьох ключових напрямів Європейського зеленого курсу (EU Green Deal). У міру просування України шляхом євроінтеграції, синхронізація FLR із європейськими політиками та фінансовими інструментами (EU Environment, LIFE, Horizon Europe) стане дедалі актуальнішою.

Разом із тим, існує низка викликів, серед яких інституційна фрагментація, обмежене фінансування, недостатній рівень обізнаності громадян, відсутність національної FLR-стратегії чи системи моніторингу. Подолання цих бар'єрів вимагатиме політичної волі, міжсекторальної координації та розбудови потенціалу на всіх рівнях управління.

Варто зазначити, що місцеві громади є невід'ємною частиною успіху проєктів відновлення земель та екосистем. Їхня участь не тільки підвищує стійкість та ефективність цих зусиль, але й гарантує, що відновлені екосистеми забезпечать довгострокові соціальні, економічні та екологічні вигоди. Активно беручи участь у відновленні, впроваджуючи екологічні практики та відстоюючи політику підтримки, місцеві громади можуть сприяти глобальному руху до здоровішої та стійкішої планети. Їхнє залучення може значно підвищити стійкість і довгостроковий вплив проєктів реставрації (Höhl et al., 2020).

Висновки (Conclusions).

1. Запропонована модель FLR є адаптивною, екосистемно орієнтованою, з урахуванням регіональної деградації земель, ерозії ґрунтів, знеліснення та соціально-економічних потреб громад.

Модель базується на передових практиках країн ЄС (наближене до природи лісівництво в Німеччині, агролісівництво у Франції та Італії, PES у Польщі та Іспанії) і демонструє можливість їхнього застосування в українських реаліях.

2. Акцент на участі громад, ветеранів та ВПО у FLR забезпечує соціальну стійкість моделі та відповідає принципам Європейського зеленого курсу.

3. Аналіз українського законодавства підтверджує наявність нормативних передумов для реалізації FLR (Стратегія управління лісами України до 2035 року, Стратегія екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату на період до 2030 року, законодавство у сфері охорони земель і довкілля). Пилотна реалізація моделі FLR у Сумській, Харківській, Чернігівській та Полтавській областях є доцільною й нагальною, особливо на територіях, що зазнали військових дій.

4. Запровадження FLR сприятиме секвестрації вуглецю, відновленню біорізноманіття, покращенню водного балансу, підвищенню родючості ґрунтів і соціальній згуртованості громад – тобто стане ключовим інструментом екологічного та економічного відновлення України.

5. Глобальні амбіції щодо відновлення лісового ландшафту можуть бути підірвані проєктами, які ігнорують ключові принципи – залучення місцевих громад до прийняття і впровадження рішень, справедливий розподіл вигод і моніторинг для адаптивного управління. У такому разі існує ризик подальшої деградації, розчарування місцевих зацікавлених сторін і, зрештою, провалу проєкту. Інші проєкти стикаються з технічними проблемами, пов'язаними із садінням дерев та створенням регіональних розсадників.

З урахуванням наведеного вище рекомендуємо:

1. Інтегрувати FLR у регіональні плани відновлення після війни та стратегію розвитку громад (ОТГ).

2. Створити національну систему моніторингу FLR на основі супутникових даних і польових перевірок з відкритим доступом до результатів.

3. Створити регіональні хаби FLR на базі університетів і наукових установ для надання науково-методичної підтримки, експертизи та освіти. Організувати програми навчання та інформування для громад, ВПО та ветеранів щодо участі у FLR.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Aide, T.M., Grau, H.R., Graesser, J., Andrade-Núñez, M.J., Araoz, E., Barros, A.P., ... Zimmerer, K.S. (2019). Woody vegetation dynamics in the tropical and subtropical Andes from 2001 to 2014: Satellite image interpretation and expert validation. *Global Change Biology*, 25(6), 2112-2126. <https://doi.org/10.1111/gcb.14618>
- Alexander, S., Nelson, C.R., Aronson, J., Lamb, D., Cliquet, A., Erwin, K.L., ... & Murcia, C. (2011). Opportunities and Challenges for Ecological Restoration within REDD+. *Restoration Ecology*, 19(6), 683-689. <https://doi.org/10.1111/j.1526-100X.2011.00822.x>
- Almeida, C.A., De Coutinho, A.C., Esquerdo, J.C. D.M., Adami, M., Venturieri, A., Diniz, C.G., ... Gomes, A.R. (2016). High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, 46(3), 291-302. <https://doi.org/10.1590/1809-4392201505504>
- Alvarez-Berrios, N., Redo, D., Aide, T., Clark, M., & Grau, R. (2013). Land Change in the Greater Antilles between 2001 and 2010. *Land*, 2(2), 81-107. <https://doi.org/10.3390/land2020081>
- Bebi, P., Seidl, R., Motta, R., Fuhr, M., Firm, D., Krumm, F., ... Kulakowski, D. (2017). Changes of forest cover and disturbance regimes in the mountain forests of the Alps. *Forest Ecology and Management*, 388, 43-56. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.028>
- Bhattacharjee, A. (2020). Forest Landscape Restoration as a NbS Strategy for Achieving Bonn Challenge Pledge: Lessons from India's Restoration Efforts. In: Dhyani, S., Gupta, A., Karki, M. (Eds) *Nature-based Solutions for Resilient Ecosystems and Societies. Disaster Resilience and Green Growth*. Springer, Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-15-4712-6_8
- Bicudo da Silva, R.F., Batistella, M., Moran, E.F., & Lu, D. (2017). Land Changes Fostering Atlantic Forest Transition in Brazil: Evidence from the Paraíba Valley. *The Professional Geographer*, 69(1), 80-93. <https://doi.org/10.1080/00330124.2016.1178151>
- Bonn Challenge (2025). The Bonn Challenge. Retrieved from <https://www.bonnchallenge.org> [Accessed 11 Jun 2025]
- Boyer-Rechlin, B. (2010). Women in forestry: A study of Kenya's Green Belt Movement and Nepal's Community Forestry Program. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 25(9), 69-72. <https://doi.org/10.1080/02827581.2010.506768>
- Broadhurst, L., & Coates, D. (2017). Plant conservation in Australia: Current directions and future challenges. *Plant Diversity*, 39(6), 348-356. <https://doi.org/10.1016/j.pld.2017.09.005>
- Cabinet of Ministers of Ukraine (2020). *On Approval of the Rules for Maintenance and Preservation of Shelterbelts Located on Agricultural Lands*. Resolution No. 650 dated July 22, 2020. Official Bulletin of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/650-2020-%D0%BF#Text> [Кабінет Міністрів України (2020). *Про затвердження Правил утримання та збереження полезахисних лісових смуг, розташованих на землях сільськогосподарського призначення*. Постанова від 22 липня 2020 р., № 650. Офіційний вісник України] (in Ukrainian)

- Cabinet of Ministers of Ukraine (2017). *On approval of the National Waste Management Strategy in Ukraine until 2030*. Order No. 820-r dated November 8, 2017. Official Gazette of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/820-2017-%D1%80#Text> [Кабінет Міністрів України (2017). Про схвалення Національної стратегії управління відходами в Україні до 2030 року. Розпорядження від 8 листопада 2017 р. № 820-р. Офіційний вісник України] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine (2021). *On Approval of the Strategy for Environmental Security and Climate Change Adaptation until 2030*. Directive No. 1363-p dated October 20, 2021. Official Bulletin of Ukraine. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1363-2021-%D1%80#Text> [Кабінет Міністрів України (2021). Про схвалення Стратегії екологічної безпеки та адаптації до зміни клімату до 2030 року. Розпорядження від 20 жовтня 2021 р., № 1363-р. Офіційний вісник України] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine (2021). *On Approval of the Strategy for Forest Management in Ukraine until 2035*. Directive No. 1777-p dated December 29, 2021. Official Bulletin of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#Text> [Кабінет Міністрів України (2021). Про схвалення Стратегії управління лісами України до 2035 року. Розпорядження від 29 грудня 2021 р., № 1777-р. Офіційний вісник України] (in Ukrainian)
- Calaboni, A., Tambosi, L.R., Igari, A.T., Farinacci, J.S., Metzger, J.P., & Uriarte, M. (2018). The forest transition in São Paulo, Brazil: historical patterns and potential drivers. *Ecology and Society*, 23(4), art7. <https://doi.org/10.5751/ES-10270-230407>
- Calvo-Alvarado, J., McLennan, B., Sanchez-Azofeifa, A., & Garvin, T. (2009). Deforestation and forest restoration in Guanacaste, Costa Rica: Putting conservation policies in context. *Forest Ecology and Management*, 258(6), 931-940. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2008.10.035>
- Chazdon, R.L., Lindenmayer, D., Guariguata, M.R., Crouzeilles, R., Rey Benayas, J.M., & Lazos Chave-ro, E. (2020). Fostering natural forest regeneration on former agricultural land through economic and policy interventions. *Environmental Research Letters*, 15(4), 043002. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/ab79e6>
- Cochard, R., Ngo, D.T., Waeber, P.O., & Kull, C.A. (2017). Extent and causes of forest cover changes in Vietnam's provinces 1993-2013: a review and analysis of official data. *Environmental Reviews*, 25(2), 199-217. <https://doi.org/10.1139/er-2016-0050>
- Costantini, E.A.C., & Lorenzetti, R. (2013). Soil degradation processes in the Italian agricultural and forest ecosystems. *Italian Journal of Agronomy*, 8(4), 28. <https://doi.org/10.4081/ija.2013.e28>
- Crouzeilles, R., Beyer, H.L., Monteiro, L.M., Feltran-Barbieri, R., Pessôa, A.C.M., Barros, F.S.M., ... Strassburg, B.B.N. (2020). Achieving cost-effective landscape-scale forest restoration through targeted natural regeneration. *Conservation Letters*, 13(3). <https://doi.org/10.1111/conl.12709>
- da Cruz, D.C., Benayas, J.M.R., Ferreira, G.C., Santos, S.R., & Schwartz, G. (2021). An overview of forest loss and restoration in the Brazilian Amazon. *New Forests*, 52, 1-16. <https://doi.org/10.1007/s11056-020-09777-3>
- den Herder, M., Moreno, G., Mosquera-Losada, R.M., Palma, J.H.N., Sidiropoulou, A., Santiago Freijanes, J.J., ... Burgess, P.J. (2017). Current extent and stratification of agroforestry in the European Union. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 241, 121-132. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2017.03.005>
- Dulal, H.B., Shah, K.U., & Sapkota, C. (2012). Reducing emissions from deforestation and forest degradation (REDD) projects: lessons for future policy design and implementation. *International Journal of Sustainable Development & World Ecology*, 19(2), 116-129. <https://doi.org/10.1080/13504509.2012.654410>
- Edwards, D.P., Fisher, B., & Boyd, E. (2010). Protecting degraded rainforests: enhancement of forest carbon stocks under REDD+. *Conservation Letters*, 3(5), 313-316. <https://doi.org/10.1111/j.1755-263X.2010.00143.x>
- Ethiopia – Sustainable Land Management Project (2008) Washington, DC: World Bank. <http://documents.worldbank.org/curated/en/234841468256201143>
- European Commission (n.d.). European Green Deal. [online] Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- FAO (n.d.). Food and Agriculture Organization of the United Nations. [online] Retrieved from <https://www.fao.org>
- FAO/RECOFTC (2016). Forest landscape restoration in Asia-Pacific forests, by Appanah, S. (ed.). Bangkok: Thailand. <https://www.fao.org/3/a-i5412e.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations, FAO (2024). *Delivering tree genetic resources in forest and landscape restoration*. Rome: FAO <https://doi.org/10.4060/cc8955en>
- Forest Europe (2015). State of Europe's Forests 2015: Ministerial Conference on the Protection of Forests in Europe, Madrid, Spain. Madrid: Forest Europe Liaison Unit. Retrieved from: https://foresteurope.org/wp-content/uploads/2022/02/soef_21_12_2015.pdf
- Gardner, R. (2009). Trees as technology: planting shelterbelts on the Great Plains. *History and Technology*, 25(4), 325-341. <https://doi.org/10.1080/07341510903313014>
- Garrett, L., Lévyte, H., Besacier, C., Alekseeva, N. & Duchelle, M. (2022). *The key role of forest and landscape restoration in climate action*. Rome, FAO. <https://doi.org/10.4060/cc2510en>

- Geddes, L.S., Lunt, I.D., Smallbone, L.T., & Morgan, J.W. (2011). Old field colonization by native trees and shrubs following land use change: Could this be Victoria's largest example of landscape recovery? *Ecological Management & Restoration*, 12(1), 31-36. <https://doi.org/10.1111/j.1442-8903.2011.00570.x>
- GEF (n.d.). *Global Environment Facility*. [online] Retrieved from <https://www.thegef.org> [Accessed 11 Jun 2025]
- Goetz, S.J., Hansen, M., Houghton, R.A., Walker, W., Laporte, N., & Busch, J. (2015). Measurement and monitoring needs, capabilities and potential for addressing reduced emissions from deforestation and forest degradation under REDD+. *Environmental Research Letters*, 10(12), 123001. <https://doi.org/10.1088/1748-9326/10/12/123001>
- Harada, K., Prabowo, D., Aliadi, A., Ichihara, J., & Ma, H.-O. (2015). How Can Social Safeguards of REDD+ Function Effectively Conserve Forests and Improve Local Livelihoods? A Case from Meru Betiri National Park, East Java, Indonesia. *Land*, 4(1), 119-139. <https://doi.org/10.3390/land4010119>
- Höhl, M., Ahimbisibwe, V., Stanturf, J.A., Elsasser, P., Kleine, M., & Bolte, A. (2020). Forest Landscape Restoration—What Generates Failure and Success? *Forests*, 11(9), 938. <https://doi.org/10.3390/f11090938>
- Initiative 20 × 20. Restoration Projects. Retrieved from <https://initiative20x20.org/restoration-projects>
- Jakovac, C.C., Bongers, F., Kuyper, T.W., Mesquita, R.C.G., & Peña-Claros, M. (2016). Land use as a filter for species composition in Amazonian secondary forests. *Journal of Vegetation Science*, 27(6), 1104-1116. <https://doi.org/10.1111/jvs.12457>
- Kuemmerle, T., Olofsson, P., Chaskovskyy, O., Baumann, M., Ostapowicz, K., Woodcock, C.E., Radeloff, V.C. (2011). Post-Soviet farmland abandonment, forest recovery, and carbon sequestration in western Ukraine. *Global Change Biology*, 17(3), 1335-1349. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2010.02333.x>
- Lembani, R.L., Knight, J., & Adam, E. (2019). Use of Landsat multi-temporal imagery to assess secondary growth Miombo woodlands in Luanshya, Zambia. *Southern Forests. A Journal of Forest Science*, 81(2), 129-140. <https://doi.org/10.2989/20702620.2018.1520026>
- LIFE Programme (2025). LIFE – Programme for Environment and Climate Action. European Climate, Infrastructure and Environment Executive Agency (CINEA). Available at: https://cinea.ec.europa.eu/programmes/life_en [Accessed 11 Jun 2025]
- MacLagan Gorrie, R. (1935). The great plains shelterbelt project. *Empire Forestry Journal*, 14(1), 37-42. <http://www.jstor.org/stable/42596338>
- Mbow, C. (2017). *The Great Green Wall in the Sahel*. Oxford Research Encyclopedia of Climate Science. Retrieved from <https://oxfordre.com/climatescience/view/10.1093/acrefore/9780190228620.001.0001/acrefore-9780190228620-e-559>.
- Ministry of Foreign Affairs of Ukraine. (2023). *Organisation for Economic Cooperation and Development* (OECD). Retrieved from <https://mfa.gov.ua/mizhnarodni-vidnosini/organizaciya-ekonomichnogo-spirovbitnictva-ta-rozvitku> [Міністерство закордонних справ України. (2023). *Організація економічного співробітництва та розвитку*. Офіційний вебсайт МЗС України] (in Ukrainian)
- Nanni, A.S., Sloan, S., Aide, T.M., Graesser, J., Edwards, D., & Grau, H.R. (2019). The neotropical reforestation hotspots: A biophysical and socioeconomic typology of contemporary forest expansion. *Global Environmental Change*, 54, 148-159. <https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2018.12.001>
- Paudyal, K., Baral, H., Putzel, L., Bhandari, S., & Keenan, R.J. (2017). Change in land use and ecosystem services delivery from community-based forest landscape restoration in the Phewa Lake watershed, Nepal. *International Forestry Review*, 19(4), 88-101. <https://doi.org/10.1505/146554817822330524>
- Plan Vivo. (n.d.). Plan Vivo Standard. [online] Retrieved from <https://www.planvivo.org>
- Potapov, P.V., Turubanova, S.A., Tyukavina, A., Krylov, A.M., McCarty, J.L., Radeloff, V.C., & Hansen, M.C. (2015). Eastern Europe's forest cover dynamics from 1985 to 2012 quantified from the full Landsat archive. *Remote Sensing of Environment*, 159, 28-43. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.027>
- San Roman Sanz, A., Fernandez, C., Mouillot, F., Ferrat, L., Istria, D., & Pasqualini, V. (2013). Long-Term Forest Dynamics and Land-Use Abandonment in the Mediterranean Mountains, Corsica, France. *Ecology and Society*, 18(2), art38. <https://doi.org/10.5751/ES-05556-180238>
- Sato, C.F., Wood, J.T., Stein, J.A., Crane, M., Okada, S., Michael, D.R., Lindenmayer, D.B. (2016). Natural tree regeneration in agricultural landscapes: The implications of intensification. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 230, 98-104. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2016.05.036>
- Sileshi, G.W., Dagar, J.C., Kuyah, S., & Datta, A. (2023). The Great Green Wall Initiatives and Opportunities for Integration of Dryland Agroforestry to Mitigate Desertification. In: Dagar, J.C., Gupta, S.R., Sileshi, G.W. (eds) *Agroforestry for Sustainable Intensification of Agriculture in Asia and Africa*. Sustainability Sciences in Asia and Africa. Singapore: Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-19-4602-8_6
- Simmons, B.A., Archibald, C.L., Wilson, K.A., Dean, A.J. (2020). Program Awareness, Social Capital, and Perceptions of Trees Influence Participation in Private Land Conservation Programs in Queensland, Australia. *Environmental Management*, 66, 289-304. <https://doi.org/10.1007/s00267-020-01321-5>
- Smale, M., Tappan, G., & Reij, C. (2018). Chapter 1. Farmer-managed restoration of agroforestry parklands in Niger. In *Fostering transforma-*

- tion and growth in Niger's agricultural sector (pp. 19-34). Brill Wageningen Academic. https://doi.org/10.3920/978-90-8686-873-5_1
- Song, X.P., Hansen, M.C., Stehman, S.V., Potapov, P.V., Tyukavina, A., Vermote, E.F., & Townshend, J.R. (2018). Global land change from 1982 to 2016. *Nature*, 560, 639-643. <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0411-9> (Добавив публікацію).
- Stanturf, J.A., Kleine, M., Mansourian, S., Parrotta, J., Madsen, P., Kant, P., Burns, J., & Bolte, A. (2019). Implementing forest landscape restoration under the Bonn Challenge: a systematic approach. *Annals of Forest Science*, 76(2), 50. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0833-z>
- Turner, M.D., Davis, D.K., Yeh, E.T., Hiernaux, P., Loizeaux, E.R., Fornof, E.M., ... Suiter, A.K. (2023). Great Green Walls: Hype, Myth, and Science. *Annual Review of Environment and Resources*, 48(1), 263-287. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-112321-111102>
- Verkhovna Rada of Ukraine (2023). *On the procedure for resolving certain issues of the administrative-territorial structure of Ukraine*. Law No. 3285-IX of 2023. Information from the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3285-20#Text> [Верховна Рада України. Про порядок вирішення окремих питань адміністративно-територіального устрою України: Закон 2023 р. № 3285-IX. Відомості Верховної Ради України] (in Ukrainian)
- Verkhovna Rada of Ukraine (1991). *Law of Ukraine "On Environmental Protection"*. Law No. 1264-XII, 1991. Official Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1264-12#Text> [Верховна Рада України. Закон України про охорону навколишнього природного середовища: Закон 1991 р. № 1264-XII. Відомості Верховної Ради України] (in Ukrainian)
- Verkhovna Rada of Ukraine (2018). *Law of Ukraine "On Strategic Environmental Assessment"*. Law No. 2354-VIII, 2018. Official Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2354-19#Text> [Верховна Рада України (2018). Закон України про стратегічну екологічну оцінку: Закон від 20 березня 2018 р. № 2354-VIII. Відомості Верховної Ради України] (in Ukrainian)
- Verkhovna Rada of Ukraine (2002). *Land Code of Ukraine*. Law No. 2768-III dated October 25, 2002. Official Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2768-14#n299> [Верховна Рада України (2002). Земельний кодекс України: Закон від 25 жовтня 2002 р. № 2768-III. Відомості Верховної Ради України] (in Ukrainian)
- Verkhovna Rada of Ukraine (1994). *Forest Code of Ukraine*. Law No. 3853-XII dated January 21, 1994. Official Bulletin of the Verkhovna Rada of Ukraine. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#n29> [Верховна Рада України. Лісовий кодекс України: Закон від 21 січня 1994 р. № 3853-XII. Відомості Верховної Ради України] (in Ukrainian)
- Verra (n.d.). Verified Carbon Standard. [online] Available at: <https://verra.org>
- Wang, C., Yu, M., & Gao, Q. (2017). Continued Reforestation and Urban Expansion in the New Century of a Tropical Island in the Caribbean. *Remote Sensing*, 9(7), 731. <https://doi.org/10.3390/rs9070731>
- World Resources Institute (n.d.). *Initiative 20 × 20*. Retrieved from <https://www.wri.org/initiatives/initiative-20x20>
- Zhu, J.J., Zheng, X., Wang, G.G., Wu, B.F., Liu, S.R., Yan, C.Z., ... Ellison, A.M. (2017). Assessment of the World Largest Afforestation Program: Success, Failure, and Future Directions. *bioRxiv* <https://doi.org/10.1101/105619>

International experience of ecological renaturalization of devastated territories using forestry methods

R. Yaroshchuk¹, V. Lavnyy², S. Yaroshchuk³

The article analyzes the international experience of Forest Landscape Restoration (FLR) as a response to large-scale ecosystem degradation, with a focus on nature-based forestry approaches implemented in Southeast and East Asia, as well as in the European Union. A comparative-analytical approach was used to synthesize FLR policies and practices in 11 countries – China, Vietnam, Myanmar, Nepal, Indonesia, the Philippines, Thailand, Germany, France, Italy, and Spain – based on criteria such as legal frameworks, climatic conditions, stakeholder engagement, and economic incentives.

It was found that forest and land degradation affects nearly 2 billion hectares of the Earth's surface and poses a threat to livelihoods, well-being, and

¹ Roman Yaroshchuk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Doctoral Candidate. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: jaroschukr@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2591-5592>

² Vasyly Lavnyy – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the FAS of Ukraine, Doctor of Agricultural sciences, Vice Rector for Research. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

³ Svitlana Yaroshchuk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor. Sumy National Agrarian University, 160 Herasym Kondratiev st., Sumy, 40000, Ukraine. E-mail: s.yaroshchuk@snau.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6125-1979>

food, water, and energy security for approximately 3.2 billion people. As of 2023, China had restored over 70 million hectares, Vietnam – 5.3 million hectares, and Nepal – 1.8 million hectares – primarily due to land tenure reforms and community-based forest management.

In the EU, under the Bonn Challenge and the Biodiversity Strategy for 2030, at least 30 million hectares are targeted for restoration. In Germany, more than 1.3 million hectares have already been restored, with an emphasis on mixed forests and ecosystem-based management. Italy, according to its National Forest Strategy, has restored more than 800,000 hectares since 2000, focusing on reforestation of degraded rural lands, reducing fire risk, and preserving cultural landscapes. For example, agroforestry models are being implemented in Tuscany and Sicily to prevent erosion and strengthen rural resilience.

In Spain and France, Payments for Ecosystem Services (PES) platforms and subsidies under the Common Agricultural Policy (CAP) are active – providing up to €200 – 250/ha annually. The study shows that successful FLR models are based on the recognition of natural regeneration, decentralized governance, climate-adaptive forestry, and long-term community engagement.

As a result, a typology of FLR interventions was developed based on their effectiveness, social inclu-

siveness, and governance flexibility. The value of this study lies in its potential application to post-war ecological recovery in Ukraine, ensuring a socially just, adaptive, and climate-resilient approach to re-naturalization.

The war in Ukraine has inflicted significant damage on the country's ecosystems, especially in agricultural and forested regions. Ongoing shelling, movement of heavy equipment, and chemical contamination have seriously degraded soil quality. As a result, over 30% of agricultural land has suffered degradation due to physical damage and toxic pollution. Restoring these lands is a critical task for ensuring food security and ecological stability.

An analysis of Ukrainian legislation confirms the existence of regulatory prerequisites for the implementation of FLR (the Forest Management Strategy of Ukraine until 2035, the Environmental Security and Climate Change Adaptation Strategy until 2030, and legislation in the field of land and environmental protection). The research findings can be used to shape state policy on landscape restoration.

This study may serve as a basis for the development of pilot FLR projects in Ukraine with the involvement of communities and international donors.

Key words: land restoration; agroforestry; soil degradation; bioremediation; afforestation; environmental safety; FLR.

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІЮРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ ТА САДОВО-ПАРКОВЕ ГОСПОДАРСТВО



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412510>
Article received 2025.01.10
Article revised 2025.01.23
Article accepted 2025.05.30
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Andriy Bulat
bulatandrey1977@gmail.com
44 Alchevskyyh st., Kharkiv, 61002, Ukraine

УДК 582.091:630.1:635.9

Вплив інтенсивності руху транспорту в умовах урбанізованого середовища на посівні якості насіння *Catalpa bignonioides* (Walt.)

А. Г. Булат¹

У Харківській області в паркових зонах та алейних посадках все частіше висаджують катальпу бігнієподібну (*Catalpa bignonioides* Walt.). В Україні комплексних досліджень рослин катальпи майже не проводили, тому наразі широкий спектр питань щодо їхніх біологічних особливостей загалом та репродуктивної здатності зокрема в літературі висвітлено недостатньо.

У роботі досліджено, як умови урботехногенного середовища впливають на кількісні показники плодоношення *C. bignonioides* та якість насінного матеріалу, зокрема його схожість та енергію проростання.

У дерев, що ростуть уздовж автомагістралі, виявлено менші кількості плодів на модельній гілці – на 49,13%, кількість насінин у коробочці – на 28% та масу 1000 шт. насінин – на 20% порівняно з контролем.

Упродовж періоду досліджень на контрольній ділянці частка пророслого насіння сягала 97%, а схожість насіння, зібраного в умовах максимального рівня забруднення викидами автотранспорту (дослідна ділянка – «магістраль»), була меншою на 21%.

Найвищу ґрунтову схожість насіння відмічено у контрольному варіанті – 91%, а найменшу (65%) – з насіння моніторингової ділянки «магістраль».

В умовах транспортного навантаження енергія проростання насіння була меншою. Доведено, що забруднення автотранспортними викидами негативно впливає на якість насіння *C. bignonioides*. Встановлено, що під впливом забруднення автомобільними викидами знижуються схожість насіння та енергія проростання, що вказує на зменшення посівної придатності насінного матеріалу *C. bignonioides* в умовах урбанізованих екотопів.

Ключові слова: автомагістраль; вуличні насадження; глибина висіву; ґрунтова схожість; енергія проростання; інтродуцент; озеленення; плід; сім'ядолі.

¹ Булат Андрій Геннадійович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства. Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: bulatandrey1977@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9682-4220>

Вступ (Introduction).

У сучасних промислових містах суттєвими джерелами забруднення середовища є інгредієнти викидів автотранспорту. Важкі метали та інші токсичні речовини забруднюють атмосферне повітря, спричиняють порушення властивостей ґрунтів. Ці речовини, а також протиожеледні реагенти, що використовують у зимовий період, створюють несприятливі умови для росту і розвитку рослин у місті, негативно впливають на репродуктивну здатність рослин (Gostin, 2009; Stratu, Costica, N., & Costica, M., 2016, Buican Stanciu et al., 2021). Під час експлуатації автомобілів із двигунами внутрішнього згоряння до навколишнього середовища потрапляють відпрацьовані гази, які містять понад 1200 шкідливих сполук органічної та неорганічної природи (Приймак, 2009; Bell, Hounour, & Power, 2011). Оцінювання впливу викидів автотранспорту та інших антропогенних чинників на рослини в місті є актуальним у зв'язку з необхідністю розроблення практичних рекомендацій з підвищення стійкості рослин та збереження їхньої архітектурно-художньої та санітарно-гігієнічної цінності (Бессонова, Іванченко, 2019). У зв'язку із цим виникає необхідність моніторингу зелених насаджень, тобто періодичного контролю їхнього стану в специфічних умовах урбоценозу.

Одним із показників екологічної рівноваги екосистеми є успішне проходження процесів її самовідтворення. Отримання рослин із насіння місцевої репродукції – важлива умова стійкості дендрофітоценозів. Насінне розмноження деревних рослин відіграє провідну роль у збереженні генетичної гнучкості більшості видів у лісових угрупованнях (Грицай, Денисенко, 2011; Kim et al., 2022).

Успішність широкого використання інтродукованих рослин в озелененні населених місць значною мірою зумовлена їхньою здатністю до відтворення в умовах сильного антропогенного впливу. Для здійснення експансії в озеленення інтродукованих видів деревних рослин необхідне дотримання кількох умов: фізичне перенесення виду на нову територію, його всебічне пристосування до умов вторинного ареалу, висока інтенсивність плодоношення, здатність до насінного або вегетативного розмноження (Федоренко, Спрягайло, 2018).

У паркових зонах та алейних посадках Харківської обл. все частіше трапляється катальпа бігонієподібна (*Catalpa bignonioides* Walt). Широке використання в міському озелененні представників роду *Catalpa* Scop. зумовлене їхніми високими декоративними властивостями, особливо під час цвітіння. Загалом рід *Catalpa* представлений цінними декоративними рослинами, але донедавна він не входив до переліку рослин-інтродуцентів, які були б постійно у полі зору наукових досліджень в Україні. Водночас високий рівень декоративності представників цього роду, майже повна відсутність організмів, які б завдавали шкоди цій

рослині, висока стійкість до зміни клімату свідчать про доцільність використання представників роду *Catalpa* в озелененні міст у значно більших масштабах.

В Україні дослідження науковців присвячені здебільшого вивченню особливостей вегетативного розмноження катальпи (Кухарська, 2008; Кульбіцький, Шлапак, 2015), порівнянню морфометричних показників рослин *C. bignonioides* за різних умов урботехногенного навантаження (Леппик, Бессонова, 2008; Бессонова, Чонгова, 2023; Булат, 2024). Варто зазначити, що в науковій літературі наявна відносно незначна кількість досліджень, присвячених комплексному аналізу зміни посівних якостей насіння *C. bignonioides* під впливом інтенсивності транспортного руху в умовах південного Лівобережного Лісостепу України, зокрема у межах Харківської агломерації.

Успішне вирішення проблеми широкого впровадження в озеленення нових видів інтродукованих рослин неможливе без всебічного вивчення посівних якостей їх насіння, а також аналізу впливу забруднювачів промислового міста на процес утворення насіння. Тому експериментальні дослідження репродуктивної здатності *C. bignonioides* є актуальним завданням з погляду дендрології та потреб садово-паркового господарства, зважаючи на її інтродуковане походження (Південний Схід США). Не менш важливим аспектом є необхідність оцінювання адаптаційного потенціалу деревного виду до умов південного Лівобережного Лісостепу України, включаючи здатність витримувати прогнозовані подальші кліматичні зміни.

Мета досліджень – встановити зміни у посівних властивостях насіння *Catalpa bignonioides* під впливом автотранспортних викидів.

Об'єкти та методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – посівні якості насіння *Catalpa bignonioides* в умовах впливу на нього транспортних викидів різної інтенсивності. **Предмет досліджень** – залежність схожості, енергії проростання, маси насіння *Catalpa bignonioides* від рівня забруднення, зумовленого інтенсивністю руху автотранспорту в умовах урбанізованого середовища.

Для досягнення мети роботи визначено основне завдання дослідження – встановити посівні якості насіння дерев катальпи, сформованого в умовах різної інтенсивності руху транспорту на об'єктах м. Харкова.

Вуличні насадження, в яких представлена *C. bignonioides*, поділили на три групи залежно від рівня транспортного навантаження: 1 (контроль) – дендрологічний парк Державного біотехнологічного університету, рух транспорту відсутній; 2 (сквер) – сквер Фейєрбаха, бульвар Юр'єва – низька інтенсивність руху транспорту; 3 (магістраль) – дерева ростуть біля проїжджої частини

у безпосередній близькості від автомагістралей з інтенсивним рухом автомобілів (інтенсивність руху 1500-1900 авт./год) – вул. Академіка Павлова, пр. Архітектора Альошина. З метою нівелювання вікових відмінностей для дослідів відібрано дерева приблизно одного віку – 25-30 років. Загалом на трьох дослідних ділянках було обліковано 51 екземпляр.

Заготівлю насіння *C. bignonioides* для аналізу його посівних якостей здійснювали самостійно щосезонно впродовж 2022-2024 рр., що забезпечило репрезентативність вибірки. Плоди з насінням збирали у другій декаді жовтня методом обривання з гілок дерев. Для збору обирали гілки одного порядку галушення, розташовані у середній частині крони.

Визначали такі показники: *схожість* – основний показник посівної якості насіння деревних рослин, який характеризує здатність насіння проростати і давати нормально розвинені проростки у певних умовах за встановлений державним стандартом для кожної породи термін (DSTU 8558:2015); *енергію проростання* насіння – здатність насіння давати нормальні проростки за встановлений державним стандартом термін, що є коротшим, ніж для визначення схожості; *лабораторну (технічну) схожість* – відсоток насінин, що утворили нормальні проростки в оптимальних умовах вологості, температури й освітлення, визначений у межах встановленого терміну згідно з вимогами чинних державних стандартів (DSTU 8558:2015); *грунтову схожість* – показник проростання насіння в умовах ґрунтового середовища, що відображає його здатність до проростання за реальних або наближених до польових умов.

Вологість насіння катальпи, як елемента посівної якості, не регламентовано нормативно-правовими документами. У нашому досліді для визначення вологості насіння катальпи використовували електронний вологомір фірми «Crusher». Рівень вологості насіння *C. bignonioides* відзначено в межах 10,3-10,4%. Така незначна розбіжність у показниках вологості пояснюється однаковими умовами зберігання насіння. Заготовлене для висіву насіння зберігали у паперових пакетах за температури +20...+22°C.

Встановлення схожості насіння *C. bignonioides* здійснювали у лабораторних умовах методом пророщування за вимогами DSTU 8558:2015.

Під час визначення маси 1000 насінин та вологості дотримувались норм державного стандарту DSTU 5036:2008.

Насіння *C. bignonioides* не потребує стратифікації. Для стимулювання схожості та підвищення енергії проростання проводили намоочування насіння впродовж 24 год. у 0,5% розчині перманганату калію (KMnO₄). Дослід із пророщування насіння проводили за встановленими стандартами умовами. У кожен контейнер на фільтрувальний

папір висівали по 100 насінин кожного дослідного варіанта. Пророщування здійснювали в лабораторних умовах за температури +23...+25 °C. Спостереження за процесом проростання насіння розпочинали з третьої доби від початку дослідів. Тривалість пророщування становила 15 діб. Показник енергії проростання визначали на сьомий день дослідів, тоді як схожість насіння оцінювали на п'ятнадцяту добу.

Ґрунтову схожість визначали також у лабораторних умовах. Насіння катальпи пророщували у контейнері з нестерильним ґрунтом (субстрат на основі торфу із рН 7,0) за кімнатної температури і високої вологості повітря. Досліди проводили за триразовою повторюваністю. Сходи підраховували по мірі їхньої появи.

Глибина висіву насіння *C. bignonioides* має значний вплив на проростання і розвиток сходів. За результатами наших попередніх досліджень, серед усіх досліджуваних варіантів впливу глибини висіву на схожість насіння катальпи кращі результати було отримано у варіантах висіву на глибину 0,5-1,0 см (Булат, Ріяко, 2024).

Для визначення ґрунтової схожості насіння катальпи висівали у першій декаді лютого.

Результати (Results).

За результатами досліджень, в усіх дерев катальпи, що ростуть уздовж автомагістралі, кількість плодів на модельній гілці поступається контролю на 49,13% (табл. 1). Дещо менший рівень зниження цього показника зафіксовано на дослідній ділянці «сквер» – 29,88%. Статистичний аналіз отриманих результатів дає змогу констатувати, що зниження кількості плодів на модельній гілці було значущим на 95%-му рівні.

Встановлено зменшення довжини та ширини плодів у дерев на дослідних ділянках порівняно з контролем (див. табл. 1). Отримані усереднені результати довжини плодів становлять 78,8% від контрольних значень у сквері, та 72,01% у дерев, що росли вздовж автошляху (магістраль). На показник ширини плодів місцезростання рослин впливає менше – 89,33% від контрольних значень у сквері і 82,67% – вздовж автошляху. Достовірно перевищують контроль, як за шириною так і за довжиною плода, всі дослідні варіанти.

У рослин *C. bignonioides* встановлено зменшення кількості насінин у коробочці. У відносних величинах кількість насіння у плоді на ділянці з інтенсивним автомобільним рухом «магістраль» становить 71,1%, а на чистішій ділянці «сквер» – 78,32% до контрольних значень.

Встановлено, що найбільша маса 1000 шт. насінин притаманна деревам, які ростуть на території дендрологічного парку (контроль). У середньому показник маси 1000 насінин не перевищував 6,36 г. Середня маса насіння решти двох дослідних ділянок мала проміжні значення з невеликою різницею між варіантами.

Таблиця. 1. Характеристики плодів *Catalpa bignonioides* залежно від інтенсивності руху транспорту (середні значення за 2021-2024 рр.)Table. 1. Characteristics of *Catalpa bignonioides* fruits, depending on traffic intensity (mean values for 2021-2024)

Характеристики плодів	Контроль		Сквер		Магістраль		
	$M^{\pm m} *$	$M^{\pm m} *$	% **	t_f^{***}	$M^{\pm m} *$	% **	t_f^{***}
Кількість плодів на модельній гілці, шт.	62,2 $\pm$ 1,33	43,6 $\pm$ 0,74	70,12	6,89	32,8 $\pm$ 0,76	50,87	10,08
Довжина плода, см	38,2 $\pm$ 0,30	30,1 $\pm$ 0,68	78,75	6,17	27,5 $\pm$ 0,48	72,01	10,68
Ширина плода, см	0,7 $\pm$ 0,10	0,6 $\pm$ 0,01	89,33	3,19	0,6 $\pm$ 0,02	82,67	3,28
Маса плода, г	3,0 $\pm$ 0,03	2,4 $\pm$ 0,10	78,43	3,57	2,1 $\pm$ 0,06	70,59	7,57
Кількість насінин у плоді, шт.	102,4 $\pm$ 2,76	80,2 $\pm$ 3,61	78,32	2,76	72,8 $\pm$ 1,12	71,09	5,61
Маса 1000 насінин, г	6,3 $\pm$ 0,11	6,0 $\pm$ 0,04	94,34	1,74	5,1 $\pm$ 0,14	80,97	3,83

Примітка: * $M^{\pm m}$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; **% до контролю; *** t_f – t-критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,000$).

Найменшу середню масу насіння (5,15 г) мали дерева, що росли вздовж транспортної магістралі. Зменшення маси насіння відносно контрольного значення становить майже 20%. Отже, можна констатувати, що погіршення екологічних умов, які притаманні придорожньому насадженню, нега-

тивно впливає на показник маси насіння. Рослини, що росли в умовно чистій зоні міста, мали середні показники маси 1000 шт. насіння на рівні 6,0 г, що на 6% менше ніж контрольні значення. Відповідно до умов пророщування насіння визначали його лабораторну та ґрунтову схожість (рис. 1).



a)



b)

Рис. 1. Загальний вигляд експерименту з визначення ґрунтової (а) та лабораторної (б) схожості насіння *Catalpa bignonioides*Fig. 1. Experiment to estimate the germination of *Catalpa bignonioides* seeds: a) field germination, b) laboratory germination

Отримані впродовж 2022-2024 рр. результати схожості насіння *C. bignonioides* свідчать про тенденцію до зменшення значення схожості у міру збільшення інтенсивності руху транспорту. Так, частка пророслого насіння на контрольній ділянці становила 97%, тобто схожість насіння катальпи відповідає першому класу якості. Дещо нижче значення схожості насіння (92%) зафіксовано на моніторинговій ділянці «сквер» (табл. 2).

Лабораторна схожість насіння, зібраного з рослин, що росли в умовах максимальної інтенсивності руху автотранспорту (дослідна ділянка – магістраль), є найнижчою. Схожість насіння, порів-

няно з контролем, є нижчою на 21%. Отримані результати підтверджують вплив високого рівня забруднення довкілля викидами автотранспорту на генеративні процеси дослідних рослин.

Результати дослідження ґрунтової схожості насіння катальпи показали, що перші проростки в усіх варіантах дослідів почали з'являтися на поверхні ґрунтового субстрату на п'ятий день після висіву. Сім'ядолі у сходів – м'ясисті широкі, овальні. Спочатку сім'ядолі складені, з ґрунту з'являються сходи із залишком насінної шкірки. Впродовж одного-двох днів сім'ядолі розправляються. Довжина сім'ядоль змінюється від 1 до 2 см, ширина – від 1 до 1,15 см.

Таблиця. 2. Вплив автотранспортних викидів на показники лабораторної та ґрунтової схожості насіння *Catalpa bignonioides*, (%)

Table. 2. Influence of motor vehicle exhaust fumes on the indicators of laboratory and field germination of seeds *Catalpa bignonioides*, (%)

Варіанти дослідів	Дні обліку від початку дослідження					Енергія проростання за 7 днів, %	Частка пророслого насіння, %
	3	5	7	10	15		
Лабораторна схожість							
Контроль	42	21	26	3	5	89	97
Сквер	0	23	45	13	11	68	92
Магістраль	0	5	38	15	18	43	76
Ґрунтова схожість							
Контроль	0	10	52	24	5	62	91
Сквер	0	8	49	14	9	57	80
Магістраль	0	7	7	38	13	14	65

Потрібно зазначити, що значення ґрунтової схожості були на 6-12% нижчими ніж лабораторної, оскільки умови проростання у ґрунтовому субстраті є менш сприятливими.

Найвищу ґрунтову схожість насіння відзначено у контрольному варіанті – 91%. За рівнем ґрунтової схожості насіння, зібране з контрольної ділянки, відповідає першому класу якості.

Доволі високу ґрунтову схожість встановлено у насіння, зібраного на моніторинговій ділянці «сквер» – 80%. За рівнем схожості насіння, заготовлене на цій ділянці, відповідає другому класу якості.

Найменший показник ґрунтової схожості насіння було отримано на моніторинговій ділянці «магістраль». За значенням ґрунтової схожості у 65% насіння з цієї ділянки віднесено лише до третього класу якості.

За даними експерименту встановлено, що енергія проростання насіння залежить від його схожості. Проростання насіння у лабораторних умовах

розпочалося на 3-й день після закладки на пророщування, а енергія проростання на контролі є найвищою і становила 89%. Насіння дослідних ділянок «сквер» та «магістраль» почало проростати на два дні пізніше, що позначалося на величині енергії їх проростання (див. табл. 2).

Найвищу енергію проростання насіння в ґрунті (62%) встановлено на дослідній ділянці з мінімальною інтенсивністю руху транспорту. У міру збільшення транспортного навантаження показник енергії проростання помітно знижується і становить 57% для насіння, зібраного у сквері, та 14% – для насіння, зібраного з дерев, що ростуть вздовж автомагістралі.

Дискусія (Discussion).

Проведені дослідження дали змогу детально вивчити вплив автотранспортних викидів на посівні властивості насіння *C. bignonioides*, що є важливим аспектом у відборі об'єктів для заготівлі насіння з метою вирощування якісного садивного матеріалу деревного виду. Висока енергія проростання

властива здоровому насінню. Швидке й дружне проростання насіння свідчить про те, що проростки будуть міцними і стійкими до несприятливих умов навколишнього середовища.

Цікавими для порівняння є результати досліджень інших авторів у цьому напрямі. Так, М.В. Леппик (2008) досліджував зниження інтенсивності плодоношення та зменшення кількості насіння в плодах *C. bignonioides* в умовах забруднення довкілля промисловими викидами. За результатами досліджень, забруднення довкілля викидами трубного заводу та автотранспорту суттєво впливає на плодоношення *C. bignonioides*, насамперед через зменшення кількості плодів на модельній гілці. Окрім того, забруднення автотранспортними та промисловими викидами негативно впливає на якість насіння катальпи. Несприятливий вплив забруднювачів на показники плодоношення та якість насіння помітніше проявляється у деревних рослин, які ростуть поблизу трубного підприємства. В екземплярів, що ростуть у придорожній зоні, ці показники помітно вищі. Отримані нами результати досліджень щодо впливу інтенсивності транспортних викидів на ці показники підтверджують зазначену тенденцію.

Загалом результати наших досліджень свідчать про високу здатність насіння *C. bignonioides* до проростання в лабораторних умовах, що узгоджується з результатами, наведеними у роботах інших дослідників (Sokolov, 2019). Проте варто відзначити суттєві відмінності у показниках енергії проростання та схожості насіння, зібраного в умовах різного рівня забруднення. Отримані нами результати корелюють із даними досліджень інших авторів (Kurbanliyazov et al., 2021; Dimitrova et al., 2023), які також вказують на наявність негативної тенденції в показниках схожості насіння у зв'язку із впливом негативних чинників довкілля. Найімовірнішим чинником такого впливу можна вважати стресові умови, характерні для міського середовища.

Беручи до уваги результати досліджень авторів (Pošta, Rózsa, & Gocan, 2021; Aitymov, 2024), можна припустити, що відмінності у показниках схожості та енергії проростання насіння катальпи частково можливо нівелювати шляхом стимулювання його проростання за допомогою різних методів передпосівної підготовки насінного матеріалу, а, саме, застосуванням стратифікації, скарифікації, а також використанням різних біопрепаратів.

У варіанті досліду з посівом насіння в ґрунт прослідковується чітка тенденція до зниження показників енергії проростання та схожості, порівняно з показниками технічної схожості насіння. Основні причини цього явища полягають у такому: а) впродовж двох-трьох діб первинний корінець закріплюється у ґрунті, поглинаючи воду та мінеральні речовини, тому перші сходи з'являються тільки на п'яту добу; б) у ґрунтових умовах від-

бувається значна пролонгація появи сходів, за якої значна кількість сходів з'являється на поверхні ґрунту на 10-ий день досліду (Sokolov, 2019).

У сучасній науковій літературі високу генеративну здатність *C. bignonioides* більшість дослідників розглядає як одну із ключових ознак, що визначає її перспективність для широкого впровадження в озеленення урбанізованих територій. У контексті практичного застосування цей деревний вид становить інтерес, насамперед, як декоративний з регулярним щорічним цвітінням, високою життєздатністю та задовільною адаптивністю до стресових чинників міського середовища (Szabo, Toke, & Gergely, 2025).

Незважаючи на зазначені переваги, *C. bignonioides* залишається відносно слабо поширеним деревним видом у зеленому будівництві, що, на нашу думку, зумовлено низьким рівнем його популяризації, а також відсутністю налагодженого виробництва якісного садивного матеріалу на місцевому рівні. Подолання цих обмежень може сприяти активнішому використанню катальпи у формуванні стійких та естетично привабливих насаджень у межах урбанізованих територій.

Висновки (Conclusions).

1. Встановлено, що в умовах м. Харкова *C. bignonioides* характеризується регулярним формуванням плодів та насіння.
2. Серед досліджених варіантів кількість плодів, їхня маса і довжина є найбільшими на ділянці з відсутністю руху транспорту. Результати статистичного аналізу підтвердили достовірність виявлених відмінностей за зазначеними ознаками на рівні значущості 95 % ($p < 0,05$).
3. Аналіз результатів дослідження не виявив статистично значущих відмінностей у показнику маси 1000 насінин.
4. Забруднення автотранспортними викидами негативно впливає на якість насіння катальпи. У найбільш забрудненій зоні схожість насіння була найнижчою – на 21 % порівняно з контрольним варіантом.
5. У міру зростання інтенсивності автотранспортного руху спостережено істотне зниження показника ґрунтової схожості насіння.
6. Насіння з контрольного варіанту відповідає першому, а на ділянці з максимальною інтенсивністю руху транспорту – лише третьому класу якості.
7. Для забезпечення нормативного виходу сіянців *C. bignonioides* з одиниці площі рекомендуємо звертати увагу на походження насінного матеріалу. У разі використання насіння, заготовленого з дерев, що ростуть у місцях з високим рівнем урботехногенного навантаження, норму його висіву потрібно збільшити на 40-50%.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Aitymov, A.K. (2024). Application of some physical seed treatment methods to increase germination of the genus *Catalpa* Scop. *Bulletin of the Karaganda University. Biology medicine geography Series*, 11429(2), 14-20. <https://doi.org/10.31489/2024BMG2/14-20>
- Bell, J.N., Honour, S.L., & Power, S.A. (2011). Effect of vehicle exhaust fumes on urban wild plant species. *Environmental Pollution*, 159(1), 1984-1990. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.006>
- Bessonova, V., & Chonhova, A. (2023). Morphometric indicators of woody plants used for indicating of environmental pollution. *Ecological Sciences: scientific and practical Journal*, 1(46), 102-108. <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.1-46.18> [Бессонова, В.П., Чонгова, А.С. (2023). Морфометричні показники деревних рослин в індикації забруднення довкілля. *Екологічні науки: науково-практичний журнал*, 1(46), 102-108] (in Ukrainian)
- Bessonova, V.P., & Ivanchenko, O.E. (2019). Assessment of species variety and vital status of roadside plantings of *S. Nigoyan* ave. in the city of Dnipro. *Problems of bioindications and ecology*, 24(1), 36-56. <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2019-24/1-03> [Бессонова, В.П., Іванченко, О.Є. (2019). Оцінка видового різноманіття та життєвого стану придорожніх насаджень пр. С. Нігояна м. Дніпро. *Питання біоіндикації та екології*, 24(1), 36-56] (in Ukrainian)
- Buican Stanciu, A., Ionescu, M., & Cosmulescu, S.N. (2021). The influence of urban conditions on the phenology of some ornamental species. *Biharean Biologist*, 15(2), 75-79. Retrieved from https://bio-zoojournals.ro/bihbiol/cont/v15n2/bb_e211101_Cosmulescu.pdf
- Bulat, A.G. (2024). Comparison of morphometric parameters of *Catalpa bignonioides* Walt. plants under different conditions of urbogenic load. *Journal of Uman National University of Horticulture*, 105, (part. 1), 73-83. <https://doi.org/10.32782/2415-8240-2024-105-1-73-83> [Булат, А.Г. (2024). Порівняння морфометричних показників рослин *Catalpa bignonioides* Walt. за різних умов урбогенного навантаження. *Збірник наукових праць Уманського НУС*, 105 (ч. 1), 73-83] (in Ukrainian)
- Bulat, A.G., & Riyako, N.G. (2024). Features of seed reproduction *Catalpa bignonioides* Walt. *Forestry education and science: state, problems and prospects of development: a collection of scientific works of the VI-th International Scientific and Practical Internet Conference, Lomzha-Malin, 21.03.2024, Part. 1*, 78-85. Retrieved from <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/55338> [Булат, А.Г., Ріяко, Н.Г. (2024). Особливості насінного розмноження *Catalpa bignonioides* Walt. *Лісівнича освіта і наука: стан, проблеми та перспективи розвитку: збірник наукових праць VI Міжнародної науково-практичної інтернет-конференції, Ломжа–Малин, 21.03.2024, Частина 1*. 78-85] (in Ukrainian)
- Dimitrova, A., Brndevska Stipanović, V., & Kolvevska, D.D., (2023). Collection of experiences: 25 years' work on seed propagation of allochthonous woody plants in Skopje and their possible role in the urban landscape. *South-east European Forestry*, 14(1), 53-67. <https://doi.org/10.15177/seefor.23-09>
- DSTU 5036:2008. (2009). Seeds of trees and shrubs. Methods for sampling, determination of purity, weight of 1,000 seeds, and moisture content. Kyiv: Derzhstandart (State Standard) of Ukraine. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=91681 [ДСТУ 5036:2008, (2009). Насіння дерев та кущів. Методи відбирання проб, визначання чистоти, маси 1000 насінин та вологості. Київ: Держспоживстандарт України, 46 с.] (in Ukrainian)
- DSTU 8558:2015 Seeds of trees and shrubs. Methods for seed testing (germination, viability, benign) Edition is official. Kyiv: State standard of Ukraine 87. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=71707 [ДСТУ 8558:2015 (2017). Насіння дерев і кущів. Методи визначення посівних якостей (схожості, життєздатності, доброякісності). Київ: Держспоживстандарт України. 87 с.] (in Ukrainian)
- Fedorenko, M., & Spriahailo, O. (2018). Invasive potential of introduced woody plants in the Kamianka district of Cherkassy region. *The problems of ecology and evolution of ecosystems in transformed environment: the 2nd International theoretical and practical conference*. Chernihiv. 273-277. Retrieved from https://www.ieenas.org/site/assets/files/3734/the_problems_of_ecology_and_evolution_of_ecosystems.pdf [Федоренко, М.С., Спрягайло, О.В. (2018). Інвазійний потенціал інтродукованих деревних рослин у Кам'янському районі Черкаської області. *Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища: збірник матеріалів наук. праць II Міжнародної наук.-практ. конф., Чернігів, 273-277*] (in Ukrainian)
- Gostin, I.N. (2009). Air Pollution Effects on the Leaf Structure of some *Fabaceae* Species. *Notulae Botanicae Horti Agrobotanici Cluj-Napoca*, 37(2), 57-63. <https://doi.org/10.15835/nbha3723078>
- Gritzay, Z.V., & Denisenko, A.G. (2011). Seed production of woody plants in the conditions of environment pollution by metallurgical industry emissions. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 19(2), 40-44. <https://doi.org/10.15421/011124> [Грицай, З.В., Денисенко, О.Г. (2011). Насіннева продуктивність деревних рослин в умовах забруднення довкілля викидами металургійного підприємства. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*, 19(2), 40-44] (in Ukrainian)
- Kim, M., Lee, S., Lee, S., Yi, K., Kim, H.-S., Chung, S., Chung, J., Kim, H.S., & Yoon, T.K. (2022).

- Seed Dispersal models for natural regeneration: a review and prospects. *Forests*, 13, 659. <https://doi.org/10.3390/f13050659>
- Kuharska, M.O. (2008). Specific features of reproduction of representatives of the genus *Catalpa* Scop. green cuttings. *Scientific bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 18(12), 244-249. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_12/index.htm [Кухарська, М.О. (2008). Особливості розмноження представників роду *Catalpa* Scop. зеленими живцями. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18(12), 244-249] (in Ukrainian)
- Kulbitskiy, V.L., & Shlapak, V.P., (2015). The capacity of root formation of the wooden cuttings *Catalpa* Scop. under conditions of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *The Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(6), 58-64. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2015_25_6_12 [Кульбіцький, В.Л., Шлапак, В.П. (2015) Коренетворна здатність здерев'янілих живців видів роду *Catalpa* Scop. в умовах Правобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(6), 58-64] (in Ukrainian)
- Kurbanliyazov, B., Berdimuratov, G., Kholova, S.H., Safarov, A., & Safarov, K. (2021). Importance of catalpa groups in cultural city greening in the case of Uzbekistan. *In E3S Web of Conferences*, 258, 03026. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202125803026>
- Leppik, M.V. (2008). Characteristics of fruiting of *Catalpa bignonioides* under conditions of environmental pollution. *Visnyk of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 16(1), 141-146. <https://doi.org/10.15421/010824> [Леппик, М.В. (2008). Характеристики плодоношення рослин *Catalpa bignonioides* за умов забруднення навколишнього середовища. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*, 16(1), 141-146] (in Ukrainian)
- Leppik, M.V., & Bessonova, V.P. (2008). Growth and leaves damage of *Catalpa bignonioides* Walt. in the conditions of air pollution. *Plant introduction*, 38, 71-76. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3377803> [Леппик, М.В., Бессонова, В.П. (2008). Ріст пагонів та пошкодження листків *Catalpa bignonioides* Walt. в умовах техногенного навантаження. *Інтродукція рослин*, 38, 71-76] (in Ukrainian)
- Pošta, D.S., Rózsa, S., & Gocan, T.M. (2021). Studies on the stimulation of *Catalpa bignonioides* Walt. seed germination. *Current Trends in Natural Sciences*, 10(20), 172-178. <https://doi.org/10.47068/ctns.2021.v10i20.023>
- Pryimak, O.P. (2009). Influence of ingredients of motor transport exhaust fumes on the seed productivity of adornment flowering plants. *Bulletin of Dnipropetrovsk University. Biology. Ecology*, 17(1), 178-182. <https://doi.org/10.15421/010927> [Приймак, О.П. (2009). Вплив інгредієнтів автотранспортних викидів на насінневу продуктивність декоративних квітникових рослин. *Вісник Дніпропетровського університету. Біологія. Екологія*, 17(1), 178-182] (in Ukrainian)
- Sokolov, R. (2019). Comparative study on the growth and development of annual and biannual plants of species from genus *Catalpa* at the conditions of Sofia field. *Bulgarian Journal of Crop Science / Rasteniyevni Nauki*, 56(6), 63-68. <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/pdf/10.5555/20219904173>
- Stratu, A., Costica, N., & Costica, M. (2016). Woody species in the urban green areas and their role in improving the quality of the environment. *Present Environment and Sustainable Development*, 10(2), 173-184. <https://doi.org/10.1515/pesd-2016-0035>
- Szabo, K., Toke, E., & Gergely, A. (2025). Evaluating spherical trees in the urban environment in Budapest (Hungary). *Plants*, 14(2), 228. <https://doi.org/10.3390/plants14020228>

The influence of traffic intensity in urbanized environments on seed germination of *Catalpa bignonioides* (Walt.)

A. Bulat¹

In Kharkiv region, *Catalpa bignonioides* (Walt.) is increasingly found in park areas and alley plantings. In the conditions of the southern Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine, comprehensive studies of this species have been conducted extremely rarely. Therefore, a number of issues related to the assessment of its adaptive potential and reproductive capacity remain insufficiently covered in the scientific literature.

The aim of this study is to identify changes in the sowing qualities of *Catalpa bignonioides* seeds under urbanized environmental conditions influenced by motor vehicle pollution.

It was found that the number of fruits, their weight, and length were significantly higher in the area unaffected by vehicle traffic, that is, in the area that was the farthest away from the impact of transport exhaust fumes. Statistical analysis confirmed the reliability of the differences observed for these characteristics at a 95% confidence level ($p < 0.05$). Our results show that in all *Catalpa* trees growing along the highway, the number of fruits on a model branch was 49.13% lower compared to the control. A slightly smaller decrease (29.88%) was recorded in the urban park ("square") area. In *C. bignonioides* plants, a reduction in the number of seeds per capsule was also observed. In

¹ Andriy Bulat – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Forest Cultures, Melioration and Horticulture. State Biotechnological University, 44 Alchevskyh st., Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: bulatandrey1977@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9682-4220>

relative terms, the number of seeds per fruit at the site with intensive traffic (highway) was 71.09% of the control value, while at the cleaner site (square) it was 78.32% of the control.

Although statistical analysis did not reveal significant differences in the weight of 1000 seeds, there was a clear trend toward a decrease in this parameter under deteriorating environmental conditions, particularly in roadside plantings exposed to intense anthropogenic pressure.

Laboratory germination assessments for the period 2022-2024 revealed a consistent trend to decreasing seed germination rates as traffic intensity increased. During the study period, seed germination at the control site was 97%. Slightly lower but still high values (92%) were recorded in the “square” area. In contrast, laboratory germination of seeds collected from trees growing under maximum traffic load was 21% lower than in the control.

As for field germination, seeds from the control site met national standards (DSTU) and corresponded to quality class I (91%). In the “square” variant, this

indicator was 80%, while in the “highway” variant, it was only 65%, which corresponds to seed quality class III. These results confirm a significant decrease in seed quality as traffic intensity increases.

The highest seed germination energy in soil (62%) was recorded at the site with minimal traffic impact. As the transport load increased, this indicator dropped significantly – 57% for seeds collected in the park and only 14% for seeds from trees growing along the highway.

Thus, the results confirm the negative impact of motor vehicle pollution on the sowing qualities of *Catalpa bignonioides* seeds. In this regard, when growing planting material, it is advisable to consider the origin of the seed material. To ensure the normative seedling yield when using seeds collected from trees in areas with high levels of urban-technogenic stress, it is recommended to increase the sowing rate by at least 40-50%.

Key words: cotyledons; fruit; gardening; germination energy; highway; introduction; soil similarity; sowing depth, urban stands.



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412511>
Article received 2024.11.17
Article revised 2024.12.02
Article accepted 2025.05.12
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Hayda
haydshn@ua.fm
11 Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine

УДК 630.16:001.891(477)

Лісова селекція на основі індивідуального відбору в Україні: quo vadimus?

Ю.І. Гайда¹, С.А. Лось², Л.І. Терещенко³, Г.А. Шлончак⁴, В.В. Митроченко⁵

Представлено короткий опис історії розвитку лісової селекції в Україні, авторське бачення причин і наслідків аритмічного поступу в реалізації селекційних програм із лісовими деревними видами та зниження інтенсивності імплементації напрацювань лісової селекційної науки. Проаналізовано сильні та слабкі сторони схем розвитку лісового насінництва на основі клонових, родинних і родинно-клонових насінних плантацій, які запроваджують в Україні дотепер. Оцінено сучасний стан селекційно-насінницьких об'єктів лісових деревних видів в Україні. Встановлено, що серед цих об'єктів домінують клонові насінні плантації першого порядку (533,5 га сосни звичайної, 281,8 га дуба звичайного), тоді як клонових і родинних плантацій вищих порядків створено відносно небагато як за кількістю, так і за площею. Запропоновано узагальнену схему реалізації селекційно-насінницьких програм із видами лісових деревних рослин на основі індивідуального відбору, в яку інтегровано чинні схеми розвитку лісового насінництва та використано ідеї і підходи зарубіжних лісових генетиків та селекціонерів, зокрема принцип селекційного циклу. Акцентовано увагу на необхідності інтенсифікації оцінювання потомств плюсових дерев від вільного запилення та спрямованих схрещувань у випробних культурах та створенні плантацій другого і вищого поколінь, що дасть змогу суттєво підвищити генетичний рівень насінної бази основних лісотвірних видів деревних рослин. Подано пропозиції щодо коригування назв насінних плантацій лісових деревних видів з метою гармонізації зі світовими і європейськими тлумаченнями визначень і понять лісової селекції. Окреслено перелік та послідовність практичних кроків і заходів щодо подальшого розвитку лісової селекції та плантаційного насінництва в Україні.

Ключові слова: лісове насінництво; плюсове дерево; клонова насінна плантація; родинна насінна плантація; сібси; півсібси; селекційний цикл; селекційна програма; базова популяція; випробні культури; лісовий репродуктивний матеріал.

¹ Гайда Юрій Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Національний університет «Чернігівська політехніка», вул. Шевченка, 95, м. Чернігів, 14027, Україна; Західноукраїнський національний університет, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна. E-mail: haydshn@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6019-9654>

² Лось Світлана Анатоліївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: svitlana_los@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6341-2745>

³ Терещенко Лариса Іванівна – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: larisa_tereshchenko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5203-518X>

⁴ Шлончак Григорій Андрійович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. ДП «Клавдієвська ЛНДС» Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, вул. Вербна, 4, селище Клавдієво-Тарасове Бучанського району Київської області, 07850, Україна. E-mail: shlonchakga@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0980-9619>

⁵ Митроченко Валентина Володимирівна – науковий співробітник. ДП «Клавдієвська ЛНДС» Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, вул. Вербна, 4, селище Клавдієво-Тарасове Бучанського району Київської області, 07850, Україна. E-mail: dogma_klnds@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3772-5086>

Вступ (Introduction).

Лісова селекція в Україні має давню і багату історію. Першими селекційними об'єктами, які були створені на її території, вважають географічні культури сосни звичайної, дуба звичайного, модрина, закладені у 1912-1916 рр. В.Д. Огієвським у Собицькому лісництві на Сумщині (Огієвський, 1916; Терещенко, 2008), а також географічні культури дуба звичайного 1916 р. на території Маріупольської лісової дослідної станції (Патлай, Гайда, 1990). За більш ніж столітній період українські науковці (С.С. П'ятницький, П.І. Молотков, І.М. Патлай, Г.Т. Криницький, В.І. Білоус, Р.М. Яцик, Ю.І. Гайда, Г.А. Шлончак, В.О. Ільїн, С.А. Лось та ін.), реалізували низку успішних селекційних проектів і програм з багатьма лісовими деревними рослинами. При цьому використано різноманітні методи лісової селекції, зокрема штучний відбір, гібридизацію, штучний мутагенез (Ткач та ін., 2013). Найрезультативнішим виявився метод аналітичної селекції, що базується на індивідуальному відборі кращих фенотипів у природних і штучних популяціях лісових деревних видів, який активно почали використовувати в Україні наприкінці 50-х років минулого століття. Інтенсифікація і масштабування таких робіт для більшості основних лісотвірних деревних видів та лісорослинних зон України спостерігалися у 70-80-х роках, унаслідок чого була сформована достатньо розвинута постійна лісонасінна база (ПЛНБ) (Патлай та ін., 1994).

Економічні труднощі 90-х років негативно відобразилися на обсягах та ефективності селекційних програм з лісовими деревними видами. Наукові дослідження продовжувалися і продовжуються сьогодні, про що свідчить значна кількість розроблених відомчих нормативно-правових документів, які регламентують селекційно-насінницьку діяльність – настанов, рекомендацій, методик, методичних вказівок (Лось, 2017; Лось та ін., 2017, 2019a, 2019b, 2019c), однак практична імплементація їх суттєво знизилася.

На початку 2000-х років зацікавленість до лісової селекції з боку лісівників-практиків дещо відновилася, що відобразилося у затвердженні та реалізації двох документів – Галузевих програм розвитку лісонасінної справи на 2010-2015 та на 2016-2020 роки. Аналіз запланованих і реалізованих заходів у рамках цих програм показує, що, з одного боку, вони сприяли кількісному зростанню об'єктів ПЛНБ (Лось та ін., 2014, 2019a; Nayda et al., 2019), але з іншого – у них не були задіяні схеми і технології підвищення генетичного рівня насінної бази лісових деревних видів. Ці програми передбачали використання екстенсивних методів розширення ПЛНБ за рахунок відбору нових плюсових дерев без випробування їхніх потомств та створення переважно родинних насінних плантацій (РНП) і клонових насінних плантацій (КНП) першого порядку.

На сьогодні, в період кардинальних змін у системі управління галуззю, коли у новоствореному ДП «Ліси України» концентруються значні фінансові, матеріальні та організаційні ресурси, з'явилися можливості та перспективи для ефективного розвитку селекції і насінництва видів лісових дерев, зокрема створення і сталого використання селекційно-насінницьких об'єктів підвищеного генетичного рівня. Створення насінних плантацій лісових деревних видів другого та вищих поколінь нині є вкрай необхідним, оскільки, на нашу думку, однією з причин суттєвого зниження зацікавленості лісівників-практиків у продовженні селекційних програм із видами лісових деревних рослин були завищені очікування від реалізації перших етапів таких програм, які базувалися на оптимістичних прогнозах ефектів від використання насіння з насінних плантацій першого покоління. Передбачалося, що плантації першого порядку (першого покоління за міжнародною класифікацією) забезпечать підвищення продуктивності лісових культур на 10-15%, а плантації другого порядку (покоління 1,5 за міжнародною класифікацією) – на 20-30% (Молотков та ін., 1982). Водночас фактичні дані реалізації селекційних програм у провідних країнах у галузі лісової селекції свідчать, що очікуваний селекційний ефект (збільшення запасу стовбурової деревини) у разі використання насіння з нереконструйованих плантацій першого покоління (КНП першого порядку за українською класифікацією) може становити лише 8%, а з реконструйованих (другого порядку) – 13%. Наразі ефект від нереконструйованих плантацій другого покоління може становити вже 18%, а від реконструйованих – 30 % (White, Adams, & Neale, 2007; Eriksson, Ekberg, & Clapham, 2013).

Актуальність дослідження полягає в тому, що сучасні виклики, пов'язані зі змінами клімату, реформуванням лісової галузі України та євроінтеграційними процесами, зумовлюють необхідність підвищення ефективності селекційної діяльності та гармонізації вітчизняних підходів до лісового насінництва з європейськими стандартами. Сьогодні на часі є необхідність забезпечення генерування нового імпульсу розвитку лісової селекції в Україні, особливо в напрямі підвищення генетичного рівня таких об'єктів постійної лісонасінної бази, як лісонасінні плантації основних лісотвірних деревних видів. Крім того, нинішній процес гармонізації законодавства України з правом ЄС, зумовлений майбутнім її членством у цій організації, потребує узгодження термінів і понять, які використовують у лісовій селекції та насінництві. Тому важливим завданням на сьогодні є внесення певних змін до визначених раніше схем реалізації селекційних програм із видами лісових деревних рослин на основі методів аналітичної селекції та, відповідно, і класифікації насінних плантацій. На часі також визначення дорожньої карти розвитку

лісової селекції в Україні на основі індивідуального відбору на найближчий період.

Мета роботи полягає в опрацюванні узагальненої схеми реалізації селекційно-насінницьких програм на основі індивідуального відбору, що поєднує чинні практики та міжнародні підходи, формулюванні пропозицій щодо змін у класифікації насінних плантацій і визначенні стратегічних напрямів розвитку лісової селекції в Україні.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – процеси, пов'язані з удосконаленням лісової селекції та плантаційного насінництва в Україні. *Предмет досліджень* – сучасний стан і перспективи розвитку лісової селекції та насінництва на основі індивідуального відбору.

Базою досліджень слугують плюсові дерева, клонові і родинні насінні плантації аборигенних та інтродукованих видів, розташовані у різних природних зонах і різних типах лісорослинних умов у межах всієї території України (Патлай та ін., 1994; Ткач та ін., 2013; Лось та ін., 2014; Hayda et al., 2019, Лось та ін., 2019a).

Методичну основу дослідження становив аналіз переваг і певних обмежень чинних схем розвитку

лісового насінництва, стану і генетичного рівня селекційних об'єктів основних деревних видів в Україні (плюсових дерев, архівно-маточних, насінних плантацій та випробних культур (Молотков та ін., 1982; Патлай та ін., 1994; Лось та ін., 2017), а також результатів реалізованих галузевих програм з лісової селекції і насінництва.

На основі аналізу програм з лісової селекції, які реалізовано в різних країнах (White et al., 2007; Program of conserving..., 2011; Eriksson et al., 2013) запропоновано узагальнену схему селекційно-насінницьких програм для основних лісових деревних видів, що базується на використанні методу індивідуального відбору та запропоновані дії, необхідні для інтенсифікації робіт з лісової селекції в Україні.

Використано методи порівняльного аналізу, структурно-функціонального моделювання та системного підходу до побудови селекційних схем, адаптованих до умов України.

Результати досліджень (Results).

На сьогодні в Україні є чинними та використовуються, як і у минулому, такі схеми селекційних програм і розвитку насінництва лісових деревних порід (рис. 1-3).

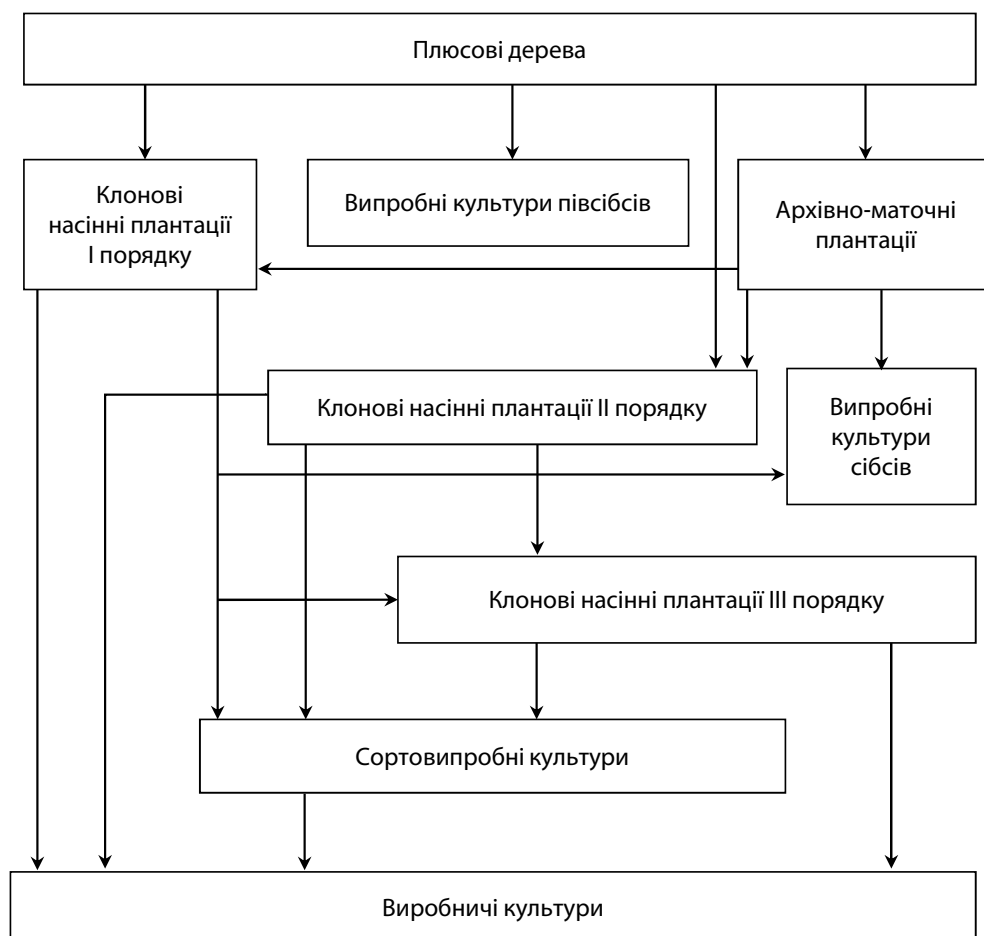


Рис. 1. Схема розвитку насінництва на основі клонових насінних плантацій (Молотков та ін., 1982)

Fig. 1. Diagram of Seed Production Development Based on Clonal Seed Orchard (Molotkov et al., 1982)

Найінтенсивніше в Україні застосовують схему розвитку насадництва на основі клонових насінних плантацій (див. рис. 1). Вона передбачає створення КНП першого порядку щепленням живців із відібраних за фенотипом плюсових дерев (ПД) до проведення порівняльного оцінювання їхньої генетичної цінності у випробних культурах (ВК). Після випробування півсібсів (насінного потомства від вільного запилення) плюсових дерев у таких дослідних культурах, із живців плюсових дерев, які виявили високу загальну комбінаційну здатність (ЗКС), тобто за умов вільного запилення успішно передають потомству цільові селекційні ознаки, створюють КНП другого порядку. Такі самі плантації можна формувати із плантацій першого порядку шляхом їх реконструкції, тобто видалення клонів дерев, які за результатами досліджень у випробних культурах виявили низьку генетичну цінність. КНП третього порядку створюють із пар клонів плюсових дерев, які характеризуються високою специфічною комбінаційною здатністю (СКЗ), тобто здатністю генерувати в їхньому сібсовому потомстві значний гетерозисний ефект. Такі пари визначають після проведення спрямованих схрещувань плюсових дерев та випробування гібридного потомства (сібсів) у випробних культурах. Ці плантації називають ще гібридизаційними.

Саме наведена схема в Україні виявилася найрезультативнішою, однак під час реалізації проявилися і її певні недоліки. По-перше, у випадку створення плантацій першого порядку з невеликої кількості клонів (20-25) плюсових дерев, що й було прописано в рекомендаціях минулих років, плантації другого порядку закладали із ще меншої кількості клонів, що суттєво знижувало генетичне різноманіття у потомстві таких плантацій. По-друге, через поступове звуження селекційної бази за такою схемою неможливо реалізовувати довготривалі селекційні програми. По-третє, така схема не забезпечує гнучкого переходу системи насадництва (за потреби) певної лісової породи від одного типу плантацій до іншого (наприклад, від КНП на першому етапі селекційної програми до РНП на другому).

Схема розвитку насадництва на основі родинних плантацій (див. рис. 2) є простішою за структурою і технологічним втіленням, а отже, потребує найменших витрат. Власне тому цей тип плантацій широко використовували у планових завданнях галузевих програм із лісової селекції 2010 та 2016 рр. РНП створювали або методом безпосереднього висіву насіння плюсових дерев на ділянці, або садінням сіянців (саджанців).

Проте варто зазначити, що сам підхід до закладання родинних плантацій не завжди може забезпечити якісне генетичне оцінювання плюсових дерев, а отже, й адекватну структуру родинних плантацій вищого рівня. Недоліком РНП є пізніше настання репродукції та складність прогнозування інтенсивності плодоношення, тоді як на КНП отримують насіння значно раніше, а інтенсивність

репродукції клонів прогнозують за інтенсивністю плодоношення плюсових дерев.

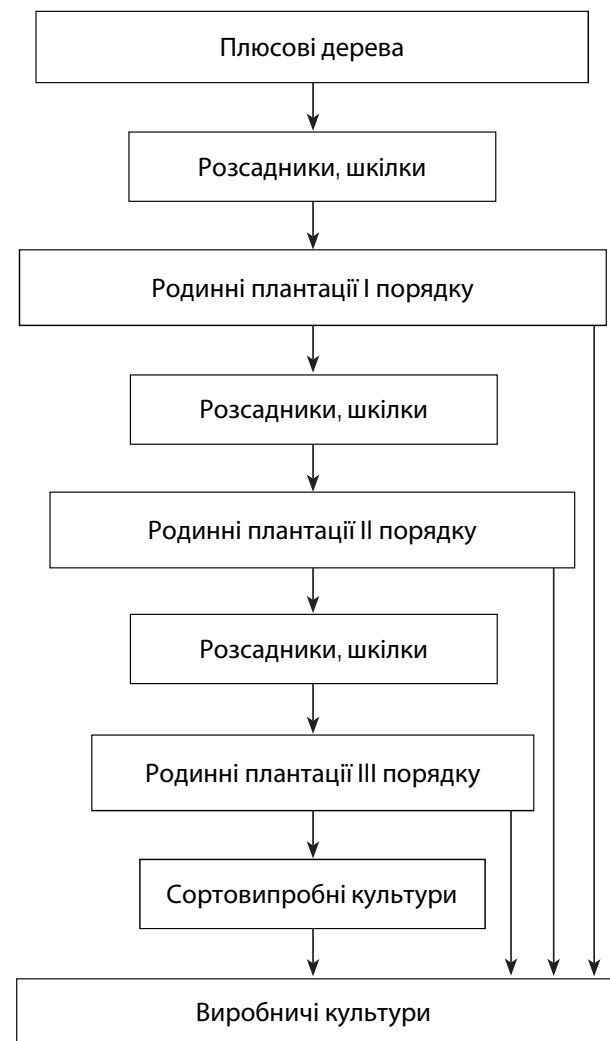


Рис. 2. Схема розвитку насадництва на основі родинних плантацій (Молотков та ін., 1982)

Fig. 2. Diagram of Seed Production Development Based on Family Plantations (Molotkov et al., 1982)

Автори схеми розвитку насадництва на основі родинно-клонових плантацій (див. рис. 3) стверджували, що схема об'єднує принципи створення клонових і родинних плантацій, хоча за своєю суттю мала б розглядатися як продовження першої схеми, тобто схеми насадництва на основі клонових насінних плантацій.

В Україні селекцією методом індивідуального відбору, з використанням трьох зазначених вище схем, у минулому було охоплено значну кількість основних лісотвірних деревних видів, зокрема абригенних – сосни звичайна і кримська, дуби звичайний і скельний, ялина європейська, ялиця біла, бук європейський, ясен звичайний та інтродукованих – модрина європейська і японська, псевдотсуга Мензіса, робінія звичайна, гледичія звичайна. Селекційні програми для більшості з них

розпочиналися із відбору плюсових дерев, створення архівно-маточних плантацій (АМП) та закладання КНП першого порядку. Оцінювання на-

сінних потомств плюсових дерев у випробних культурах також проводилося, але у значно меншому обсязі (рис. 4).

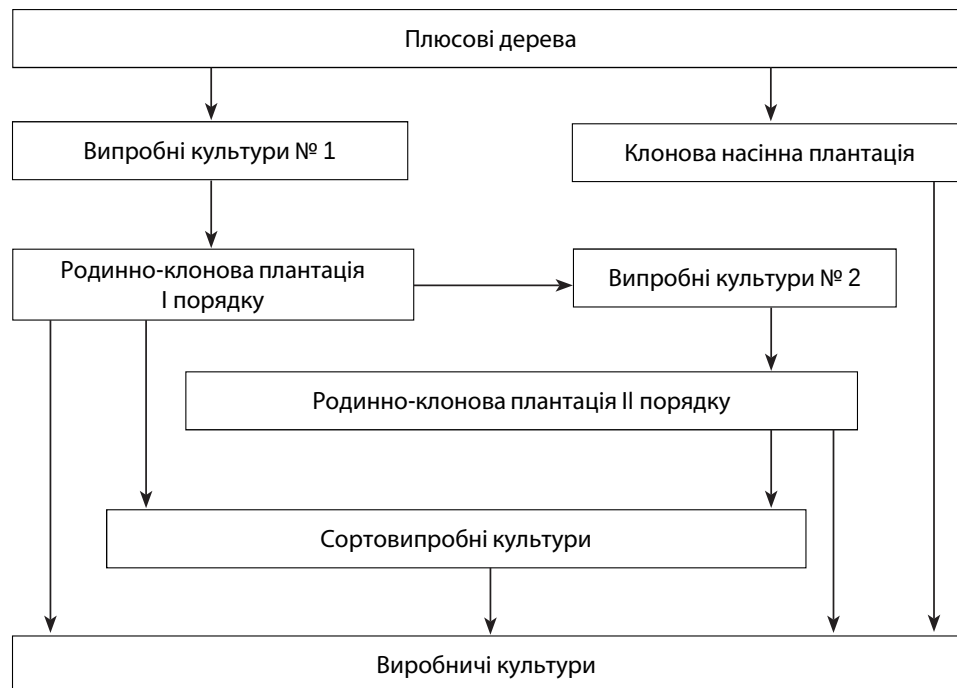


Рис. 3. Схема розвитку насадництва на основі родинно-клонових плантацій (Молотков та ін., 1982)

Fig. 3. Diagram of Seed Production Development Based on Family-Clonal Plantations (Molotkov et al., 1982)

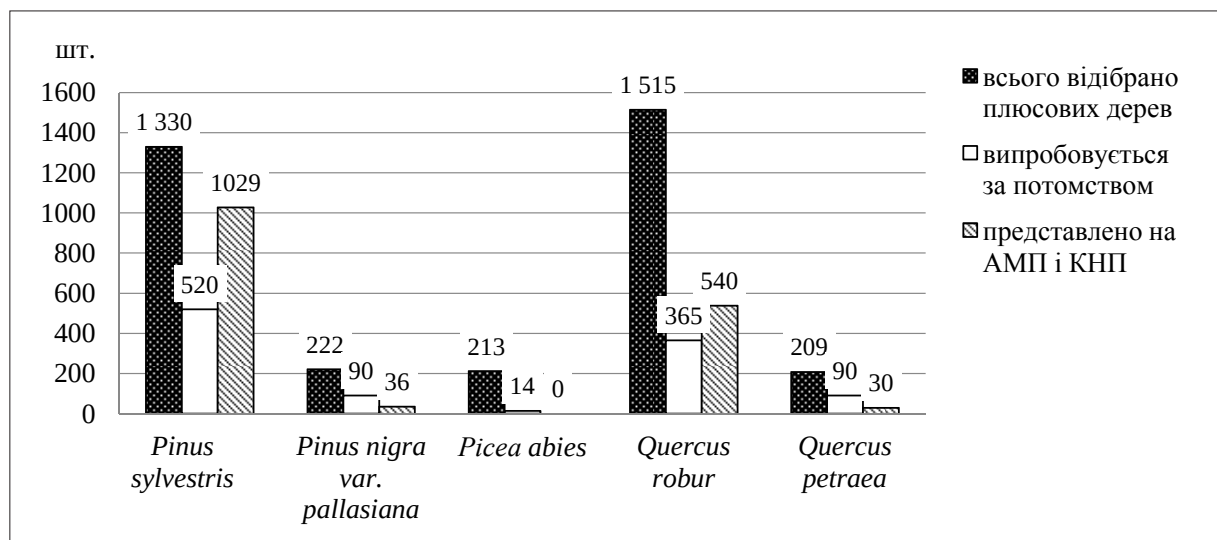


Рис. 4. Представленість плюсових дерев аборигенних та інтродукованих лісових видів у випробних культурах, на архівно-маточних і клонових насінних плантаціях

Fig. 4. Representation of Plus Trees of Indigenous and Introduced Forest Species in Progeny Tests, Clonal Archive and Clonal Seed Orchards

Найбільшого прогресу досягнуто у селекції сосни звичайної та дуба звичайного (Шлончак, Шлончак, 2009; Мажула, 2009; Митроченко, 2009; Андрєсва, 2010; Терещенко, Самодай, Лось, 2011; Лось та ін., 2015, 2017; Дебринюк, Яворський,

М'якуш, 2021; Терещенко, 2023). За даними табл. 1, серед селекційно-насадницьких об'єктів цих деревних видів домінують КНП першого порядку (533,5 га сосни звичайної та 281,8 га дуба звичайного).

На основі інформації про генетичну цінність плюсових дерев, яку було отримано за результатами випробування їхніх потомств у випробних культурах, створено незначну кількість КНП другого порядку (39,0 га сосни звичайної). Також у випробних культурах здійснено відбір кандидатів

у плюсові дерева та з їх клонів створено родинно-клоніві насінні плантації (РКНП) (9,0 га сосни звичайної та 11,2 га дуба звичайного). Це дає підстави стверджувати, що в Україні є потреба і потенціал у підвищенні генетичного рівня насінної бази основних лісових деревних видів.

Таблиця 1. Селекційно-насінницькі об'єкти аборигенних та інтродукованих видів лісових деревних рослин в Україні

Table 1. Breeding and Seed Production Facilities for Indigenous and Introduced Forest Tree Species in Ukraine

Деревний вид	Архівно-маточні плантації, га	Випробні культури, га	Клонові насінні плантації, га		Родинні плантації, га	Родинно-клоніві плантації, га
			1-го порядку	2-го порядку		
<i>Pinus sylvestris</i> L.	20,4	111,1	533,5	39,0	96,6	9,0
<i>Pinus pallasiana</i> (<i>Pinus nigra</i> ssp. <i>pallasiana</i>) (Lamb.) Holmboe	6,4	13,6	35,1	–	–	–
<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst.	–	0,5	20,4	–	3,8	–
<i>Larix decidua</i> Mill.	–	–	49,4	–	–	–
<i>Abies alba</i> Mill.	–	–	25,3	–	–	–
<i>Pseudotsuga Menziesii</i> (Mirb.) Franco	–	–	10,0	–	–	–
<i>Quercus robur</i> L.	17,2	36,5	281,8	–	60,4	11,2
<i>Quercus petraea</i> (Matt.) Liebl.	–	2,0	–	–	–	–
<i>Quercus rubra</i> L.	–	–	–	–	2,0	–
<i>Fagus sylvatica</i> L.	–	–	–	–	16,0	–
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	–	1,0	1,9	–	–	–
<i>Gleditsia triacanthos</i> (L.) f. <i>inermis</i>	3,7	–	–	–	–	–
<i>Robinia psevdacacia</i> (L.) (щоголова форма)	4,4	–	–	–	–	–

Враховуючи багаторічний досвід українських лісових селекціонерів, переваги та недоліки вищезгаданих схем розвитку насінництва на основі різних типів насінних плантацій, а також успішно апробовані зарубіжними науковцями моделі селекційного циклу (White et al., 2007; Program of conserving..., 2011; Eriksson et al., 2013), нами пропонується узагальнена схема селекційно-насінницьких програм для видів лісових деревних рослин, що базується на використанні методу індивідуального відбору (рис. 5). Ця схема побудована у формі спіралі, кожен виток якої відображає один селекційний цикл. Впродовж одного циклу послідовно відбирають (створюють) специфічні популяції. Суть, структура і функції, а отже, визначення таких популяцій відрізняється від класичних фор-

мулювань, які використовують у популяційній біології. Кожен селекційний цикл починається із формування базової популяції. На першому циклі її формують усі лісостани цільового виду в межах селекційної зони (один або декілька лісонасінних районів), тобто регіону, де реалізують певну селекційну програму і проводять селекційну інвентаризацію. Базова популяція (*base population*) – сукупність особин однієї чи декількох природних або штучних популяцій, в якій (яких) здійснюють відбір кращих за фенотиповими ознаками дерев на першому циклі селекційної програми. На наступних, вищих циклах цієї програми базову популяцію формують дерева кращих родин у випробних культурах. Зазвичай базова популяція першого селекційного циклу складається з багатьох тисяч генетично різних дерев.

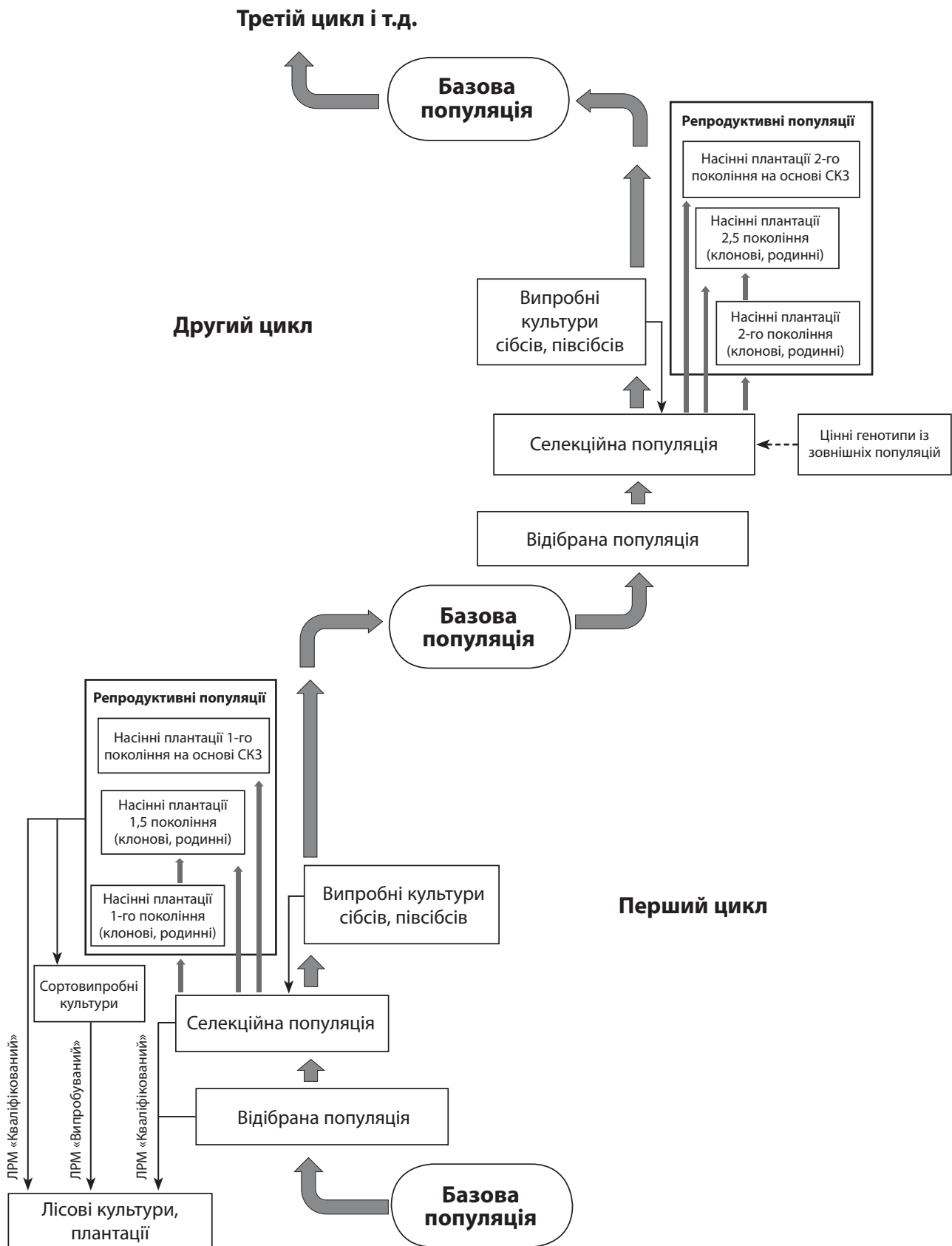


Рис. 5. Схема селекційно-насінницьких програм із видами лісових деревних рослин на основі методу індивідуального відбору

Fig. 5. Diagram of Tree Breeding and Seed Production Programs for Forest Tree Species Based on the Method of Individual Selection

За результатами селекційної інвентаризації (індивідуального відбору) в базовій популяції відбирають плюсові дерева, які разом формують відібрану популяцію. Відібрана популяція (*selected population*) – сукупність особин, відібраних у базовій популяції за однією чи декількома цільовими ознаками. У першому циклі селекційної програми відібрана популяція складається із плюсових дерев, відібраних за фенотипом. Зазвичай таку популяцію складають 100-1000 дерев (найбільше у першому циклі). Усі дерева цієї популяції вносять до Державного реєстру (у майбутньому – в «Реєстр базового лісового матеріалу»).

З частини (рідше – з усіх дерев) відібраної популяції створюють насінні плантації і випробні культури. Такі плюсові дерева формують селекційну популяцію (*breeding population*) – сукупність особин (дерев) відібраної популяції, які схрещують між собою (на КНП, АМП), використовуючи різні системи та схеми схрещування. Зазвичай вона складається із 100-300 генотипів. Саме із плюсових дерев цієї популяції створюють насінні (клонові чи родинні) плантації, а їхнє насінне потомство тестують у випробних культурах.

Репродуктивна популяція (*propagation population*) – сукупність дерев селекційної популяції, яку використовують для отримання селекційно покращеного насіння і створення лісових культур, зокрема плантаційного типу. Репродуктивна популяція може бути представлена різними типами насінних плантацій (кловими на основі загальної або специфічної комбінаційної здатності чи родинними).

Насінні плантації (клонові чи родинні), які створюють із клонів чи півсісів плюсових дерев, відібраних виключно на основі їх видатних фенотипових ознак, вважають плантаціями першого покоління. Після випробування насінних потомств плюсових дерев від вільного запилення (півсісів) у випробних культурах створюють насінні плантації лише із кращих за генетичною цінністю дерев. Такі плантації, тобто плантації другого порядку за схемами на рис. 1 і 2, в узагальненій схемі (див. рис. 5) називаються плантаціями 1,5 покоління.

Після проведення серії схрещувань клонів плюсових дерев на КНП / АМП і випробування їхніх насінних потомств (сісів) у випробних культурах, із пар клонів з високою специфічною комбінаційною здатністю (СКЗ) створюють клонові плантації на основі СКЗ.

Центральним елементом селекційно-насінницької програми з лісовими деревними видами є випробні культури. Основними функціями випробних культур є отримання інформації для: (1) визначення генетичних параметрів вихідної(их) популяції(й), в якій(их) відібрано плюсові дерева; (2) оцінювання генетичної цінності плюсових або кращих нормальних дерев; (3) розрахунку теоретичного і реального селекційного ефектів для прогнозування та оцінювання прогресу від окремих кроків або циклів селекційних програм. Із

кращих насінних потомств плюсових дерев у випробних культурах формують нову базову популяцію для наступного вищого циклу селекційно-насінницької програми. У кращих родинах відбирають плюсові дерева вторинного відбору, з яких послідовно формують відібрану і селекційну популяції і створюють відповідно насінні (клонові чи родинні) плантації 2-го і 2,5 покоління, а також обов'язково – нові випробні культури. Після завершення другого циклу розпочинається третій і т. д.

У запропонованій схемі (див. рис. 5) використано назви насінних плантацій згідно класифікації, прийнятій у міжнародній практиці. Тому у табл. 2 наведено пропозиції щодо зміни назв насінних плантацій, які на сьогодні використовують в Україні ще з часів колишнього СРСР.

Таблиця 2. Пропозиції щодо зміни назв насінних плантацій лісових деревних видів в Україні

Table 2. Proposals for Renaming Seed Orchards of Forest Tree Species in Ukraine

Попередня назва	Нова назва
Клонові насінні плантації 1-го порядку	Клонові насінні плантації 1-го покоління
Клонові насінні плантації 2-го порядку	Клонові насінні плантації 1,5 покоління
Родинно-клонові плантації 1-го порядку	Клонові насінні плантації 2-го покоління
Родинно-клонові плантації 2-го порядку	Клонові насінні плантації 2,5 покоління
Родинні плантації 1-го порядку	Родинні плантації 1-го покоління
Родинні плантації 2-го порядку	Родинні плантації 1,5 покоління
Родинні плантації 3-го порядку	Родинні плантації 2-го покоління

Дискусія (Discussion).

Запропоновані зміни до схем розвитку насінництва лісових деревних видів та назв насінних плантацій, на наш погляд, потребують широкого обговорення серед науковців і фахівців, які займаються лісовою селекцією в Україні. Лише після їхнього схвалення такі зміни доцільно впроваджувати у лісову науку і практику.

Ефективність запропонованої схеми реалізації селекційних програм можлива за умови системного випробування насіння від плюсових дерев у контрольованих умовах. В українській практиці такі випробування мали обмежене охоплення через нестачу ресурсів, проте окремі приклади, зокрема

щодо сосни звичайної та дуба звичайного, засвідчують позитивну динаміку результатів відбору (Лось та ін., 2015; Терещенко, 2023). Крім того, застосування принципу специфічної комбінаційної здатності (СКЗ) під час створення клонів плантацій третього порядку створює умови для точнішого контролю передачі цільових ознак (Шлончак, Митроченко, 2024).

Провідні програми лісової селекції в Канаді, Швеції, Фінляндії, Новій Зеландії та США широко впроваджують циклічні схеми селекції, які забезпечують безперервний генетичний прогрес через багаторазове повторення відбору, оцінювання та відтворення на кожному новому етапі. Такі схеми мають «спіральну» або «замкнену» структуру, де кожен новий цикл базується на результатах попереднього (El-Kassaby, & Lstibůrek, 2009). Особливо ефективними виявилися інтегровані моделі, які поєднують традиційне оцінювання потомства з генотиповими методами відбору (GS/MAS) (Grattapaglia, & Resende, 2011, Isik et al., 2016).

Наприклад, у Польщі програма збереження й поліпшення лісових генетичних ресурсів 2011-2035 рр. передбачає перехід до інтегрованого підходу з багаторівневим оцінюванням генотипів (Program of conserving..., 2011). У Швеції циклічна селекція ялини європейської триває вже понад 80 років: перше покоління відбирали фенотипово, друге – з урахуванням результатів польових випробувань, третє – із залученням молекулярно-генетичних маркерів (Chen et al., 2019, 2021; Nayatgheibi et al., 2025). У Канаді в рамках програми генетичного поліпшення хвойних дерев систематично застосовують схеми *recurrent selection* у поєднанні з *clonal replication*, що дає змогу підтримувати високий рівень адаптації та генетичної різноманітності (Thomas et al., 2024). В Україні можна адаптувати ці моделі, інтегруючи їх у запропоновану схему селекційного циклу.

Особливої уваги заслуговує потенціал технологій високопродуктивного фенотипування (*high-throughput phenotyping*), що дозволить істотно зменшити часові та фінансові витрати на оцінювання численних генотипів у польових умовах (Mazis et al., 2020). Поєднання цих технологій із аналізом GxE-взаємодій (генотип $\times$ середовище) є ефективним інструментом у забезпеченні стабільного генетичного прогресу за умов змінного клімату (Bian et al., 2022).

Lstibůrek, García, & Steffenrem (2023) також пропонують новий підхід до селекційного процесу з лісовими видами *rolling front landscape breeding*, який передбачає безперервну генетичну оцінку, інтелектуальне використання геноміки, високошвидкісне фенотипування з дронів, а також математичну оптимізацію, яка дозволяє просторове розподілення генотипів та своєчасну їхню зміну, щоб постійно адаптувати програму селекції до мінливих екологічних умов. У Новій Зеландії реалізована стратегія «rolling front» у програмі

селекції сосни промислової (*Pinus radiata* D. Don), яка дає можливість щорічно отримувати комерційно придатне насіння на базі останніх досягнень селекції (Dungey et al., 2009).

Отже, сучасні успішні моделі лісової селекції поєднують циклічність, модульність, адаптивність та геномну підтримку, що дає змогу прискорити генетичний прогрес, зменшити ризики генетичної ерозії та підвищити ефективність ресурсного використання. Інтеграція таких моделей у вітчизняну систему можлива на основі запропонованої схеми, з поступовим оновленням нормативної бази та інфраструктури селекційних центрів.

Таким чином, для інтенсифікації робіт із лісової селекції в Україні необхідно здійснити такі кроки: 1) Опрацювати і затвердити Стратегію розвитку лісової селекції в Україні до 2050 року. У Стратегії, на основі оцінки фінансового, кадрового та наукового потенціалу, попиту на лісовий репродуктивний матеріал видів деревних рослин, визначити оптимальний перелік цільових деревних видів і селекційних зон для продовження селекційних програм; 2) Здійснити інвентаризацію та оцінити стан наявних плюсових дерев, архівно-маточних, насінних плантацій усіх типів і порядків, випробних культур; 3) На засадах, визначених у Стратегії розвитку лісової селекції цілей і завдань, розробити короткотермінові (5-10-річні) галузеві програми з лісової селекції і насадництва пріоритетних деревних видів, обов'язковою складовою яких мають бути підпрограми тестування базового лісового матеріалу (зокрема плюсових дерев, насінних плантацій) у випробних культурах; 4) Реалізацію селекційних програм із лісовими деревними видами повинні здійснювати фахівці Лісових селекційно-насінних центрів (ЛСНЦ) ДП «Ліси України» за науково-методичної та організаційної підтримки галузевих науково-дослідних інститутів та ДО «Український лісовий селекційний центр». Селекційна діяльність ЛСНЦ має передбачати виконання комплексу робіт щодо відбору ПД, створення, моніторингу та менеджменту АМП, КНП, РНП, ВК; 5) Забезпечити науковий супровід процесу реалізації Стратегії розвитку лісової селекції науково-дослідними інститутами та фахівцями лісового профілю університетів шляхом фінансування наукових тем за рахунок держбюджету, господарств, національних і міжнародних грантів; 6) Продовжити науково-дослідні роботи з використанням методів синтетичної селекції, зокрема гібридизації, та тестування отриманих селекційних зразків, а також із застосуванням молекулярно-генетичних методів для ідентифікації і паспортизації плюсових дерев, клонів, гібридів, сортів, клонів насінних плантацій.

Висновки (Conclusions).

1. В Україні нагромаджено значний досвід і досягнуто вагомих наукових результатів у сфері лісової селекції, зокрема у напрямі використання методу індивідуального відбору. Однак багато селек-

ційних програм з видами лісових деревних рослин реалізовано лише на початкових етапах, що зумовило недостатньо високий генетичний рівень існуючої лісонасінної бази.

2. Аналіз чинних схем розвитку насадництва (на основі клонових, родинних та родинно-клонових плантацій) виявив як їхні переваги, так і обмеження, зокрема в аспектах гнучкості, довгострокового ефекту та збереження генетичної різноманітності.

3. Запропонована узагальнена схема селекційно-насадницьких програм на основі методу індивідуального відбору дає змогу забезпечити перманентність селекційного процесу; гнучкість у виборі структури стратегії селекції; можливу варіабельність селекційного процесу для різних за своїми біологічними особливостями видів лісових деревних рослин; недопущення суттєвого звуження генетичної мінливості у базових популяціях; інтегрування з діючою в ЄС класифікацією лісового репродуктивного матеріалу.

4. Існує потреба гармонізувати українську термінологію та класифікацію щодо насадницьких плантацій з міжнародною, що є важливою складовою у контексті євроінтеграційних процесів.

5. Подальший розвиток лісової селекції в Україні повинен стати одним із пріоритетних заходів державної лісової політики, що потребує опрацювання Стратегії розвитку лісової селекції до 2050 року, коротко- та середньотермінових галузевих програм із лісової селекції та насадництва, використання ресурсного потенціалу лісових селекційно-насадницьких центрів ДП «Ліси України».

6. Стратегічним чинником підвищення якості наукових розробок у сфері лісової селекції та насадництва, інтеграції українських досліджень у міжнародний науковий простір є створення (модернізація) та розвиток інфраструктури молекулярно-генетичних лабораторій в установах вищої освіти та науково-дослідних інститутах лісового профілю, що є необхідною умовою для ідентифікації та генетичної паспортизації плюсових дерев, клонів, гібридів, сортів, клонових насадницьких плантацій; моніторингу генетичної різноманітності та збереження цінних генотипів; підтвердження походження селекційного та репродуктивного матеріалу; впровадження методів маркер-асоційованого відбору (Marker Assisted Selection, MAS) та генотипової селекції (Breeding Without Breeding, BWB) в програми лісової селекції.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

Andreieva, V.V. (2010). *Forestry selection estimation of half sibs and sibs progeny of Scotch Pine in the conditions of Western Polissya*. Abstract of the PhD dissertation, Ukrainian National Forestry University.

- Lviv, Ukraine. Retrieved from <https://uacademic.info/ua/document/0410U005898> [Андрєєва, В.В. (2010). Лісівничо-селекційна оцінка півсібсових і сібсових потомств сосни звичайної в умовах Західного Полісся: автореф. дис. ... канд. біол. наук: 06.03.01. Львів, Національний лісотехнічний університет України] (in Ukrainian)
- Bian, L., Zhang, H., Ge, Y., Čepl, J., Stejskal, J., & EL-Kassaby, Y.A. (2022). Closing the gap between phenotyping and genotyping: review of advanced, image-based phenotyping technologies in forestry. *Annals of Forest Science*, 79(22). <https://doi.org/10.1186/s13595-022-01143-x>
- Chen, Z.Q., Baisan, J., Jin Pan, J., Westin, J., García, Gil M.R., & Wu, H.X. (2019). Increased Prediction Ability in Norway Spruce Trials Using a Marker X Environment Interaction and Non-Additive Genomic Selection Model. *Journal of Heredity*, 110(7), 830-843. <https://doi.org/10.1093/jhered/esz061>
- Chen, Z.Q., Zan, Y., Milesi, P., Zhou, L., Chen, J., Li, L. ... Wu, H.X. (2021). Leveraging breeding programs and genomic data in Norway spruce (*Picea abies* L. Karst.) for GWAS analysis. *Genome Biology*, 22, 179. <https://doi.org/10.1186/s13059-021-02392-1>
- Debryniuk, Iu.M., Yavorskyi, M.V., & M'iakush, I.I. (2021). *Selection inventory of permanent forest seed base objects of Busk Forestry Enterprise and ways of restoring genetic resources of main forest-forming species*. Lviv: Manuscript Company. https://manusbook.com/9071_Debryniuk_Selection_Busk/148/ [Дебринюк, Ю.М., Яворський, М.В., М'якуш, І.І. (2021). *Селекційна інвентаризація об'єктів постійної лісонасінної бази ДП «Буське лісове господарство» та шляхи відтворення генетичних ресурсів основних лісотвірних порід*. Львів: Компанія «Манускрипт». 154 с.] (in Ukrainian)
- Dungey, H.S., Brawner, J.T., Burger, F., Carson, M., Henson, M., Jefferson, P. & Matheson, A.C. (2009). A New Breeding Strategy for *Pinus radiata* in New Zealand and New South Wales. *Silvae Genetica*, 58(1-2), 28-38. <https://doi.org/10.1515/sg-2009-0004>
- El-Kassaby, Y.A., & Lstibůrek, M. (2009). Breeding without breeding. *Genetics Research*, 91(2), 111-120. <https://doi.org/10.1017/S001667230900007X>
- Eriksson, G., Ekberg, I., & Clapham, D. (2013). *Genetics Applied to Forestry*. An Introduction (3th ed.). SLU, Uppsala. P. 206. https://pub.epsilon.slu.se/12141/1/eriksson_et_al_150423.pdf
- Grattapaglia, D., & Resende, M.D.V. (2011). Genomic selection in forest tree breeding. *Tree Genetics & Genomes*, 7, 241-255. <https://doi.org/10.1007/s11295-010-0328-4>
- Hayatgheibi, H., Hallingbäck, H.R., Gezan, S.A., Lundqvist, S.-O., Grahn, T., Scheepers, G., & García-Gil, M.R. (2025). Cross-generational genomic prediction of Norway spruce (*Picea abies*) wood properties: an evaluation using independent validation.

- BMC Genomics*, 26, 680. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC12278512>
- Hayda, Yu., Los, S., Yatsyk, R., Tereshchenko, L., Shlonchak, G., Mytrochenko, V., ... & Mohytych, V. (2019). Seed orchards in Ukraine: past, present and prospects for the future. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 61(4), 284-298. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0028>
- Isik, F., Bartholomé, J., Farjat, A., Chancerel, E., Raffin, A., ... & Bouffier, L. (2016). Genomic selection in maritime pine. *Plant Science*, 242, 108-119. <https://doi.org/10.1016/j.plantsci.2015.08.006>
- Los, S.A. (2017). Dynamics of reproductive processes on English oak (*Quercus robur* L.) clonal seed orchards in the left-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15, 64-72. <https://doi.org/10.15421/411708> [Лось, С.А. (2017). Динаміка репродуктивних процесів на клонівих насінних плантаціях дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у Лівобережному Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 15, 64-72] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Hayda, Yu.I., Tereshchenko, L.I., Yatsyk, R.M., Blystiv, V.I., Vysotska, N.Yu., ... & Neiko, I.S. (2019a). Forest tree breeding and seed production: origins, current state and prospects. In S.M. Nikolaienko (Ed.), *Forest restoration and forest melioration in Ukraine: origins, current state, present challenges and future prospects in the Anthropocene*, 11-44). Kyiv: Editorial and Publishing Department of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. [Лось, С.А., Гайда, Ю.І., Терещенко, Л.І., Яцик, Р.М., Блистів, В.І., Висоцька, Н.Ю., ... Нейко, І.С. (2019а). Лісова селекція і насінництво: витоки, сучасний стан та перспективи. В кн.: *Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропогену* / За заг. ред. Ніколаєнка С.М. Київ: Редакційно-видавничий відділ НУБіП України, 11-44] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Gayda, Yu.I., Ustimenko, P.M., Yatsyk, R.M., Chernyavsky, M.V., ... Jurova, P.T. (2014). *State forest genetic resources in Ukraine*. Kharkiv: TOV Planeta-print. https://uriffm.org.ua/media/uploads/2023/01/31/fgr_fao_report_ukraine.pdf [Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Гайда, Ю.І., Устименко, П.М., Яцик, Р.М., Чернявський, М.В., ... Журова, П.Т. (2014). *Стан лісових генетичних ресурсів в Україні*. Харків: ТОВ «Планета-принт». 137 с.] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Hayda, Yu.I., Shlonchak, H.A., Mitrochenko, V.V., Shlonchak, H.V., ... Danchuk, O. T. (2017). *Guidelines for forest seed production*. Kharkiv: Ukrainian Order "Badge of Honour" G.M. Vysotsky Research Institute of Forestry and Forest Melioration. http://ucfb.info/fileadmin/user_upload/Настанови.pdf [Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Гайда, Ю.І., Шлончак, Г.А., Мітроченко, В.В., Шлончак, Г.В., ... Данчук, О.Т. (2017). *Настанови з лісового насінництва*. Харків, УкрНДІЛГА. 107 с.] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Shlonchak, H.A., Samoday, V.P., & Neiko, I.S. (2015). Results of pine and oak plus trees selection in the plains part of Ukraine and Crimea in 2010-2014. *Forestry and Forest melioration*, 126, 139-147. <http://jnas.nbu.gov.ua/article/UJRN-0000538173> [Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Шлончак, Г.А., Самодай, В.П., Нейко, І.С. (2015). Результати відбору плюсових дерев сосни і дуба в рівнинній частині України та в Криму у 2010-2014 рр. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 126, 139-147] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Torosova, L.O., Hayda, Yu.I., Vysotska, N. Yu., Yatsyk, R.M., ... & Dyshko, V.A. (2019b). *Methodology of variety testing of forest tree species: Departmental testing*. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration. <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/perelik-dokumentiv-shcho-shvaleni-naukovo-tehnichnoyu-radoyu/t13-methodology-variety-testing.pdf> [Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Торосова, Л.О., Гайда, Ю.І., Висоцька, Н.Ю., Яцик, Р.М., ... Дишко В.А. (2019б). *Методика сортовипробування лісових деревних порід*. Відомче випробування. Харків, УкрНДІЛГА. 37 с.] (in Ukrainian)
- Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Torosova, L.O., Hayda, Yu.I., Vysotska, N. Yu., Yatsyk, R.M., ... & Kolchanova, O.V. (2019c). *Program of variety testing of forest tree species in Ukraine*. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration. <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/perelik-dokumentiv-shcho-shvaleni-naukovo-tehnichnoyu-radoyu/t13-variety-testing-programme.pdf> [Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Торосова, Л.О., Гайда, Ю.І., Висоцька, Н.Ю., Яцик, Р.М., ... Колчанова, О.В. (2019с). *Програма сортовипробування лісових деревних порід в Україні*. Харків: УкрНДІЛГА. 25 с.] (in Ukrainian)
- Lstibůrek, M., García Gil, M.R., & Steffenrem, A. (2023). Rolling front landscape breeding. *Annals of Forest Science*, 80, 36. <https://doi.org/10.1186/s13595-023-01203-w>
- Mazis, A., Choudhury, S.D., Morgan, P.B., Stoerger, V., Hiller, J., Ge, Y., & Awada, T. (2020). Application of high-throughput plant phenotyping for assessing biophysical traits and drought response in two oak species under controlled environment. *Forest Ecology and Management*, 465, 118101. <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112720300906>
- Mazhula, O.S. (2009). Plantation seed production: current state and prospects. *Forestry and Forest Melioration*, 111, 3-10. <http://dspace.nbu.gov.ua/bitstream/handle/123456789/16408/01-Mazhula.pdf?sequence=1> [Мажула, О.С. (2009). Плантаційне насінництво: сучасний стан і перспективи. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 111, 3-10] (in Ukrainian)

- Molotkov, P.I., Patlai, I.N., Davydova, N.I., Shchepotiev, F.L., Iroshnikov, A.I., Mosin, B.I., & Miliutin, L.I. (1982). *Breeding of forest tree species*. Moscow: Forest industry. <https://www.twirpx.com/file/1594603/> [Молотков, П.И., Патлай, И.Н., Давыдова, Н.И., Щепотьев, Ф.Л., Ирошников, А.И., Мосин, Б.И., Милютин, Л.И. (1982). *Селекция лесных пород*. Москва: Лесная промышленность, 224 с.] (in Russian)
- Mytrochenko, V.V. (2009). Regional principle of using genetically improved seeds of Scotch pine. *Forestry and Forest melioration*, 115, 59-64. <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/16417/10-Mytrochenko.pdf?sequence=1> [Митроченко, В.В. (2009). Регіональний принцип використання генетично покращеного насіння сосни звичайної. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 59-64] (in Ukrainian)
- Ohievskyi, V.D. (1916). On the origin of seeds. In *Collection of articles on forestry in honor of the 25th anniversary of M.M. Orlov's work* (pp. 207-226). St. Petersburg. [Огиевский, В.Д. (1916). К вопросу о происхождении семян. Сб. статей по лесному хозяйству в честь двадцатипятилетия деятельности М.М. Орлова. Петербург. 207-226] (in Russian)
- Patlay, I.M., Molotkov, P.I., Hayda, Yu.I., Davydova, N.I., Zhurova, P.T., Mazhula, O.S., ... & Sverdlova, O.I. (1994). The permanent forest seed base of major native and introduced tree species in Ukraine on a breeding-genetic basis. *Forestry and Forest Reproduction. Review Information*, 1. Moscow: VNIITslesresurs. <https://dspace.wunu.edu.ua/handle/316497/9607> [Патлай, И.М., Молотков, П.И., Гайда, Ю.И., Давыдова, Н.И., Журова, П.Т., Мажула, О.С., ... Свердлова, О.И. (1994). Постоянная лесосеменная база основных лесообразующих и интродуцированных пород Украины на селекционно-генетической основе. *Лесоводство и лесоразведение. Обзорная информация*, 1. Москва: ВНИИЦлесресурс. 32 с.] (in Russian)
- Patlai, I.M., & Hayda, Yu.I. (1990). Testing of climatic and edaphic ecotypes of English oak in the Azov steppe. *Forestry and Forest Melioration*, 81, 66-70. [Патлай, И.Н., Гайда, Ю.И. (1990). Испытание климатических и почвенных экотипов дуба черешчатого в Приазовской степи. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 81, 66-70] (in Russian)
- Program of conserving forest genetic resources and breeding of trees in Poland for the years 2011-2035. (2011). https://www.academia.edu/22672163/Program_of_conserving_forest_genetic_resources_and_breeding_of_trees_in_Poland_for_the_years_2011_2035
- Shlonchak, H.A., & Mytrochenko, V.V. (2024). Inheritance of characteristics of plus trees of Scots pine by seed progeny in trial plantations. In *V.M. Vynogradov Scientific Readings*, Kherson-Kropyvnytskyi, 62-63. https://www.ksau.kherson.ua/files/konferencii/2024/06/mater_07_06_24_1.pdf [Шлончак, Г.А., Митроченко, В.В. (2024). Успадкування характеристик плюсових дерев сосни звичайної насіннєвими потомствами у випробувальних культурах. *Наукові читання імені В.М. Виноградова*, Херсон-Кропивницький, 62-63] (in Ukrainian)
- Shlonchak, H.A., & Shlonchak, H.V. (2009). Effectiveness of using of clone seed orchards of Scotch pine for needs of afforestation. *Forestry and Forest Melioration*, 115, 65-70. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/16418?show=full> [Шлончак, Г.А., Шлончак, Г.В. (2009). Ефективність використання клонівих плантацій сосни звичайної для потреб лісовідтворення. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 65-70] (in Ukrainian)
- Tereshchenko, L.I. (2008). Analysis of V.D. Ohievskyi's research results on geographic cultures of Scots pine. *Forestry and Forest Melioration*, 114, 254-258. <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/16401> [Терещенко, Л.І. (2008). Аналіз результатів дослідження географічних культур сосни звичайної В.Д. Огієвського. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 114, 254-258] (in Ukrainian)
- Tereshchenko, L.I. (2023). Selection and conservation of Scots pine plus trees in Chernihiv Polissia and the forest steppe part of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 143, 73-84. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.143.2023.73> [Терещенко, Л.І. (2023). Відбір та збереження плюсових дерев сосни звичайної в умовах Чернігівського Полісся та лісостепової частини України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 143, 73-84] (in Ukrainian)
- Tereshchenko, L.I., Samoday, V.P., & Los, S.A. (2011). Results of research of the first in Ukraine Scotch pine progeny tests. *Forestry and Forest Melioration*, 118, 128-136. <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/15/118-pdf> [Терещенко, Л.І., Самодай, В.П., Лось, С.А. (2011). Результати дослідження перших в Україні випробних культур сосни звичайної. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 118, 128-136] (in Ukrainian)
- Thomas, B.R., Stoeher, M., Schreiber, S.G., Benowicz, A., Schroeder, W.R., Soolanayakanahally, R., ... Perron, M. (2024). Tree improvement in Canada – past, present and future, 2023 and beyond. *The Forestry Chronicle*, 100(1), <https://doi.org/10.5558/tfc2024-004>
- Tkach, V.P., Los, S.A., Tereshchenko, L.I., Torosova, L.O., Vysotska, N. Yu., & Volosianchuk, R.T. (2013). Present state and prospects for development of forest tree breeding in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 123, 3-12. <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/10/123-pdf> [Ткач, В.П., Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Торосова, Л.О., Висоцька, Н.Ю., & Волосянчук, Р.Т. (2013). Сучасний стан і перспективи розвитку лісової селекції в Україні. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 123, 3-12] (in Ukrainian)
- White, T.L., Adams, W.T., & Neale, D.B. (2007). *Forest Genetics*. CABI Pub. 682 p. <https://doi.org/10.1079/9781845932855.0000>

Forest tree breeding based on individual selection in Ukraine: quo vadimus?

Yu. Hayda¹, S. Los², L. Tereshchenko³,
H. Shlonchak⁴, V. Mitrochenko⁵

This paper provides a concise overview of the history of forest tree breeding in Ukraine, highlighting the author's perspective on the causes and consequences of irregular progress in the implementation of breeding programs and the declining intensity of applying scientific advances in forest genetics and breeding. Among the wide range of methods, analytical selection-based on the individual selection of the best phenotypes in natural and artificial populations – has proven to be the most effective. This approach was introduced in Ukraine in the late 1950s, expanded considerably in the 1970s and 1980s, and experienced renewed growth during the second decade of the 2000s, leading to the establishment of a well-developed permanent forest seed base (PFSB). At present, first-generation seed orchards predominate within this base which makes it possible to increase seed orchards productivity by 8-13%.

¹ *Yuriy Hayda* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (Agricultural Sciences), professor. National University “Chernihiv Polytechnic”, 95 Shevchenko st., Chernihiv, 14027, Ukraine; West Ukrainian National University, 11 Lvivska st., Ternopil, 46009, Ukraine. E-mail: haydshn@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6019-9654>

² *Svitlana Los* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriy Skovoroda st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: svitlana_los@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6341-2745>

³ *Larysa Tereshchenko* – PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriy Skovoroda st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: larisa_tereshchenko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5203-518X>

⁴ *Hryhoriy Shlonchak* – PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, State Enterprise “Klavdiyevska Forest Research Station” of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 4 Verbna st., Klavdiievo-Tarasove, Bucha District, Kyiv Region, 07850, Ukraine. E-mail: shlonchakga@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0980-9619>

⁵ *Valentyna Mytrochenko* – Senior Researcher, State Enterprise “Klavdiyevska Forest Research Station” of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 4 Verbna st., Klavdiievo-Tarasove, Bucha District, Kyiv Region, 07850, Ukraine. E-mail: dogma_klnds@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3772-5086>

A detailed analysis of the strengths and weaknesses of the current seed production development schemes in Ukraine was made. The first-order clonal seed orchards occupy an area of 533.5 ha of Scots pine and 281.8 ha of English oak, while higher-order clonal and seedling seed orchards remain relatively scarce both in numbers and area. A generalized scheme for implementing breeding and seed-production programs for forest tree species based on individual selection is proposed. This scheme integrates existing seed production development models and incorporates concepts and approaches from international forest geneticists and breeders. It is structured in a spiral format, with each turn representing one breeding cycle. Each breeding cycle begins with the formation of a base population. Plus trees are selected within the base population, forming the selected population based on the results of selection inventory (individual selection). The seed orchards and progeny trials are established from part (or less commonly, the entire) selected population. These plus trees constitute the breeding population. Seed orchards (clonal or family-based) established from clones or half-sibs of plus trees, selected solely on the basis of their outstanding phenotypic traits, are considered first-generation seed orchards.

A new base population for the next, higher cycle of the improvement and seed production program is formed from the best seed progenies of plus trees in the progeny trials. In the best families, plus trees of secondary selection are identified, from which the selected and breeding populations are subsequently formed, and corresponding seed orchards (clonal or family-based) of the 2nd and 2.5 generations, as well as new progeny trials, are established. After the completion of the second cycle, the third one begins, and so on.

Thus, according to this scheme, it is necessary to intensify testing of the progeny of sibs and half-sibs of plus trees, as well as to create the second- and higher-generation seed orchards, which would significantly enhance the genetic quality of the seed base of the main forest-forming tree species. In addition, recommendations are provided for revising the terminology used for seed orchards of forest tree species in order to bring it into line with international and European definitions and interpretations in the field of forest genetics. Finally, a sequence of practical steps is outlined for advancing forest tree breeding and seed orchards production in Ukraine.

Key words: forest seed production; plus tree; clonal seed orchard; seedlings seed orchard; sibs; half-sibs; breeding cycle; breeding program; base population; progeny tests; forest reproductive material.

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412512>
Article received 2024.10.20
Article revised 2024.11.16
Article accepted 2025.04.11
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr P. Pasternak
pasternak65@ukr.net
86 Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine

UDC 630.181.28 *232

Bioproductivity and carbon stock dynamics of modal pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine

V. P. Pasternak¹, T. S. Pyvovar², A. V. Garmash³

*Modelling a forest carbon budget is important for understanding the role of forests in the global carbon cycle, assessing their potential for climate change mitigation, and supporting evidence-based decisions in sustainable forest management. This study analyses the bioproductivity features of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine under varying forest site conditions. Mathematical models describing the dynamics of phytomass and carbon accumulation were developed separately for fairly infertile and fairly fertile site conditions. Based on these models, tables of bioproductivity for modal planted pine stands were compiled. The modelling approach was grounded on widely used conversion factors that simulate forest stand growth and biomass development processes. The pine stands under study in the Left-Bank Forest-Steppe exhibited slightly lower phytomass stocks compared to modal stands located in the recreational and health-improving forests of Kyiv region. It was found that the maximum mean annual increment of carbon stock in modal man-made 45-year-old pine stands in site class I occurs in fresh, fairly infertile site types, and at the age of 40 years in fresh, fairly fertile site types.*

Key words: *Pinus sylvestris* L.; conversion factors (coefficients); phytomass; forest site conditions; site class.

Introduction.

Assessing the climate regulation by forests, as one of the ecosystem services performed, is very urgent now. Forests and forestry are internationally recognized as an important component of climate policy, which is reflected in international agreements, in particular the UN Framework Convention on Climate

Change (UNFCCC), the Paris Agreement, etc. (The Paris Agreement, 2015). According to the UNFCCC, the parties of the convention compile the National Greenhouse Gases Inventory, an important component of which is the assessment of carbon dioxide absorption by forests. In order to objectively assess the carbon dynamics in forest stands, it is necessary to have

¹ Volodymyr P. Pasternak – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (Agricultural Sciences), professor, the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pasternak65@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Tetiana S. Pyvovar – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

³ Anna V. Garmash – senior lecturer, State Biotechnological University, 44 Alchevskyh st., Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: garmash1505@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-094X>

bioproductivity models taking into account the regional characteristics of growth.

One of the ways in which Ukraine can implement the necessary tasks of effective management of forest resources is carbon crediting. Carbon credits are a kind of quota in the form of a certificate that gives a country or organization the right to emit a certain amount of greenhouse gases. The owner of such a certificate has the right to emit one ton of CO₂ or an equivalent amount of another greenhouse gas. At the same time, this certificate can be sold on the international market at its current price. Trading credits internationally is a voluntary carbon market. By attracting climate finance, Ukraine can support initiatives to improve forest management, create nature conservation areas, and promote sustainable wood production. These efforts will not only contribute to carbon sequestration but also enhance economic opportunities and foster biodiversity conservation.

Modelling a forest carbon budget is considered to provide projections on various possible management scenarios to optimise the role of the forest sector in mitigating climate change. For modelling, different tools can be used, in particular CBM-CFS3, CO2FIX, CASMOFOR, and EFISCEN (Kim et al., 2015). CBM-CFS3 and CASMOFOR can be used both at stand-level and landscape level. CO2FIX addresses only stand-level dynamics. EFISCEN involves relatively larger scales, ranging from provinces to the country or entire Europe, and the minimum analysis area might be several thousand hectares (Schelhaas et al., 2007). The CBM-CFS3 is an inventory-based, yield data-driven model that simulates C dynamics of above- and under-ground biomass, dead wood, litter, and mineral soil (Pilli et al., 2018). The model provides annual time-step projections of C stocks in the mentioned C pools and ecological indicators, such as net primary and net ecosystem productivity. Each forest stand is characterised by age, tree species composition, productivity (site class) and other classifiers, and is linked to an appropriate yield curve(s). To create a project in the CBM-CFS3, it is necessary to import a library of yield curves which define age-dependent standing stocks for each species and forest site condition. Stand-level volume-to-biomass equations convert the volumes into several aboveground biomass C components (stems, bark, branches, foliage, and under-ground biomass) (Jagodźński et al., 2018).

Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the main forest-forming species in Europe and is characterised by wide ecological plasticity across its natural range (Brichta et al., 2023). As of 01 January 2017, pine stands in the Left-Bank Forest Steppe of Ukraine occupied an area of 242 thous. ha, of which more than 224 thous. ha (93%) are represented by man-made pine stands, and in the area of more than 172 thous. ha (71%) pine stands are monospecific (Terentiev et al., 2023).

According to forest typological zoning, the study region lies mainly within the Prydonetsky and

Vorsklo-Pselsky sectors of the Slobozhansky district (Остапенко, 2003), forestry zoning – the East European Forest-Steppe and the Left Bank-Dnieper forest-steppe districts (Генсірук, 2002). The most characteristic forest types are fresh fairly infertile oak-pine forest type (B₂-oP), fresh infertile pine forest (A₂-P) and fresh fairly fertile lime-oak-pine forest type (C₂-loP) (Пастернак, Назаренко, Карпець, 2024).

Studies of biomass potential and carbon sequestration of forest stands in four countries across Europe showed that Scots pine stands reached high potential: the average carbon sequestration in biomass for all sample plots and countries is $123 \pm 52 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$ (Brichta et al., 2024). In Ukraine, a large array of experimental data has been accumulated and standards for the assessment of components of the above-ground phytomass of trees of the main forest-forming species have been compiled.

For some regions, the set of mathematical models for estimating the conversion coefficients of the stand phytomass by its separate components (stem wood, stem bark, crown branches and needles) has been developed. Regression equations were obtained that relate the phytomass of the stands by fractions to the mensuration indicators, in particular for the Scots pine of the Dnieper Highlands (Ковалевський, 2014). The arguments for the equations for stems and needles are age, for branches – age and relative density of stocking with coefficients of determination 0.87-0.96.

The mean intensity of carbon sequestration capacity of the Scots pine stands of the Chornobyl Exclusion Zone is about $460 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$. At the same time, the most intensive carbon sequestration occurs in mid-aged stands – $474 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$. In a fresh oak-pine forest type, the maximum average change in above-ground phytomass stock was evaluated in 40-50-year-old stands ($2.5 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$), the carbon storage capacity is the greatest in 40-year-old stands and is $1.2 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$ (Слива, 2021).

The trends reflected in the tables assessing the dynamics of carbon absorption in living biomass components by typological characteristics indicate that pine stands of age classes III–IV have the highest absorption capacity in terms of total productivity (Слива, 2021).

For urban forests of Kyiv, the influence of the indicators of pine stands on the intensity of carbon deposition was evaluated. The highest values of the average carbon storage capacity were recorded for stands of age classes VI–VII (530 and $540 \text{ g C} \cdot (\text{m}^2)^{-1}$, respectively) (Василишин та ін., 2023). Our previous studies assessed the structure of the phytomass of pine stands of the Left-Bank Forest Steppe and the phytomass dynamics in the fresh pine forest of the Forest-Steppe of Kharkiv Region (Яроцький та ін., 2016; Yarotskiy, Pasternak, & Nazarenko, 2019; Пастернак та ін., 2014). The results of the carbon dynamics assessment based on the data of intensive forest monitoring in the Left Bank Forest-Steppe of Ukraine (Pasternak

et al., 2020) by main components (tree stand and dead wood) indicate that the net absorption of carbon in pine stands is $2.3 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. Bioproductivity standards for man-made modal pine stands have been developed for the Left-Bank Forest-Steppe based on improved growth models (Пастернак та ін., 2024).

The aim of the study is to determine the dynamics of phytomass and carbon of modal man-made Scots pine stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine.

Material and methods.

Data from 30 temporary sample plots in pine forest stands in Sumy and Kharkiv regions, 3 permanent sample plots in the State Enterprise (SE) “Skrypaivske educational and research forestry” (Skrypaivske ERF) (observations during 2006-2018) and 13 intensive-monitoring plots in the Branch “Zhovtneve Forestry” of the SFE “Forests of Ukraine”, the SE “Skrypaivske ERF” and the National Nature Park “Slobozhanskyi” (Kharkiv region, observations during 2011-2023) were used to develop standards for the dynamics of phytomass and carbon stock. In sample plots and monitoring plots, instrumental evaluation of the characteristics of the main components of forest stands and measurement of the parameters of model trees using generally accepted methods were carried out (Площі пробні лісовпорядні, 2007; Гром, 2010; Лакида, 2002). In 10 sample plots in the SE “Skrypaivske ERF” and the Branch “Zhovtneve Forestry” of the SFE “Forests of

Ukraine”, 42 model trees were felled and measured for evaluation of phytomass stock by components.

The Forest Inventory Handbook and Forest Inventory Recommendations were used to determine the valuation indicators (Білоус та ін., 2021; Миронюк, Білоус, Бідолах, 2020). In order to determine the local wood density of stems on model trees, wood samples were taken at the stump and relative trunk heights (Лакида, 2002; Пастернак та ін., 2014). The basic density of wood was calculated as the ratio of the mass of the sample in an absolute dry weight to its volume in the freshly cut state. The average wood density of pine trunks was calculated by the formula depending on local density indicators and diameters at relative trunk heights (Лакида, 2002).

The bioproductivity of the stands under study was evaluated using regional growth models of pine stands (Пастернак та ін., 2024) by calculating volume units (growing stock (M) in $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) in mass-phytomass stock (Mf) in $\text{t} \cdot \text{ha}^{-1}$) using conversion factors (Лакида, 2002; Ковалевський, 2014). To convert phytomass into carbon stock, coefficients of 0.5 for wood and 0.45 for needles were used.

Results.

An analysis of the form, closeness, and significance of the correlations between the main indicators is important for establishing the dependencies between them (Table 1).

Table 1. Correlation matrix of the main indicators in sample plots

Indicators	A, years	H, m	D, cm	P	M, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$	Kst	Kbr	Kn
A, years	1.00	0.81	0.89	-0.24	0.49	0.73	-0.58	-0.72
H, m		1.00	0.78	-0.13	0.62	0.59	-0.62	-0.71
D, cm			1.00	-0.18	0.36	0.56	-0.64	-0.74
P				1.00	0.58	0.42	-0.35	-0.38
M, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$					1.00	0.43	-0.63	-0.34
Kst						1.00	-0.34	-0.31
Kbr							1.00	0.58
Kn								1.00

A, years – age, H, m – height, D, cm – diameter at the breast height, P – relative density of stocking, M, $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ – average growing stock, Kst – conversion factor for stem, Kbr – conversion factor for branches, Kn – conversion factor for needles.

The correlation matrix reveals statistically significant relationships among key stand characteristics. Age is strongly correlated with diameter ($r = 0.82$) and height ($r = 0.78$), while diameter strongly correlates with the stem conversion factor Kst ($r = 0.89$), reflecting biomass concentration in trunks of mature stands. Relative stocking density (P) moderately correlates with branch (Kbr) and needle (Kn) conversion fac-

tors, indicating its influence on crown development. When searching for suitable regression models, it was found that the dynamics of the coefficients, along with other mensuration indicators, are significantly influenced by the average age of the stands and the relative density of stocking. Taking into account the homogeneity of the experimental data in terms of productivity within the types of forest site conditions, to model

the dependence of conversion coefficients on the mensuration indicators of tree stands the following formula was used:

$$K = a_0 \cdot A^{a_1} \cdot P^{a_2},$$

where K – conversion factors, A – stand age, P – relative density of stocking, a_0 , a_1 , a_2 – coefficients (Table 2).

Table 2. Coefficients of equations for calculations conversion factors in fresh fairly fertile forest site conditions (C2)

Components of phytomass	a_0	a_1	a_2	Determination coefficients R^2
Stems	0.268	0.116	0.102	0.65
Branches	0.182	-0.425	-0.318	0.38
Needles	0.427	-0.842	-0.198	0.46

As a result of the relevant calculations, tables of the dynamics of aboveground phytomass in man-made pine stands were compiled (Table 3).

Discussion.

Analysis of our modelling results (Table 3) shows that the maximum average change in the aboveground phytomass stock of pine stands in fresh fairly infertile and fresh fairly fertile sites occurs at the age of 40-50 years. The carbon storage capacity according to the maximum mean change in the carbon stock of aboveground phytomass in fresh relatively poor site conditions is the greatest at 50 years and is $1.4 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$, and in fresh fairly fertile site conditions, – at 40 years and is $1.6 \text{ tC} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$. The main component of the aboveground phytomass is the trunk, which accounts for 69 to 90% of the phytomass, depending on the age class. The total stock of carbon deposited by aboveground phytomass of pine gradually increases, and in the 80-year age in fresh fairly infertile sites reaches $95.2 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$, in fresh fairly fertile sites – $103.0 \text{ t} \cdot \text{ha}^{-1}$.

Another modelling of pine phytomass was conducted by I.P. Lakyda (Лакида, 2015) for urban forests of the city of Kyiv (Table 4), based on the local system of models for pine developed by P.I. Lakyda (Лакида, 2002) for forest stands of the main forest-forming species of Ukraine. Similar regional modelling for the Northern Steppe pine stands was conducted by V.M. Lovynska et al. (Ловинська та ін., 2021).

Table 3. Phytomass dynamics of man-made pine stands in fresh fairly infertile and fresh fairly fertile forest site conditions

Age, years	M, m ³ ·ha ⁻¹	Aboveground phytomass, t·ha ⁻¹				Total carbon stock, t·ha ⁻¹	Δ Mf, t·ha ⁻¹ ·year ⁻¹		Mean carbon stock change, t·ha ⁻¹ ·year ⁻¹
		stem	branches	needles	total		mean	annual	
fresh relatively poor site conditions									
10	18	5.5	1.9	1.4	8.8	4.3	0.9	–	0.4
20	86	30.8	5.2	3.3	39.3	19.5	2.0	3.1	1.0
30	169	64.6	8.2	4.4	77.3	38.4	2.6	3.8	1.3
40	243	96.9	10.2	4.9	112.0	55.7	2.8	3.5	1.4
50	302	122.7	11.7	5.1	139.6	69.5	2.8	2.8	1.4
60	345	143.7	12.3	5.0	160.9	80.2	2.7	2.1	1.3
70	379	160.4	12.7	4.9	177.9	88.7	2.5	1.7	1.3
80	404	173.3	12.8	4.6	190.8	95.2	2.4	1.3	1.2
fresh fairly fertile site conditions									
10	24	8.0	1.9	1.7	11.6	5.7	1.2	–	0.6
20	109	39.7	6.3	4.1	50.1	24.8	2.5	3.8	1.2
30	205	78.6	9.8	5.4	93.8	46.6	3.1	4.4	1.6
40	283	112.5	11.9	5.8	130.2	64.8	3.3	3.8	1.6
50	342	140.1	12.9	5.7	158.8	79.1	3.2	2.7	1.6
60	383	159.6	13.6	5.6	178.7	89.1	3.0	2.0	1.5
70	413	174.7	13.8	5.3	193.8	96.6	2.8	1.5	1.4
80	435	187.4	14.0	5.0	206.4	103.0	2.6	1.3	1.3

ΔMf – phytomass stock change.

The comparison of our data with Kyiv's urban pine forests (Table 4) reveals interesting patterns: the phytomass accumulation curves produced by both models display similar trends; however, our regional model consistently yields lower values (on average by 7.1%) with the gap widening notably in older stands beyond age class VI. This difference likely reflects varying environmental conditions, management intensities, and urban heat island effects that can influence tree growth patterns.

Table 4. Comparison of the dynamics of the main characteristics of man-made pine stands of site class Ia in the Left-Bank Forest-Steppe and the recreational pine forest of Kyiv

A, years	Data of the present study			According to Lakyda, 2015	
	H, m	Mf _{st} , t·ha ⁻¹	Mf, t·ha ⁻¹	Mf _{st} , t·ha ⁻¹	Mf, t·ha ⁻¹
20	10.1	39.7	50.1	42.7	53.7
30	14.6	78.6	93.8	82.7	96.2
40	18.6	112.5	130.2	120.2	134.9
50	22.0	140.1	158.8	152.7	167.6
60	24.9	159.6	178.7	180.0	194.9
70	27.3	174.7	193.8	203.3	218.0
80	29.4	187.4	206.4	223.4	237.9

The comparison of our data with the Northern Steppe model (Ловинська та ін., 2021) reveals differences in phytomass accumulation patterns (Table 5). While both regions exhibit peak carbon sequestration at the age of 40 years, the Left-Bank Forest-Steppe model demonstrates 15.4% higher phytomass values in fresh fairly fertile sites (C₂) compared to the Northern Steppe's B₂ sites (103.0 vs. 89.2 t·ha⁻¹ at the age of 80 years). The difference increased in older stands, with a 23.1% difference in stem biomass accumulation (78.4 vs. 63.7 t·ha⁻¹) by age 80 years, reflecting the combined effects of greater soil fertility and higher amount of precipitation in the Forest-Steppe zone.

The Northern Steppe data shows lower productivity, with carbon sequestration rates peaking earlier (35-45 years) and declining more rapidly after 50 years compared to our model. The maximum carbon storage capacity in the Northern Steppe B₂ sites reaches 1.3 tC·ha⁻¹·year⁻¹ at the age of 40 years, which is 7.7% lower than in our model for the Left-Bank Forest Steppe (B₂) (1.4 tC·ha⁻¹·year⁻¹). These differences align with the 18% reduction in mean annual precipitation amount (550 mm vs. 450 mm) in the Northern Steppe.

Table 5. Comparison of the dynamics of the main characteristics of man-made pine stands of site class I in the Left-Bank Forest-Steppe and the Northern Steppe

A, years	Data of the present study			According to Lovynska et al, 2021	
	H, m	M, m ³ ·ha ⁻¹	Mf, t·ha ⁻¹	M, m ³ ·ha ⁻¹	Mf, t·ha ⁻¹
20	8.8	86	39.3	48	20.1
30	12.7	169	77.3	131	50.4
40	16.2	243	112.0	208	80.8
50	19.2	302	139.6	263	108.0
60	21.8	345	160.9	299	129.9
70	24.0	379	177.9	322	146.6
80	25.9	404	190.8	337	158.4

The carbon sequestration rates observed in the Left-Bank Forest-Steppe pine stands (1.4-1.6 tC·ha⁻¹·year⁻¹) align with broader European patterns while revealing important regional variations. Studies across European Scots pine forests report average carbon sequestration of 123 ± 52 t ha⁻¹ in biomass, indicating substantial variability influenced by climate, soil conditions, and management practices (Brichta et al., 2024). The observed peak sequestration rates at the age of 40-50 years correspond with findings from other temperate pine ecosystems, where middle-aged stands typically exhibit maximum carbon accumulation rates before growth decline associated with stand maturation.

The development of region-specific conversion factors marks a significant step toward more accurate carbon accounting in Ukrainian forests and supports the implementation of effective climate change mitigation strategies. By including relative stocking density, the models address a key gap in previous estimates that overlooked the influence of stand structure on productivity. Peak carbon sequestration observed in middle-aged stands suggests that adjusting rotation periods could optimise both timber yield and climate benefits. However, projected increases in temperature and changes in precipitation across Eastern Europe (Brichta et al., 2024) may require revisions to current management approaches. Scots pine populations at the southern edge of their range, such as those in the Left-Bank Forest-Steppe, are particularly vulnerable to climate stress (Buksha et al., 2021), with the studies indicating possible range changes and reduced growth rates under climate scenarios (Buras, & Menzel, 2019). Understanding present-day carbon dynamics provides a vital baseline for adapting forest

management to ensure continued carbon sequestration under future climate conditions.

The findings provide critical guidance for optimizing forest management practices to enhance carbon sequestration while maintaining timber production. The peak accumulation of phytomass at 40-50 years of age suggests that rotation periods within this range can maximize carbon benefits, although economic considerations and forest health factors must also be evaluated. The predominance of stem biomass (69-90% of total phytomass) emphasizes the importance of maintaining tree health and reducing mortality to optimize carbon storage.

The development of conversion factors that are specific to forest site conditions enables targeted management approaches based on local productivity potential. This site-specific approach aligns with sustainable forest management principles that emphasize adapting practices to local ecological conditions while achieving multiple forest service objectives including carbon sequestration, biodiversity conservation, and timber production.

These regional models directly support Ukraine's obligations under international climate agreements, including UNFCCC reporting requirements and Paris Agreement commitments. The CBM-CFS3 compatibility of the developed conversion factors facilitates integration with national forest carbon accounting systems, enhancing the accuracy of greenhouse gas inventories. This integration is particularly important for Ukraine's potential participation in international carbon markets and climate finance mechanisms.

While offering valuable regional insights, this study is limited by its focus on modal pine stands, which may not represent the full diversity of forest conditions and management practices in the Left-Bank Forest-Steppe. Expanding the model to include mixed-species stands and a broader range of site conditions would improve its applicability for regional carbon accounting.

Conclusions.

1. The study provides regionally calibrated models for estimating bioproductivity and carbon stocks in Scots pine stands of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. The results show that carbon sequestration rates peak at 40-50 years ($1.4-1.6 \text{ tC}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{year}^{-1}$), with stem biomass as the main component.

2. Compared to other regions, such as Kyiv urban forests and the Northern Steppe, the Forest-Steppe stands show distinct productivity patterns, underlining the need to create localized models.

3. The developed conversion factors improve the accuracy of carbon accounting and are compatible with national and international reporting and carbon market requirements. These findings support more effective forest management and climate policy implementation in Ukraine.

Acknowledgments.

The authors are grateful to Volodymyr Yarotskiy, for his valuable help with data collection on monitoring

plots, the two reviewers and Valentyna Meshkova (Chief Researcher of entomology, phytopathology, and physiology department, URIFFM), who agreed to review the article before sending it to the journal and provided valuable comments and suggestions that improved the quality of the article.

We would like to thank the Armed Forces of Ukraine, local Territorial Defence Forces, Volunteers, and the entire Ukrainian nation for providing security to perform this work.

Funding sources.

The paper was prepared by the authors in the framework of a research plan of URIFFM (grants 0120U101894), which was supported by the State Forest Resources Agency of Ukraine.

Conflicts of Interest.

The authors declare no conflicts of interest.

References

- Bilous, A.M., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V., Svynchuk, V.A., & Lesnik, O.M. (2021). *Forest inventory handbook*. Kyiv: Publishing house Vinichenko. ISBN 978-966-981-403-6 [Білоус, А.М., Кашпор, С.М., Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., Лесник, О.М. (2021). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко»] (in Ukrainian)
- Brichta, J., Šimunek, V., Bílek, L., Vacek, Z., Gallo, J., Drozdowski, S. ... Fuchs, Z. (2024). Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*, 15, 91. <https://doi.org/10.3390/f15010091>
- Brichta, J., Vacek, S., Vacek, Z., Cukor, J., Mikeska, M., Bílek, L., ... Štefančík, I. (2023). Importance and potential of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 21-st century. *Central European Forestry Journal*, 69, 3-20. <https://doi.org/10.2478/forj-2022-0020>
- Buksha, I.F., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., Pasternak, V.P., & Buksha, T.I. (2021). Modelling and forecasting the impact of climate change on forests of Ukraine for 21st century time horizon. *Forestry Ideas*, 27, 470-482. https://www.researchgate.net/publication/360082545_MODELING_AND_FORECASTING_THE_IMPACT_OF_CLIMATE_CHANGE_ON_FORESTS_OF_UKRAINE_FOR_21ST_CENTURY_TIME_HORIZON
- Buras, A., & Menzel, A. (2019). Projecting Tree Species Composition Changes of European Forests for 2061–2090 Under RCP 4.5 and RCP 8.5 Scenarios. *Frontiers in Plant Science*, 9, 1986. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01986>
- Forest inventory sample plots. Establishing method* (2006). Corporate standard 02.02-37-476:2006. (2007). Valid from May 1, 2006. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання: СОУ 02.02-37-476:2006. Київ: Мінагрополітики України, 2006. 32 с.] (in Ukrainian)

- Gensiruk, S.A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Shevchenko Scientific Society Publishing House [Генсірук, С.А. (2002). *Ліси України*. Львів: Наук. т-во ім. Шевченка. 496 с.] (in Ukrainian)
- Hrom, M.M. (2010). *Forest mensuration*. 3rd edn. Lviv: NLTU [Гром, М.М. (2010). *Лісова таксація*. 3-є видання. Львів: ПВВ НЛТУ. 416 с.] (in Ukrainian)
- Jagodziński, A.M., Dyderski, M.K., Gesikiewicz, K., Horodecki, P., Cysewska, A., Wierczyńska, S. & Maciejczyk, K. (2018). How do tree stand parameters affect young Scots pine biomass? Allometric equations and biomass conversion and expansion factors. *Forest Ecology Management*, 409, 74-83. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.001>
- Kim, H., Kim, Y.-H., Kim, R. & Park, H. (2015). Reviews of forest carbon dynamics models that use empirical yield curves: CBM-CFS3, CO2FIX, CASMOFOR, EFISCEN. *Forest Science and Technology*, 11(4), 212-222. <https://doi.org/10.1080/21580103.2014.987325>
- Kovalevskyi, S.S. (2014). The development of multiple regression equations for the conversion coefficient of stands in the Dnieper upland Forest-Steppes. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(7), 55-60. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_7/10.pdf [Ковалевський, С.С. (2014). Розроблення множинних регресійних рівнянь конверсійних коефіцієнтів деревостанів Лісостепової Придніпровської височини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(7), 55-60] (in Ukrainian)
- Lakyda, I.P. (2015). Some peculiarities of bioproductivity assessment of recreational and sanitary forests on the example of pine stands of artificial origin of urban forests of Kyiv city. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(6), 71-77. <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/914> [Лакида, І.П. (2015). Особливості оцінювання біопродуктивності рекреаційно-оздоровчих лісів на прикладі штучних сосняків міських лісів Києва. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(6), 71-77] (in Ukrainian)
- Lakyda, P.I. (2002). *Phytomass of Ukrainian forests*. Ternopil: Zbruch [Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч. 256 с.] (in Ukrainian)
- Lovynska, V.M., Sytnyk, S.A., Chorna, V.I., & Maslikova, K.P. (2021). Dynamic bioproductivity of Scots pine stands within Northern Steppe of Ukraine conditions. *Agrology*, 4(3), 108–113 <https://doi.org/10.32819/021014> [Ловинська, В.М., Ситник, С.А., Чорна, В.І., Маслікова, К.П. (2021). Моделювання динаміки біопродуктивності деревостанів сосни звичайної в умовах Байрачного Степу України. *Agrology*, 4(3), 108–113] (in Ukrainian)
- Myronyuk, V.V., Bilous, A.M., & Bidolah, D.I. (2020). *Scientific-methodical recommendations for inventory of forest resources of Ukraine*. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine [Миронюк, В.В., Білоус, А.М., Бідолах, Д.І. (2020). *Науково-методичні рекомендації для інвентаризації лісових ресурсів України*. Київ: НУБіП України. 48 с.] (in Ukrainian)
- Ostapenko, B.F. (2003). Forest types of plane territory of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 13(3), 27-42. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/27_Ostapenko_13_3.pdf [Остапенко, Б.Ф. (2003). Типи лісу рівнинної території України. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 13(3), 27-42] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P., Nazarenko, V.V. & Karpets, Yu.V. (2014). The qualitative characteristics of Scots pine wood and phytomass of pine stands in forest-steppe in Kharkiv Region. *Forestry and Forest Melioration*, 125, 38-45. <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/8/125-pdf> [Пастернак, В.П., Назаренко, В.В., Карпец, Ю.В. (2014). Якісні характеристики деревини сосни звичайної та фітомаса сосняків Лісостепу Харківщини. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 125, 38-45] (in Ukrainian)
- Pasternak, V.P., Pyvovar, T.S. & Garmash, A.V. (2024). Models for modal man-made pine stands characteristics dynamics in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 144, 44-51. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.144.2024.44> [Пастернак, В.П., Пивовар, Т.С., Гармаш, А.В. (2024). Моделі динаміки показників модальних штучних соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 144, 44-51] (in Ukrainian)
- Pasternak, V., Pyvovar, T., & Yarotsky, V. (2020). Forest carbon stock in Left-bank Forest-Steppe of Ukraine according to intensive forest monitoring data. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 120-130. <https://doi.org/10.15421/412011>
- Pilli, R., Kull, S.J., Blujdea, V.N.B., & Grassi, G. (2018). The Carbon Budget Model of the Canadian Forest Sector (CBM-CFS3): customization of the Archive Index Database for European Union countries. *Annals of Forest Science*, 75, 71. <https://doi.org/10.1007/s13595-018-0743-5>
- Schelhaas, M.-J., Eggers, J., Lindner, M., Nabuurs, G., Pussinen, A., Paivinen, R., ... Zudin, S. (2007). Model documentation for the European forest information scenario model (EFISCEN 3.1. 3): Wageningen, The Netherlands: Alterra.
- Slyva, O.A. (2021). Growth dynamics and productivity of pine stands of the Chornobyl Exclusion Zone. Abstract doctoral dissertation, National Agrarian University, Kyiv, Ukraine. Retrieved from <https://dglb.nubip.edu.ua/items/8d768deb-e4e5-44d8-b4fc-d7af4480f536> [Слива, О.А. (2021). Динаміка росту та продуктивність соснових насаджень Чорнобильської зони відчуження: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Київ: НУБіП України] (in Ukrainian)
- Terentiev, A., Bala, O., Lakyda, P. & Bondar, H. (2023). Current state and productivity of Scots pine modal stands of the Forest Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(1), 105-123. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.105>

The Paris Agreement (2015). Retrieved from <https://unfccc.int/process-and-meetings/the-paris-agreement>

Vasylyshyn, R., Lakyda, M., Bidolah, D. & Lakyda, I. (2023). Carbon sequestrative capacity of Scots pine stands in urban forests of Kyiv city. *Scientific reports of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 2(102). [http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2\(102\).2023.016](http://dx.doi.org/10.31548/dopovidi2(102).2023.016) [Василишин, Р.Д., Лакида, М.О., Бідолах, Д.І., Лакида, І.П. (2023). Вуглецедепонувальна здатність соснових насаджень у міських лісах м. Києва. *Наукові доповіді НУБіП України*, 2(102)] (in Ukrainian)

Yarotskiy, V., Pasternak, V., & Nazarenko, V. (2019). Phytomass and mortmass assessment in pine Forests of Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Silva Balcanica*, 20(2), 63-71. <https://repo.btu.kharkov.ua/handle/123456789/12156>

Yarotskiy, V. Yu., Pyvovar, T.S., Pasternak, V.P., & Garmash, A.V. (2016). The structure of pine stands at the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(4), 56-59. <https://doi.org/10.15421/40260408> [Яроцький, В.Ю., Пивовар, Т.С., Пастернак, В.П., Гармаш, А.В. (2016). Структура соснових деревостанів Лівобережного Лісостепу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(4), 53-59] (in Ukrainian)

Біопродуктивність та динаміка запасів вуглецю модальних соснових насаджень у Лівобережному Лісостепу України

В.П. Пастернак¹, Т.С. Пивовар², А.В. Гармаш³

Моделювання вуглецевого бюджету лісів є важливим аспектом з погляду розуміння їхньої ролі у глобальному вуглецевому циклі, оцінювання їхнього потенціалу та сприяння ухваленню обґрунтованих рішень щодо сталого лісоуправління для оптимізації ролі лісового сектору у пом'якшенні зміни клімату. Для моделювання використовують різні інструменти, які базуються переважно на

даних інвентаризації та моделях динаміки вуглецю у надземній та підземній фітомасі, сухостої, підстилки та мінеральних ґрунтах.

Для розроблення нормативів динаміки фітомаси та вуглецю використано дані тимчасових і постійних пробних площ та ділянок інтенсивного моніторингу у соснових лісах Сумської та Харківської областей. На пробних і моніторингових ділянках здійснювали інструментальне оцінювання характеристик основних компонентів лісових насаджень та вимірювання параметрів модельних дерев за загальноприйнятими методами. Базисну щільність деревини встановлювали як відношення маси зразка в повністю сухому стані до його об'єму у свіжозрубаному стані. Середню щільність деревини стовбурів сосни розраховували за формулою залежно від показників локальної щільності та діаметрів на відносних висотах стовбура.

У цьому дослідженні проаналізовано результати розрахунку біопродуктивності та динаміки вуглецю деревостанів за участю *Pinus sylvestris* L. у Лівобережному Лісостепу України для основних типів лісорослинних умов. Математичні моделі, що описують динаміку нагромадження фітомаси та вуглецю, розроблені окремо для свіжого субору та свіжого сугруду. На основі цих моделей сформовано таблиці біопродуктивності для модальних соснових насаджень. Моделювання біопродуктивності базувалося на регіональних моделях росту соснових насаджень та конверсійних коефіцієнтах, які відображають процеси росту деревостанів та формування фітомаси. Досліджені соснові насадження Лівобережного Лісостепу мали дещо нижчі запаси фітомаси порівняно з модальними насадженнями рекреаційних та оздоровчих лісів Київського регіону. Дані для Північного Степу вказують на нижчу продуктивність. При цьому темпи поглинання вуглецю сягають піку дещо раніше (у 35-45 років) і знижуються швидше після 50 років, порівняно з нашою моделлю.

У Лівобережному Лісостепу максимальний середній річний приріст запасу вуглецю в модальних соснових насадженнях I бонітету досягається у 45-річному віці в умовах B_2 і у 40 років – в умовах C_2 . Максимум поглинання вуглецю, що спостережено у середньовікових насадженнях, свідчить про те, що коригування лісогосподарських заходів може оптимізувати як запас деревостанів, так і поглинання ними вуглецю. Однак за прогнозованого підвищення температури та зміни кількості опадів у Східній Європі виникне необхідність перегляду поточних підходів до управління. Розроблені моделі підвищують точність обліку вуглецю, сумісні з національною і міжнародною звітністю, вимогами ринку вуглецю та можуть підтримувати ефективніше управління лісами і впровадження кліматичної політики в Україні.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L.; конверсійні коефіцієнти; фітомаса; тип лісорослинних умов; клас бонітету.

¹ Пастернак Володимир Петрович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: pasternak65@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Пивовар Тетяна Сергіївна – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

³ Гармаш Анна Василівна – старший викладач, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: garmash1505@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1874-094X>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412513>

Article received 2025.02.17

Article revised 2025.03.06

Article accepted 2025.07.15

Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Vasyl Debryniuk

22v.debryniuk@nltu.lviv.ua

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*228.8 : 633.877

Лісівничо-таксаційна характеристика лісостанів *Picea abies* (L.) Karst. у пралісових угрупованнях Чивчино-Гринявських гір НПП «Верховинський»

В. Ю. Дебринюк¹, Л. Ф. Мацап'як², М. М. Нечай³, Я. І. Зеленчук⁴, І. І. Коляджин⁵,
В. В. Лавний⁶, С. І. Миклуш⁷, М. І. Сорока⁸, Ю. М. Дебринюк⁹

Досліджено старовікові ялинові лісостани, які характеризуються природним походженням, різновіковістю, присутністю дерев на межі фізіологічного розвитку, наявністю значної кількості самосіву і підросту, лежачої деревини усіх стадій розкладання, представництвом дерев усіх вікових стадій розвитку, відсутністю антропогенного впливу, тобто деревостани мають всі ознаки приналежності до пралісових угруповань.

Запас стовбурової деревини ростучих дерев, що представляють фазу пристигання, становить 514-589, фазу старіння – 449, фазу розпаду – 305 м³·га⁻¹. Запас сухоюстою становить, відповідно, 32-45, 39 та 98-117 м³·га⁻¹.

Досліджені старовікові деревостани переважно двоярусні. Перший ярус формують найвищі дерева *Picea abies*, часто – найбільшого діаметра. Другий ярус, незалежно від фази розвитку деревостану, виражений слабо і сформований відсталими у рості деревами або молодим поколінням.

Основна частка сухостійних дерев (63,4-90,4%) зосереджена у другому ярусі, тоді як більший запас сухоюстою притаманний переважно першому ярусу у зв'язку із більшим об'ємом стовбурів. У деревостані, який

¹ Дебринюк Василь Юрійович – аспірант кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: v.debryniuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3522-2652>. Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор Лавний Василь Володимирович.

² Мацап'як Людмила Федорівна – начальник науково-дослідного відділу НПП «Верховинський», с. Верхній Ясенів Верховинського району Івано-Франківської області, 78712, Україна. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-8624-3325>

³ Нечай Михайло Михайлович – директор Національного природного парку «Верховинський», с. Верхній Ясенів Верховинського району Івано-Франківської області, 78712, Україна. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4479-2307>

⁴ Зеленчук Ярослав Іванович – заступник директора з наукової роботи НПП «Верховинський», с. Верхній Ясенів Верховинського району Івано-Франківської області, 78712, Україна. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9862-0151>

⁵ Коляджин Іван Ігорович – фахівець з цивільного захисту, інженер з метрології Комунального некомерційного підприємства «Верховинська багатопрофільна лікарня» Верховинської селищної ради, селище Верховина Івано-Франківської області, 78701, Україна. E-mail: ivan_ko@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6790-7051>

⁶ Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lavnyu@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>. Керівник наукового проекту з дослідження пралісів.

⁷ Миклуш Степан Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-9762-1190>

⁸ Сорока Мирослава Іванівна – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів, 79057, Україна. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

⁹ Дебринюк Юрій Михайлович – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

знаходиться у фазі розпаду (ПП-10), майже весь сухостій як за кількістю дерев (51 шт./га), так і за запасом деревини ($108 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) зосереджений у першому ярусі.

За санітарним станом у фазі пристигання деревостан характеризується як без ознак ослаблення; у фазі старіння – як ослаблений; у фазі розпаду – як дуже ослаблений, що підтверджується зростаючими обсягами сухоостою (від 32 до $117 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Тенденція щодо кількості підросту зі зміною фази розвитку деревостану прослідковується слабо: 2,74-11,62; 8,28; 3,70-11,22 тис. шт./га. Основна причина значної варіабельності кількості підросту полягає у різній інтенсивності розвитку трав'яної рослинності, чому сприяє добра освітленість ділянок.

Ключові слова: деревостан; фази розвитку; сухостій; мертва лежача деревина; самосів; підріст; підстилка; трав'яне вкриття.

Вступ (Introduction).

На сьогодні практично не залишилося лісових масивів, які б повністю уникли опосередкованого антропогенного впливу, зокрема через атмосферний перенос забруднювальних речовин. Водночас у гірських регіонах Східної та Південно-Східної Європи ще збереглися окремі території, де лісові угруповання ніколи не зазнавали інтенсивної експлуатації, зокрема різних видів рубок (Манько, Войтків, Наконечний, 2019). У межах таких первинних лісових екосистем, сформованих під впливом різноманітних орографічних і кліматичних умов, безперервно відбуваються спонтанні філоценогенетичні процеси, що забезпечують підтримання високого еволюційного потенціалу лісових формацій. З цієї позиції саме старовікові ліси, залишки яких ще трапляються на території європейських країн, можуть розглядатися як модельні зразки, які мають виняткове значення для збереження біотичного, фітоценотичного й ландшафтного різноманіття (Сухарюк, 2006). У зв'язку з існуючою небезпекою їх зникання, завдання їхнього збереження є екологічним викликом європейського масштабу (Стойко, 2013).

Згідно з положеннями, розробленими працівниками Всесвітнього фонду дикої природи (WWF) та Міжнародного союзу охорони природи (IUCN), *пралісом* або *первинним лісом* вважають такий лісовий масив, який не зазнав жодного антропогенного впливу. Ширше визначення терміну «праліс» подано у звіті конференції міністрів лісового господарства Європи (1996), де зазначено, що *праліс* – це лісовий масив, який практично не зазнавав людського втручання і у своїй структурі та динаміці демонструє природний розвиток, причому його ґрунти, мікроклімат, флора, фауна й життєві процеси не зруйновані, не змінені через лісокористування, випас худоби або інший безпосередній чи опосередкований вплив людини.

За С.М. Стойком (2002), під *пралісами* розуміють лісові екосистеми, які сформувалися спонтанно у процесі філоценогенезу, в яких функціональні взаємозв'язки між автотрофним і гетеротрофним блоками та педосферою не порушені, і які представлені різними віковими групами (від ювенільної до сеньільної) та різними стадіями розвитку. У цьому сенсі праліси є збалансованою екосисте-

мою, здатною до самовідтворення, де впродовж століть відпрацьовані природні механізми біотичної стійкості.

Станом на 2020 р. в Україні ідентифіковано 97 тис. га пралісів, квазіпралісів і природних лісів, зокрема майже 50 тис. га – власне пралісів. Найбільші їхні площі зосереджені у Закарпатській та Івано-Франківській областях (відповідно, 63 і 21 тис. га). В інших областях виявлено окремі кластери таких лісів: Чернівецька – 7,0; Волинська – 1,4; Львівська – 0,7; Житомирська – 0,6; Рівненська – 0,6; Чернігівська – 0,3; Сумська – 0,2; Київська – 0,1 тис. га (Шпарик, Лосюк, Плига, 2022). Отже, в Україні офіційно встановлено достатньо значні площі пралісів і квазіпралісів, які потребують моніторингу за їхнім станом.

Пралісові екосистеми мають вагоме значення, насамперед, для збереження біорізноманіття, підтримання екологічного балансу в біосфері, забезпечення еволюційного процесу в органічному світі (Стойко, 2013). Праліси та інші природні ліси мають екомодельне значення для ренатуралізації трансформованих і похідних фітоценозів та підтримання сталого розвитку лісового господарства. Для забезпечення стабільності екосистем і збалансованого ведення лісового господарства вони повинні розвиватися на екологічних засадах наближеного до природи лісівництва (Naturnahe Forstwirtschaft) (Стойко, 2002).

Окрім антропогенного тиску, на продуктивність і стійкість пралісових угруповань значний вплив виявляють також і природні чинники, зокрема зміни клімату. Розвиваючись за законами природи, праліси, як унікальні недоторкані старовікові ліси, мають високу життєздатність, досить стійкі до природних, зокрема і кліматичних змін, хоча зміни клімату певною мірою зачіпають і пралісові угруповання. На думку С.М. Стойка (2002), пралісові екосистеми, як найбільш довготривалі, є своєрідними природними екомоделями для моніторингу щодо впливу кліматичних змін на рослинний покрив.

Найкраще обстеженими та вивченими у Карпатському регіоні є букові праліси, які в Українських Карпатах займають значну площу, і внесені до світової природної спадщини ЮНЕСКО (Чернявський, 1999; Парпан, Стойко, 1999; *Forests*

in the center of Europe...», 2003; Волощук, 2004; Commarmot, Namor, 2005; Гамор та ін., 2008; Іваненко, Парчук, 2008; Шпарик, Коммармот, Беркела, 2010; Гамор, 2011; Чернявський, Шпільчак, 2011; Стойко, 2013; Commarmot, Brändli, Namor, Lavnyu, 2013; Манько, Войтків, Наконечний, 2019 та ін.). Зокрема, на території Карпатського біосферного заповідника площа букових пралісів складає 22598,8 га, які представлені 16 субформаціями і 124 асоціаціями (Сухарюк, 2006).

Низку заходів на регіональному, державному і міжнародному рівнях для забезпечення охорони пралісових екосистем пропонують В.В. Лавний, М.В. Заяць (2007), серед яких: розроблення національної програми збереження біорізноманіття України; підняття на якісно новий рівень наукових досліджень у пралісах; моніторинг пралісових угруповань з метою виявлення динамічних тенденцій у лісових екосистемах та впливу зміни клімату на ріст і розвиток пралісів; налагодження обміну спеціалістами між природоохоронними та науковими установами як в Україні, так і за кордоном тощо. Запровадження таких заходів зменшить загрозу деградації пралісів від негативної дії абіотичних, біотичних та антропогенних чинників (Лавний, 2008).

Саме в таких пралісових екосистемах, сформованих ялиною європейською або смерекою (*Picea abies* (L.) Karst.), було здійснено дослідження лісівничо-таксаційних характеристик старовікових ялинових лісостанів, для збереження та вивчення яких був утворений НПП «Верховинський».

Актуальність проблеми полягає у дослідженні лісівничо-таксаційних характеристик ялинових пралісів як природних моделей сталого функціонування екосистем у сучасних екологічних умовах. Вивчення продуктивності пралісових екосистем є важливою передумовою запровадження наближеного до природи ведення лісового господарства в інших ялинових лісостанах, оскільки саме праліси можуть слугувати еталоном для формування біотично стійких і високопродуктивних лісових угруповань.

Мета роботи полягала в обстеженні пралісів за участю *Picea abies* (L.) Karst., дослідженні лісівничо-таксаційних характеристик і стану старовікових лісостанів.

Об'єкти та методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – процеси розвитку пралісових угруповань *Picea abies* у висотній рослинній смузі смерекових лісів (*Piceeta abietis*) в межах висот 1000-1600 м н.р.м. у типі лісу високогірна чиста сусмеречина. **Предмет досліджень** – лісівничо-таксаційна характеристика і стан старовікових лісостанів *Picea abies* у пралісових угрупованнях Чивчино-Гринявських гір НПП «Верховинський».

Дослідження проводили у два етапи. На *першому етапі* вибирали ділянку в межах пралісового

лісостану, деревостан якої характеризувався певною фазою розвитку, встановлювали його загальну лісівничо-таксаційну характеристику за елементами лісу, вивчали санітарний стан. Перелік дерев проводили за 1-сантиметровими ступенями товщини. Визначали видовий склад, ярусність деревостану, встановлювали наявність дерев на межі фізіологічного розвитку, а також наявність дерев усіх вікових фаз розвитку. Виявляли частку живих (ростучих) дерев і частку сухостою у деревостані, наявність мертвої деревини та її переважаючої стадії розкладання. Визначали кількісний і видовий склад самосіву, підросту і підліску. До самосіву відносили виключно 1-річні рослини. Для підросту встановлювали видовий склад, характер розташування на ділянці, його кількість. Встановлювали товщину лісової підстилки, ступінь її розкладання. Визначали видовий склад та розташування трав'яного покриття. На основі цих даних уточнювали тип лісу.

На *другому етапі* досліджень встановлювали наявність або сліди лісоексплуатаційної інфраструктури, сліди давніх або свіжих рубок, іншої лісогосподарської діяльності в минулому, сліди випасання худоби, заготівлі недревної продукції лісу. Також встановлювали ступінь рекреаційного навантаження на ділянку – наявність стежок, слідів від розкладання вогнищ, влаштування наметів тощо. До уваги брали також форму і розташування деревостану, особливі прикмети, характерні для конкретної ділянки (напр., стежки диких тварин).

Під час закладання пробних площ використано методичні напрацювання Інституту лісу, снігу і ландшафтів (Бірменсдорф, Швейцарія), згідно з якими розмір проб становить $71,2 \times 71,2$ м (5069 м²). Пробні площі такого розміру використовують, окрім вивчення лісівничо-таксаційних показників деревостанів, також і для дослідження процесу природного поновлення у пралісових угрупованнях. Під час закладання пробних площ визначали їхні координати за чотирма точками (по кутах квадрата). Дослідження проводили у другій половині вегетаційного періоду.

Пробні площі закладено у пралісах *Picea abies*. Ці старовікові смерекові лісостани було віднесено до пралісових угруповань за участю фахівців WWF-Україна на виконання вимог Закону України «Про внесення змін до деяких законодавчих актів України щодо охорони пралісів» згідно з Рамковою конвенцією про охорону і сталий розвиток Карпат (№2063-19 від 23.05.2017 р.) та згідно з положеннями «Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів» (наказ Міністерства екології та природних ресурсів України №161 від 18.05.2018 р.). За результатами проведених обстежень, на території НПП «Верховинський» було виділено 1823 га пралісів і квазіпралісів.

Усі досліджені смерекові природні лісостани чисті за складом та утворені аборигенним

видом – *Picea abies*, що є характерною особливістю вологих високогірних чистих сушмеречин (С₃-См). Досліджені старовікові смерекові лісостани відзначаються значною різновіковістю, що ускладнює встановлення їхнього віку. Тому вік деревостанів приймали за даними лісовпорядкування станом на 2019 рік.

Санітарний стан деревостану оцінювали за чотирма категоріями – без ознак ослаблення, ослаблений, дуже ослаблений, відмираючий.

Критерії та індикатори досліджених старовікових смерекових лісостанів повністю відповідають таким, які встановлені для пралісових угруповань (Про затвердження Методики..., 2018). Характеристику досліджених ділянок старовікових смерекових лісостанів наведено в табл. 1.

Успішність природного поновлення оцінювали за «Нормативами атестації та інвентаризації лісових культур і природного поновлення» (Інструкція з проектування..., 2010).

Латинські назви видів наведені за таксономічними електронними базами даних: вищих рослин – за World Flora Online (<https://www.worldfloraonline.org>), мікобіоти – за Index Fungorum (<https://www.indexfungorum.org>). Українські назви мохоподібних наведено за: М. Ф. Бойко (2015).

Результати (Results).

Місце для закладання пробної площі в пралісовому смерековому лісостані підбирали таким чином, щоби ділянка якнайповніше відображала ту чи іншу фазу розвитку пралісу. У всіх шести досліджених смерекових пралісах деревостани характеризуються наявністю дерев різних вікових груп, значною їхньою мінливістю за діаметром, наявністю лежачої деревини усіх стадій розкладання, присутністю дерев на межі фізіологічного розвитку та сухостійних дерев різної висоти і діаметра.

Ділянки деревостанів, у межах яких закладено **пробні площі №6, №9 та №11**, характеризуються оптимальною фазою розвитку (фазою пристигання) пралісового угруповання, за якої лісостан досягає свого оптимального віку і максимальної продуктивності, формується стабільна структура деревостану. Фаза розвитку характеризується найвищою зімкнутістю намету, що зумовлює недостатнє проникнення світла до поверхні ґрунту і гальмування лісовідновних процесів. Для фази пристигання характерна невелика кількість сухостою, що й відмічено на досліджених пробних площах. Сухостій представлений переважно дрібними деревами другого ярусу. Сухостійних дерев великої товщини небагато. Відмирання дерев зумовлює покращення світлового режиму, що, своєю чергою, активізує процес природного поновлення у вікнах і прогалинах, що утворюються в осередках всохлих дерев. У фазі пристигання, з одного боку, дерева досягають найбільших висоти і діаметра, нагромаджують максимальний запас деревини, а з іншого – починається процес формування мертвої деревини у вигляді сухостою.

Таблиця 1. Характеристика досліджених ділянок смерекових пралісів
Table 1. Characteristics of the studied areas of primeval spruce forests

Характеристики	№ пробної площі					
	6	9	11	8	7	10
Загальна характеристика, місцезнаходження та координати	Старовікові чисті смерекові лісостани природного походження характеризуються присутністю дерев різних вікових груп, значною мінливістю дерев за діаметром, наявністю дерев на межі фізіологічного розвитку, лежачої деревини усіх стадій розкладання, насамперед III і IV стадій.					
	Буркутське ПНДВ, ур. Лостун, кв. 23, вид. 22; Пд-3х схил 22°; (т. №1: N 47°50.649', E 024°46.417'; т. №2: N 47°50.635', E 024°46.367';	Буркутське ПНДВ, ур. Попадя, кв. 20, вид. 9; Пн-3х схил 20°; (т. №1: N 47°51.413', E 024°44.767'; т. №2: N 47°51.431', E 024°44.723';	Буркутське ПНДВ, ур. Попадя, кв. 20, вид. 9; Пн-3х схил 24°, на окремих ділянках – 30°; (т. №1: N 47°51.610', E 024°44.944'; т. №2: N 47°51.631', E 024°44.908';	Буркутське ПНДВ, ур. Брюсний, кв. 21, вид. 10; Пн-3х схил 20°; (т. №1: N 47°50.836', E 024°45.099'; т. №2: N 47°50.827', E 024°45.056';	Чивчинське ПНДВ, ур. Лостун, кв. 11, вид. 3; Пд-3х схил 16°; (т. №1: N 47°51.030', E 024°47.674'; т. №2: N 47°51.058', E 024°47.717';	Буркутське ПНДВ, ур. Попадя, кв. 20, вид. 9; Пн-3х схил 22°; (т. №1: N 47°51.487', E 024°44.821'; т. №2: N 47°51.492', E 024°44.763';

Продовж. табл. 1
Continuation of Table 1

Характеристики	№ пробної площі					7	10
	6	9	11	8			
Загальна характеристика, місцезнаходження та координати (продовження)	т. №3: N 47°50.671' E 024°46.346'; т. №4: N 47°50.684' E 024°46.391'	т. №3: N 47°51.461' E 024°44.750'; т. №4: N 47°51.445' E 024°44.799'	т. №3: N 47°51.599' E 024°44.869'; т. №4: N 47°51.589' E 024°44.915'	т. №3: N 47°50.860' E 024°45.0278'; т. №4: N 47°50.877' E 024°45.083'	т. №3: N 47°51.015' E 024°47.748'; т. №4: N 47°50.995' E 024°47.700'		т. №3: N 47°51.528' E 024°44.768'; т. №4: N 47°51.527' E 024°44.817'
Відстань між будь-якими двома протилежними межами через середину ділянки становить не менше 200 м. Розташування лісостанів на значній відстані від населених пунктів є ідеальним з погляду забезпечення природного розвитку пралісової екосистеми без втручання людини.							
Площа лісостану, форма і розташування	20,0 га; форма ділянки неправильна, наближена до прямокутної.	14,5 га; лісостан є частиною ялинового пралісу, до складу якого входять також вид. 23 пл. 3,4 га (кв. 20) та вид. 18 пл. 2,9 га (кв. 15). Форма ділянки – витягнутий прямокутник.	14,5 га; лісостан є частиною ялинового пралісу, який складається з вид. 23 пл. 3,4 га (кв. 20) та вид. 18 пл. 2,9 га (кв. 15) загальною площею 20,8 га. Форма ділянки – витягнутий прямокутник.	5,1 га; лісостан є частиною ялинового пралісу, який складається з трьох видів – 9, 10 і 14 загальною площею 19,5 га. Форма ділянки – витягнутий прямокутник.	20,0 га; форма ділянки наближена до трикутної.	14,5 га; лісостан є частиною ялинового пралісу, який складається з вид. 23 пл. 3,4 га (кв. 20) та вид. 18 пл. 2,9 га (кв. 15) загальною площею 20,8 га. Форма ділянки – витягнутий прямокутник.	
Висота н.р.м., м	1496	1402	1411	1462	1502	1404	
Антропогенний вплив	Сліди господарської діяльності (минулі і сучасні), сліди рубок, випасання худоби, заготівлі недревної продукції лісу, наявність туристичних стежок, слівід від багать, влаштування наметів, проїзду транспортних засобів тощо повністю відсутні. Також відсутня задокументована інформація щодо наявності колишньої лісоексплуатаційної інфраструктури та ведення господарської діяльності в минулому.						
Інше	–	Поблизу нижньої частини пробної площі знаходиться ведмежа барлога. Через усю ділянку проходить оленяча стежка.	ПП-11 закладена у тому ж лісостані, що й ПП-9 і ПП-10. Відмінними є фаза розвитку деревостану, стан природного поновлення, сирий ТЛЧ. Наявні два дерева, уражених блискавкою. Через ділянку проходить оленяча стежка.	Наявна значна кількість лишайників на гілках дерев. Трапляються окремі рослини <i>Fagus sylvatica</i> куцоподібної форми. Вірогідно, насіння занесене птахами з Румунських Карпат.	Ділянка розташована недалеко від висячого болота поблизу ур. Лостун; наявна невелика водойма (d ~ 2,0 м) з болотною водою, яку відвідують олені.	ПП-10 закладена у тому ж лісостані, що і ПП-9, однак деревостан на них суттєво відрізняється як за фазою розвитку, так і станом природного поновлення. Через всю ділянку проходить оленяча стежка. Внаслідок повалених стовбурів та виходу на поверхню джерел прохід по ділянці доволі ускладнений.	

За результатами досліджень у лісостані, де закладена ПП №6, варіативність таксаційних показників дерев дуже висока – як за діаметром (від 16 до 74 см), так і за висотою (від 6,0 до 33,7 м). Більша частина стовбурів ялини сформовані добре – як нижчих, так і вищих ступенів товщини. Поряд з цим, вірогідно значна висота н.р.м. вплинули на незадовільне очищення стовбурів – сухі сучки починаються з висоти двох-трьох метрів, а інколи й нижче. Стовбури збіжисті, гілки крони спрямовані вниз, як результат тривалої дії значної снігової маси. Поряд з цим, живі крони доволі щільні, займають в середньому 2/3 висоти стовбура. Деревостан досить високої зімкнутості. На пробній площі обліковано 270 дерев або 535 шт. на 1 га (табл. 2).

Запас стовбурової деревини першого ярусу ростучих дерев становить 456, другого – 58 м³·га⁻¹. Запас сухоостою першого ярусу становить 17, другого – 23 м³·га⁻¹, що складає, відповідно, 3,6 та 28,4% від загального запасу деревини першого і другого ярусів. Загальний запас стовбурової деревини обох ярусів (ростучі + сухостійні) доволі високий (554 м³·га⁻¹) і зумовлений відсутністю господарського втручання у процеси росту лісостану, а також його високою густотою. Три найтовщі дерева у деревостані мають діаметр 74, 74 та 68 см. Загальний вигляд старовікового лісостану представлено на рис. 1.

Аналізуючи розподіл дерев першого ярусу за діаметром на ПП №6, варто відзначити невелику кількість сухоостою. Сухий екземпляр значного діаметра (d = 72 см) представлений деревом, яке пройшло межу фізіологічного розвитку.

Найбільша кількість ростучих дерев першого ярусу зосереджена в діапазоні товщин стовбурів 34-44 см, після чого із збільшенням діаметра

стовбурів кількість екземплярів різко зменшується (рис. 2).

Найбільша кількість сухостійних дерев ялини на ПП №6 зосереджена саме в другому ярусі, які представлені в основному екземплярами нижчих ступенів товщини (9-20 см). Найбільша кількість ростучих дерев другого ярусу зосереджена у діапазоні товщин 26-28 см (рис. 3). За кількістю сухі дерева II ярусу наближаються до живих (95 і 132 шт.), але внаслідок низького діаметра запас стовбурової деревини сухих екземплярів в 2,5 раза менший, ніж ростучих (див. табл. 2).



Рис. 1. Фрагмент загального вигляду смерекового пралісу у фазі пристигання (ПП №6; Буркутське ПНДВ; кв. 23, вид. 22; 554 м³·га⁻¹)

Fig. 1. Fragment of the general view of a spruce primeval forest at the mortality stage sample plot No. 8; Burkut environmental research Department; sq. 21, view 10; 554 m³·ha⁻¹)

Таблиця 2. Лісівничо-таксаційна характеристика старовікових лісостанів *Picea abies* у пралісових угрупованнях НПП «Верховинський»

Table 2. Forest-mensuration characteristics of old-growth forests of *Picea abies* in primeval forest communities of the Verkhovynskiy National Park

N, шт./га		H, м		D, см		G, м ² ·га ⁻¹		M, м ³ ·га ⁻¹	
ростучі	сухі	ростучі	сухі	ростучі	сухі	ростучі	сухі	ростучі	сухі
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП №6; Буркутське ПНДВ; кв. 23, вид. 22; 170 р.; 10См; C ₃ -См; 1496 м н.р.м.									
I ярус									
298	10	25,8	25,9	42,4	40,8	42,08	1,31	456	17
II ярус									
132	95	19,3	16,3	24,1	18,9	6,02	2,67	58	23
ПП №9; Буркутське ПНДВ; кв. 20, вид. 9; 120 р.; 10См; C ₃ -См; 1402 м н.р.м.									
I ярус									
302	26	29,8	28,4	42,6	35,5	43,04	2,57	539	31

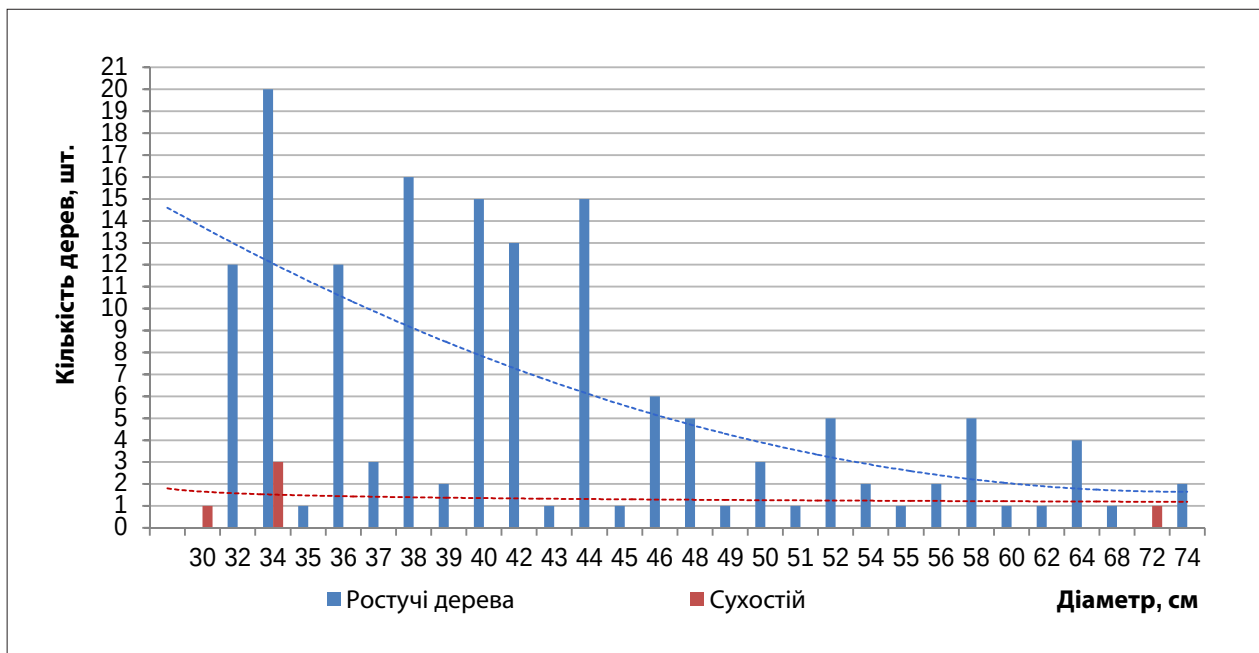
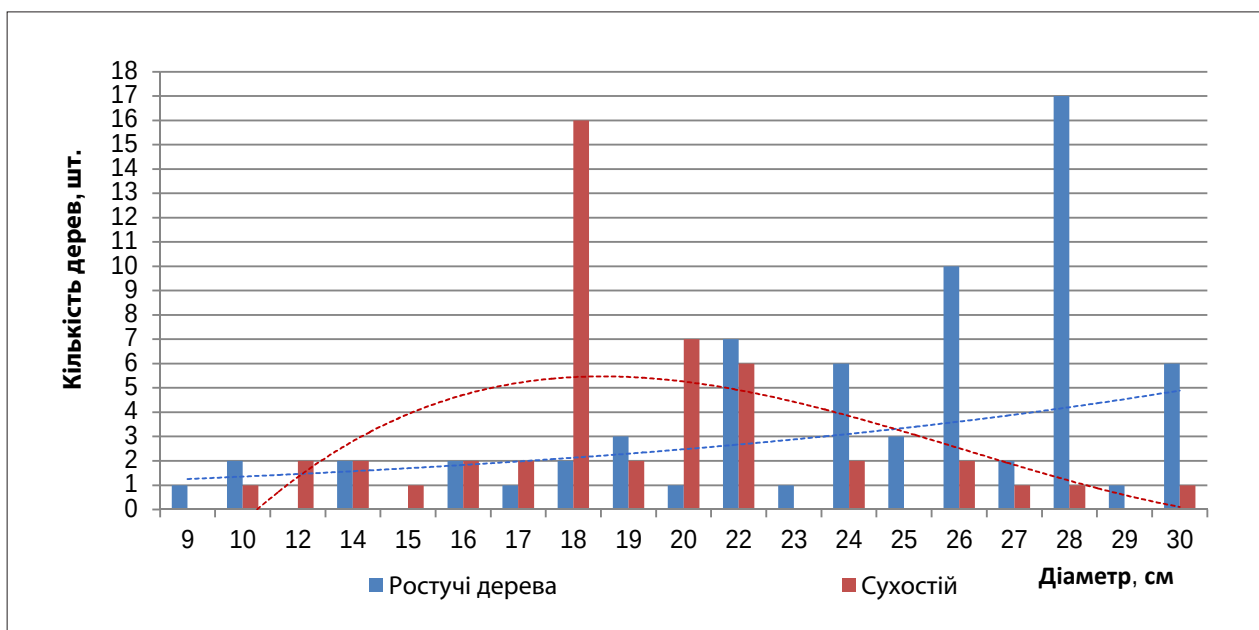
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
II ярус									
63	45	19,8	18,0	22,1	19,5	2,42	1,35	27	14
ПП №11; Буркутське ПНДВ; кв. 20, вид. 9; 120 р.; 10См; С ₄ -См; 1411 м н.р.м.									
I ярус									
253	8	32,1	33,1	45,8	50,7	41,67	1,62	564	22
II ярус									
51	24	22,2	22,1	22,1	20,5	1,96	0,79	25	10
ПП №8; Буркутське ПНДВ; кв. 21, вид. 10; 150 р.; 10См; С ₃ -См; 1462 м н.р.м.									
I ярус									
215	13	29,9	27,7	45,1	38,0	34,36	1,47	428	19
II ярус									
39	71	22,4	18,1	24,0	17,8	1,76	1,77	21	20
ПП №7; Чивчинське ПНДВ; кв. 11, вид. 3; 180 р.; 10См; С ₃ -См; 1502 м н.р.м.									
I ярус									
146	45	27,4	26,5	45,5	42,9	23,74	6,50	273	74
II ярус									
87	83	19,4	18,1	20,0	17,9	2,73	2,09	32	24
ПП №10; Буркутське ПНДВ; кв. 20, вид. 9; 120 р.; 10См; С ₃ -См; 1404 м н.р.м.									
I ярус									
254	51	32,2	31,3	46,0	44,0	42,21	7,76	570	108
II ярус									
4	18	26,2	22,9	26,5	22,4	0,22	0,71	3	8
III ярус									
89	4	12,8	17,3	9,6	16,0	0,64	0,08	5	1

Дерева відзначаються значною висотою, стовбури сформовані добре, проте сухі сучки на стовбурах починаються доволі низько, у багатьох дерев – майже від самої землі. При цьому спостережено сучки різної товщини – від тонких до доволі товстих.

Деревостан сформований екземплярами ялини різної товщини, але переважають дерева завтовшки 32-36 см. Дуже товстих дерев відносно небагато, що зумовлено відносно невисоким віком лісостану. Розмах ознак дерев на ПП №9 за розмірами доволі високий – як за діаметром (від 8 до 66 см), так і за висотою (від 15,1 до 34,1 м). Більша частина стовбурів ялини сформовані добре – як нижчих, так і вищих ступенів товщини. Стовбури середньо збіжисті, крони дерев середньої або високої щільності. Деревостан загалом високої зімкнутості,

хоча й наявні окремі вікна і прогалини. На пробній площі обліковано всього, з урахуванням сухою, 221 дерево або 436 шт. на 1 га.

Запас стовбурової деревини першого ярусу становить 570, другого – 41, сухою обох ярусів – 45 м³·га⁻¹. Запас сухою першого ярусу становить 31, другого – 14 м³·га⁻¹, що складає, відповідно, 5,4 та 34,1% від загального запасу першого і другого ярусів. Загальний запас стовбурової деревини живої частини деревостану обох ярусів загалом доволі високий і становить 566 м³·га⁻¹. Незважаючи на встановлений лісовпорядкуванням і наведений у таксаційних описах природоохоронних науково-дослідних відділень Парку відносно невисокий вік деревостану, у лісостані трапляються товсті дерева значного діаметра. Три найтовстіші дерева мають діаметр 66, 65 та 63 см.

Рис. 2. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №6 за діаметромFig. 2. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey of sample plot 6Рис. 3. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №6 за діаметромFig. 3. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 6

Найбільша кількість ростучих дерев першого ярусу зосереджена в діапазоні товщин стовбурів 40-46 см, після чого із збільшенням діаметра стовбурів кількість екземплярів помітно зменшується (рис. 4). Найбільшу кількість сухою (7 шт.) спостережено у діапазоні товщин 33-36 см. Поряд з цим, його частка доволі низька – 7,9% від загальної кількості дерев першого ярусу.

Найбільша кількість сухостійних дерев ялини на ПП №9 зосереджена саме в другому ярусі, які

представлені в основному екземплярами з товщиною стовбурів 10-21 см (рис. 5). Найбільша кількість ростучих дерев другого ярусу зосереджена у діапазоні товщин 26-29 см. За кількістю сухі дерева II ярусу наближаються до кількості живих (45 і 63 шт.), а їхня частка доволі висока – 41,7% від загальної кількості дерев другого ярусу. Проте, внаслідок низького діаметра запас стовбурової деревини сухих екземплярів в 1,9 раза менший, ніж живих (див. табл. 2).

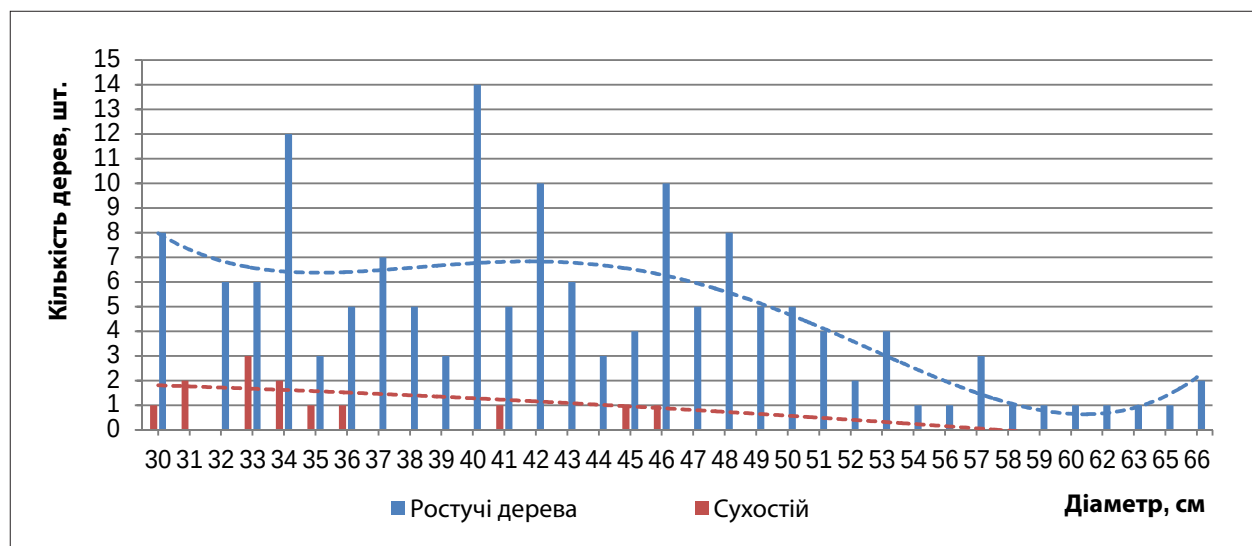


Рис. 4. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №9 за діаметром

Fig. 4. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey of sample plot 9

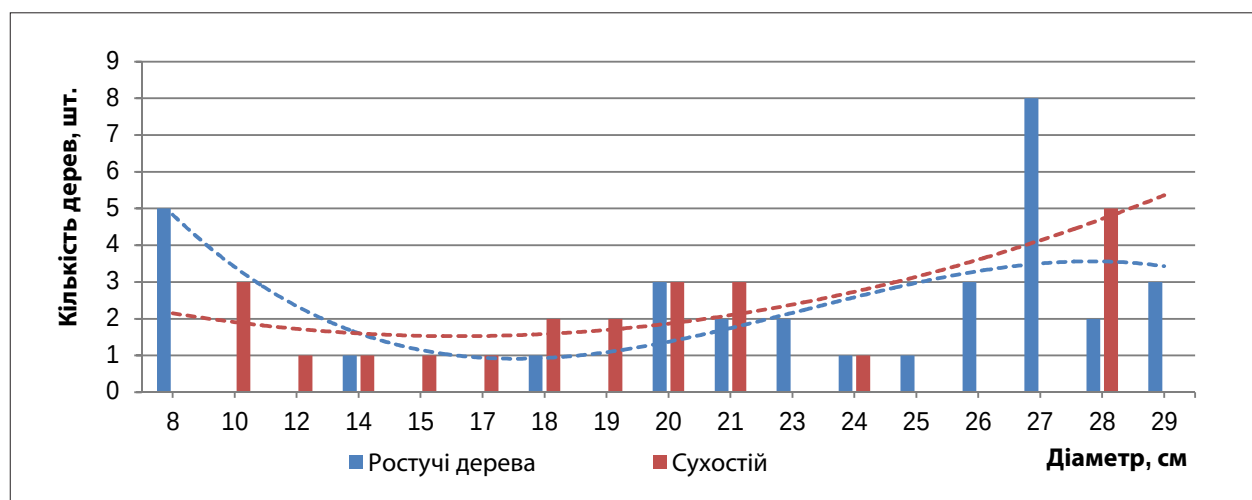


Рис. 5. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №9 за діаметром

Fig. 5. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 9

Дерева ялини у лісостані, де закладена ПП №11, відзначаються значною висотою, стовбури характеризуються середньою збіжистістю, однак окремі з них є сильно збіжистими. Сухі сучки на більшості стовбурів починаються майже від самої землі. Сучки переважно товсті або середньої товщини. Крони дерев середньої або високої щільності.

Деревостан сформований деревами різної товщини, але переважають екземпляри завтовшки 40-46 см. Дерев завтовшки 50 см і більше доволі багато – 85 шт. на 1 га. При цьому розмах ознак дерев за розмірами досить значний – як за діаметром (від 8 до 70 см), так і за висотою (від 12,4 до 37,5 м), що є однією із важливих ознак пралісового угруповання.

Деревостан низької зімкнутості, на ділянці наявні значні за площею прогалини, в основному – у місцях виходу на поверхню підземних джерел.

На пробній площі обліковано всього, з урахуванням сухою, 169 дерев або 336 шт. на 1 га.

Запас стовбурової деревини першого ярусу становить 586, другого – 35, сухою обох ярусів – 32 м³·га⁻¹. Запас сухою першого ярусу становить 22, другого – 10 м³·га⁻¹, що складає, відповідно, 3,8 та 28,6% від загального запасу стовбурової деревини першого і другого ярусів.

Загальний запас стовбурової деревини живої частини деревостану обох ярусів доволі високий і становить 589 м³·га⁻¹. У деревостані переважають дерева вищих ступенів товщини. Три найтовстіші ростучі екземпляри мають діаметр 70, 65 і 64 см, що не зовсім корелює із віком деревостану, встановленим лісовпорядкуванням (120 років).

Найбільша кількість ростучих дерев першого ярусу зосереджена в діапазоні товщин стовбурів 43-45 см. Другий екстремум спостережено

в діапазоні 51-54 см, після чого із збільшенням діаметра стовбурів кількість екземплярів зменшується. Перший ярус вміщає дуже мало сухостійних дерев (4 шт. на ПП) в діапазоні товщини 34-59 см (рис. 6).

Основна кількість сухостійних дерев ялини на ПП №11 зосереджена у другому ярусі, які представлені переважно екземплярами нижчих ступенів товщини (10-20 см). Загалом товщина стовбурів сухостійних дерев відзначається значною варіабельністю – від 10 до 29 см (рис. 7).

Найбільшу кількість ростучих дерев другого ярусу обліковано у діапазоні товщин 27-29 см. Їхній розподіл за товщиною також доволі варіа-

бельний. Перевага ростучих дерев над сухими за кількісним показником становить 2,1, за запасом деревини – 2,5 раза.

Отже, кількість ростучих дерев першого ярусу на пробних площах смерекових пралісів у фазі пристигання (ПП №6, №9, №11) змінюється в межах 128-153 шт. з максимальними показниками діаметра стовбура 66-74 см та мінімальними – 30-32 см (табл. 3). Середній діаметр дерев доволі подібний – 42,4-45,8 см з середньою мінливістю ознаки ($V = 19,2-21\%$). У всіх трьох варіантах точність дослідів дуже висока (1,6-1,7%), а довірчий інтервал представлений доволі вузьким числовим проміжком.

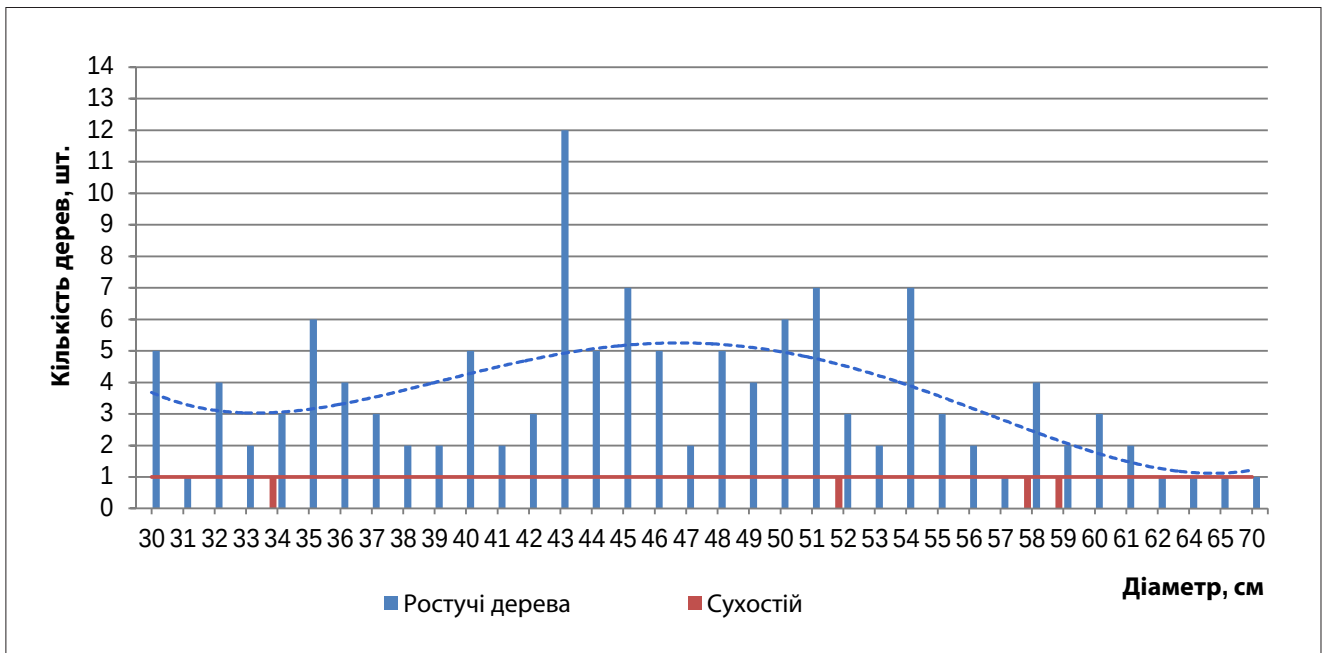


Рис. 6. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №11 за діаметром
Fig. 6. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey of sample plot 11

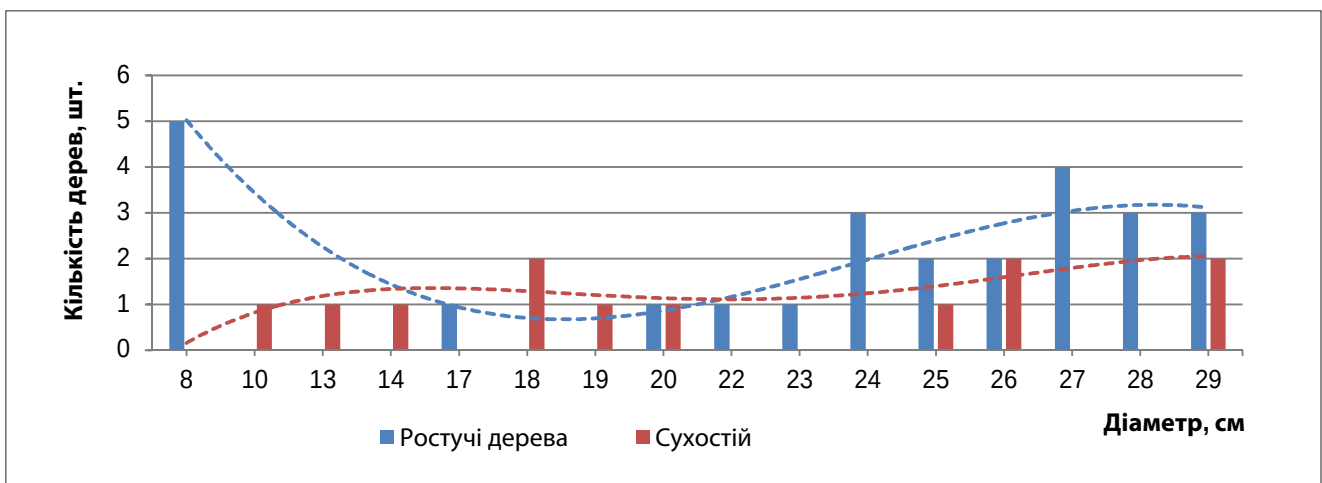


Рис. 7. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №11 за діаметром
Fig. 7. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 11

Таблиця 3. Біометричні показники ростучих дерев *Picea abies* за діаметром на пробних площах
Table 3. Biometric indicators of *Picea abies* trees by diameter in sample plots

Показники	№ пробної площі та яруси деревостану												
	6		9		11		8		7		10		
	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	I	II	III
К-сть спост. (N), шт.	151	67	153	32	128	26	109	20	74	44	129	Не встановлено; ярус утворений двома живими та дев'ятьма сухостійними деревами	45
Xmax, см	74	30	66	29	70	29	68	30	65	30	65		15
Xmin, см	32	9	30	8	30	8	31	9	31	8	30		8
Розмах варіації (R), см	42	21	36	21	40	21	37	21	34	22	35		7
Мода (Mo), см	34	28	40	27	43	8	44	30	44	30	52		8
Медіана (Me), см	40	26	42	25,5	45	25	44	27	46	21,5	46		9
Xс, см	42,4	24,1	42,6	22,1	45,8	22,1	45,1	24	45,5	20	46		9,6
Основне відхил. (σ), см	8,92	5,13	8,18	6,97	8,87	7,41	8,42	6,58	8,97	7,44	7,98		2,02
Коеф. варіації (V), %	21	21,3	19,2	31,6	19,4	33,5	18,7	27,4	19,7	37,2	17,3		21
Довірчий інтервал	41.00-43.85	22.86-25.32	41.31-43.90	19.65-24.48	44.24-47.31	19.27-24.96	43.55-46.71	21.16-26.94	43.43-47.52	17.83-22.22	44.66-47.42		9,05-10,24
Асиметрія	1,3	-1,25	0,63	-1,15	0,15	-1,2	0,41	-1,36	0,18	-0,21	0,04	1,22	
Ексцес	1,57	1,06	0,12	0,03	-0,56	-0,08	-0,53	0,85	-0,81	-1,36	-0,73	0,51	
Точність дослід. (P), %	1,71	2,6	1,55	5,59	1,71	6,57	1,79	6,12	2,29	5,6	1,53	3,13	

Примітка. Всі показники розраховано в межах площі пробної ділянки – 5069 м²

Показники асиметрії та ексцесу для трьох пробних площ дещо різняться між собою. Так, для ПП №6, №9 асиметрія є сильною, для ПП №11 – незначною. Для пробних площ №6 і №9 крива має правосторонню асиметрію і є гостровершинною, для ПП №11 крива характеризується правосторонньою асиметрією і є туповершинною. При цьому форми кривих розподілу діаметрів ростучих дерев за асиметрією та ексцесом помітно відрізняються між собою. Такий стан може бути зумовлений впливом на деревостани біотичних та абіотичних чинників, які стали причиною просторово-часової неоднорідності процесів росту й відпаду дерев, що

відобразилося на зміні статистичних характеристик розподілу їхніх діаметрів.

Кількість ростучих дерев другого ярусу змінюється в межах 26-67 шт. з максимальними показниками діаметра стовбура 29-30 см та мінімальними – 8-9 см (див. табл. 3). Середній діаметр дерев доволі подібний – 22,1-24,1 см з середньою мінливістю ознаки ($V = 21,3-33,5\%$). У всіх трьох варіантах точність дослід. висока лише на ПП №6 (2,6%), де кількість дерев другого ярусу найвища. На ПП №9 та ПП №11 точність дослід. помітно нижча (5,6-6,6%). Крива розподілу дерев за діаметром характеризується лівосторонньою

асиметрією і є гостровершинною. Характеристики елементів лісу на ділянках смерекових пралісів у фазі пристигання відображені в табл. 4.

Так, запас живої частини деревостанів обох ярусів на ПП №6, №9, №11 становить 514-614, сухоостою – 32-45 м³·га⁻¹. Санітарний стан деревостанів можна охарактеризувати як без ознак ослаблення.

Дерева на межі фізіологічного розвитку характерні для всіх трьох ділянок в кількості від 14 до 18 шт./га. Серед сухостійних дерев переважають екземпляри нижчих ступенів товщини (10-29 см). Серед лежачих дерев переважають екземпляри III-IV ступеня розкладання, які розташовані або локально, або відносно рівномірно по площі досліджуваних ділянок.

Самосів зосереджений переважно на повалених стовбурах IV ступеня розкладання. Безпосередньо на поверхні ґрунту самосіву мало, насамперед через сильний розвиток трав'яного ярусу.

Кількість підросту на ділянках визначається значною варіабельністю, хоча ділянки представлені подібними фазами розвитку лісостану (фаза пристигання). Найменше його на ПП №6 (2740 шт./га) внаслідок високої горизонтальної та вертикальної зімкнутості намету, наявності невеликої кількості вікон і прогалів. Встановлені нами пікети (25 шт.) для обліку підросту на пробній площі у переважній більшості випадків потрапляли за межі осередків природного поновлення, у результаті чого на ділянці обліковано незначну кількість підросту.

На двох інших ділянках кількість його більша. Так, на ПП №9 підросту ялини обліковано в кількості 11620, а горобини звичайної – 3060 шт./га, що є доволі високим показником (I клас якості) з урахуванням фази розвитку старовікового лісостану. Значно більшу кількість підросту, порівняно з ПП №6, можна пояснити суттєво слабшим розвитком другого ярусу та наявністю у деревостані окремих, значних за площею, прогалів.

В межах ділянки, де закладена ПП №11, порівняно з попередньою пробою, підросту ялини майже у два рази менше – 5100 тис. шт./га і його стан оцінюється як незадовільний. Пояснення полягає у наявності на площі численних підземних джерел, у межах впливу яких підріст ялини відсутній. Поряд з цим, спостережено добрий розвиток підросту горобини – 4260 тис. шт./га (див. табл. 4).

Назагал рослинність досліджених ділянок є класичним прикладом високогірних мономініантних ялинових лісів, які формуються поблизу верхньої межі поширення і є об'єктом охорони в Європі у системі мережі Natura 2000 (код 9410). У таких лісах ярус кущів практично не формується, лише на ПП №11 локально відмічено зарості смородини карпатської (*Ribes petraeum* Wulfen), зрідка трапляється також малина (*Rubus idaeus* L.). Щільний ярус кущиків тут майже всюди формує чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus* L.), типовий бореальний вид, характерний для ацидофільних лісів.

Таблиця 4. Характеристики елементів лісу на ділянках смерекових пралісів у фазі пристигання (оптимальна фаза розвитку)
Table 4. Characteristics of forest elements in areas of primeval spruce forests in the maturing-timber stage (optimal development phase)

Елементи лісу	№ пробної площі		
	6	9	11
Деревостан (походження; видовий склад; ярусність; санітарний стан)	Смерекові деревостани природного походження чисті за складом характеризуються значною різноманітністю. Наявні дерева різної висоти та діаметра, що характерно для високогірного поясу Українських Карпат та умов вологих високогірних сусмеречин. Деревостани утворені аборигенним видом – <i>Picea abies</i> (L.) Karst., і їхній склад відповідає типу лісу. Деревостани двоярусні. Перший ярус формують найвищі дерева ялини європейської, часто – найбільшого діаметра. Цей ярус є суттєво переважаючим як за кількістю дерев, так і за запасом деревини. Другий ярус виражений слабо. Він сформований відсталими у рості деревами або екземплярами значно молодшого віку. У деревостанах наявні дерева всіх вікових стадій розвитку, починаючи від підросту заввишки 0,2-6 м і віком 5-15 років та завершуючи екземплярами на межі фізіологічного розвитку (160-180 років). Санітарний стан смерекових деревостанів можна охарактеризувати цілому як без ознак ослаблення. Ослабленими, дуже ослабленими та відмираючими є лише невелика частина дерев. В основному – це екземпляри нижчих ступенів товщини.		
	У верхньому ярусі беруть участь дерева відносно невеликого діаметра (36-44 см), однак інколи вони мають перевагу за висотою над деревами значно більшого діаметра. Висота живого другого ярусу перевищує ¼ середньої висоти основного (першого) ярусу за різниці	У верхньому ярусі беруть участь дерева відносно невеликого діаметра (34-42 см), однак їхня висота наближається до висоти найтовстіших дерев. У другому ярусі є значна частка сухостійних дерев. Висота другого ярусу перевищує ¼ середньої висоти основного (першого) ярусу	Частина дерев другого ярусу (10 м ³ ·га ⁻¹) представлена сухоостою. Висота другого ярусу перевищує ¼ середньої висоти основного (першого) ярусу за різниці 31% (32,1 і 22,2 м). Запас деревини другого ярусу становить 35 м ³ ·га ⁻¹ . Деревостан

Продовж. табл. 4
Continuation of Table 4

Елементи лісу	№ пробної площі		
	6	9	11
Деревостан (походження; видовий склад; ярусність; санітарний стан)	27% (19 і 26 м). Запас деревини другого ярусу становить 81 м ³ ·га ⁻¹ . Деревостан характеризується досить високою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю. Крони добре зімкнуті, прогалини і вікон доволі мало.	за різниці 33,6% (29,8 і 19,8 м). Запас деревини другого ярусу становить 41 м ³ ·га ⁻¹ . Деревостан загалом характеризується доволі високою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю, проте наявні окремі, значні за площею, прогалини.	характеризується середньою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю. Значні за площею прогалини наявні у місцях виходу на поверхню підземних джерел.
Дерева на межі фізіологічного розвитку (кількість; розташування; таксаційна характеристика; ознаки відмирання)	Під час відбору кернів з найтовстіших дерев у дев'яти з них (з 25-ти) виявлено стовбурову гниль. Вони мають діаметр більше 50 см і на ділянці їх обліковано в кількості 8 шт. або 16 шт. на 1 га. За візуальною оцінкою їхній вік може становити 170 років і більше. Інколи у них можуть бути обламні верхівки стовбурів, але в більшості випадків ознак відмирання чи ослаблення біотичної стійкості дерев візуально не помітно.	Під час відбору кернів з найтовстіших дерев у шести з них (з 27-ми) виявлено стовбурову гниль. Дерева, що знаходяться на межі фізіологічного розвитку, представлені переважно товстими екземплярами (d = 55-68 см). Таких дерев на ділянці обліковано в кількості 9 шт. або 18 екземплярів на 1 га. Внаслідок негативної дії абіотичних чинників у частини дерев обламні верхівки стовбурів.	Під час відбору кернів з найтовстіших дерев у п'яти з них (з 26-ти) виявлено стовбурову гниль. У частини найтовстіших дерев у нижній частині стовбура спостережено нарости, виткання живиці, тріщини і заглиблення. Це старовікові дерева діаметром 58 см і більше. Таких екземплярів на ділянці обліковано в кількості 7 шт. або 14 дерев на 1 га.
Мертва деревина (сухостій; лежачі дерева; стадії розкладання)	У деревостанах наявні стоячі сухостійні дерева з різною стадією руйнування – в основному другого ярусу. На окремих сухостійних деревах ялини спостережено плодові тіла трутовика облямованого (<i>Fomitopsis pinicola</i>). Цей гриб також виявлено на більшості лежачих стовбурів ялини I-III ступенів розкладання.	Серед стоячих сухих дерев переважають екземпляри нижчих ступенів товщини (10-28 см), хоча є певна кількість сухоюстою вищих ступенів (31-45 см). Кількість останніх невисока (26 шт./га), що узгоджується із фазою розвитку деревостану. Три найтовстіші стоячі всохлі дерева мають діаметр 46, 45 і 41 см. На пробній площі обліковано всього 37 сухих екземплярів або 71 шт. на 1 га, що становить 16,3% від загальної кількості дерев. За запасом сухостій на пробі також займає невелику частку (45 м ³ ·га ⁻¹ або 7,4%). Виявлено середню кількість мертвої деревини різного ступеня розкладання, серед якої наявна деревина IV ступеня. Вона розташована локально у межах ділянки.	Серед стоячих сухих дерев переважають екземпляри нижчих ступенів товщини (10-29 см). Три найтовстіші стоячі всохлі дерева мають діаметр 59, 58 і 52 см. На пробній площі обліковано 15 сухих екземплярів або 32 шт. на 1 га, що становить 10,5% від загальної кількості дерев на ділянці. У загальному запасі частка деревини сухостійних дерев складає лише 32 м ³ ·га ⁻¹ або 5,2%. Виявлено значну кількість лежачих дерев, переважно III-IV ступеня розкладання, які розташовані відносно рівномірно у межах всієї території ділянки.

4Продовж. табл. 4
Continuation of Table 4

Елементи лісу	№ пробної площі		
	6	9	11
Самосів (розташування; видовий склад; кількість; стан)	Розташування самосіву дуже нерівномірне. Виявлено самосів лише <i>Picea abies</i> . Стан самосіву задовільний, пошкодження його дикими тваринами не виявлено.		
	Самосів трапляється рідко – по незадернених прогалинах в кількості до 1000 шт. на 1 га. Розташований окремими локалітетами – як у добре освітлених, так і в затінених місцях. Найбільшу кількість спостережено на стовбурах IV стадії розкладання.	Самосів зосереджений в основному на повалених стовбурах IV стадії розкладання. На окремих гнилих стовбурах кількість самосіву досить висока, досягаючи близько 10-12 тис. штук на 1 га.	Самосів зосереджений в основному на повалених стовбурах IV стадії розкладання. На окремих гнилих стовбурах кількість самосіву досить висока, досягаючи 8-10 тис. штук на 1 га.
Підріст (видовий склад; кількість; розташування; стан)	Підріст під наметом деревостану розташований локально. Зосереджений в основному на мертвій лежачій деревині IV ступеня розкладання.		
	Підрісту доволі мало. Навіть на стовбурах IV ступеня розкладання підріст трапляється рідко. В окремих локалітетах зосереджено на значна кількість підрісту, але на більшій частині площі підріст відсутній. Розташування його дуже нерівномірне. Загальна кількість підрісту ялини за обліковими круговими площаками становить 2740 шт. на 1 га, в т.ч. за вишки 10-39 см – 2640, 40-129 см – 80, більше 130 см – 20 шт. на 1 га. Склад підрісту – 10Ялс.	Підрісту відносно багато, різної висоти. Поряд зі зростанням на розкладеній лежачій деревині, деяка частина підрісту зосереджена безпосередньо на площі виділу – поза межами розкладеної деревини. Загальна кількість підрісту ялини за обліковими круговими площаками становить 11620 шт. на 1 га, в т.ч. за вишки 10-39 см – 10000, 40-129 см – 1080, більше 130 см – 480 шт. на 1 га. Склад підрісту – 8Ялс2Гор.	Підрісту на ділянці відносно мало, він має різну висоту. Дрібний підріст зосереджений в основному на мертвій деревині. Великомірний підріст зосереджений безпосередньо на площі ділянки – поза межами розкладеної деревини. Загальна кількість підрісту ялини за обліковими круговими площаками становить 5100 шт. на 1 га, в т.ч. за вишки 10-39 см – 4160, 40-129 см – 560, більше 130 см – 380 шт. на 1 га. Склад підрісту – 6Ялс4Гор.
Підлісок (видовий склад; кількість; розташування; стан)	Спостережено відсутність або слабкий розвиток підліску. Розташування локальне, стан рослин добрий або задовільний.		
	Внаслідок значної висоти н.р.м. і доволі високої зімкнутості крон підлісок повністю відсутній.	Незважаючи на наявність у лісостані прогалін, внаслідок сильного розвитку трав'яного покриття підлісок на ділянці відсутній.	На відкритих місцях – прогалинах трапляються малина (<i>Rubus idaeus</i> L.) та смородина карпатська (<i>Ribes petraeum</i> Wulfen).
Трав'яне покриття (видовий склад; проективне покриття; розташування)	Видовий склад трав'яного покриття подібний на всіх трьох ділянках – чорниця звичайна (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), ожика лісова (<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin), квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.), щитник шартрський, (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs), щитник австрійський (<i>Dryopteris dilatata</i> subsp. <i>dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray), безщитник жіночий (<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth), безщитник розставленолистий (<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz), підбілик альпійський (<i>Homogone alpina</i> (L.) Cass.), нечуй-вітер муровий (<i>Hieracium murorum</i> L.).		
	Те ж саме.	Крім згаданих вище, трапляється жовтозілля гайове (<i>Senecio nemorensis</i> L.).	Крім згаданих, наявні тирлич ваточниковий (<i>Gentiana asclepiadea</i> L.), сугайник австрійський (<i>Doronicum austriacum</i> Jacq.),

Продовж. табл. 4
Continuation of Table 4

Елементи лісу	№ пробної площі		
	6	9	11
Трав'яне вкриття (видовий склад; проективне вкриття; розташування) (продовження)			королиця круглолиста (<i>Leucanthemum rotundifolium</i> DC.), калюжниця болотна (<i>Caltha palustris</i> L.), гадючник в'язолистий (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.), кропива жабрієлиста (<i>Urtica galeopsifolia</i> J. Jacq. ex Blume), осот оманolistий (<i>Cirsium helenioides</i> (L.) Hill), аконіт молдавський (<i>Aconitum moldavicum</i> Hascq.)
Мохове вкриття, лишайники (видовий склад; розташування)	Моховий покрив представлений низкою видів, які розташовані локально – без формування суцільного покриву. Домінуючими видами мохоподібних є рунянка гарна (<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.), дікран мітлоподібний (<i>Dicranum scorarigum</i> Hedw.), ортодікран гірський (<i>Orthodicranum montanum</i> (Hedw.) Loeske), короткокошик оксамитовий (<i>Brachytheciastrum velutinum</i> (Hedw.) Ignatov & Huttunen), плевроцій Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.), гілокомій блискучий (<i>Hylacomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.) Із лишайників найпоширенішими є епіфіти – гіпогімнія здута (<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.), лепарія сиза (<i>Leparia incana</i> (L.) Ach.), евернія сливова (<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.), уснея бородача (<i>Usnea barbata</i> (L.) F. H. Wigg.).		
	Те ж саме.	Крім згаданих вище – пофалдовник трикутний (<i>Hylcomiadelphus triquetrus</i> (Hedw.) Ochyra & Stebel.), оманозубець довголистий (<i>Anomodontella longifolia</i> (Schleich. ex Brid.) Ignatov & Fedosov).	Крім згаданих вище – косостеблик хвилястий (<i>Plagiomnium undulatum</i>), розеточник рожевий (<i>Rhodobryum roseum</i> (Hedw.) Limpr.), сфагнум Гіргензона (<i>Sphagnum girgensohnii</i> Russow).
Підстилка (товщина; ступінь розкладання; тип)	На більшій частині ділянок, зокрема і в межах пробних площ (S = 5069 м²) тип лісової підстилки за своїми ознаками нагадує мулль, хоча цей тип не є характерним для чистих хвойних лісів.	Підстилка під наметом лісостану напіврозкладена або повністю розкладена (у локалітетах зростання папороті чи осоки) і характеризується товщиною до 1,0 см. У складі підстилки на 95% переважає напіврозкладена ялинова хвоя.	Лісова підстилка представлена добре перегнилими органічними рештками, на поверхні яких присутня напівперегнила ялинова хвоя. Шар підстилки не перевищує 1 см. На більшій частині ділянки верхній шар підстилки (до 1 см) напіврозкладений. У місцях розташування гігрофільної рослинності підстилка розкладається на повністю.

Видовий склад трав'яного вкриття подібний на всіх трьох ділянках з перевагою ожики лісової (*Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin), квасениці звичайної (*Oxalis acetosella* L.), жовтозілля гайового (*Senecio nemorensis* L.) та папоротей – щитників шартрського (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs) і австрійського (*D. dilatata* subsp. *dilatata* (Hoffm.) A.Gray), безщитників жіночого (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth) та розставленолистого (*A. distentifolium* Tausch ex Opiz).

Поодинокі особини широколистих трав представлені гірськими видами, серед них сугайник австрійський (*Doronicum austriacum* Jacq.), королиця круглолиста (*Leucanthemum rotundifolium* DC.), підбілик альпійський (*Homogyne alpina* (L.) Cass.), ціцербіта альпійська (*Adenostyles alliariae* (Gouan) A.Kern.), нечуй-вітер муровий (*Hieracium murorum* L.), тирлич ваточниковий (*Gentiana asclepiadea* L.).

Оригінальним складом рослин вирізняється ПП №11, де видова насиченість є порівняно високою за рахунок появи гігрофільних видів поблизу виходу на поверхню численних джерел. Тут відмічені калюжниця болотна (*Caltha palustris* L.), гадючник в'язолистий (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), кропива жабрієлиста (*Urtica galeopsifolia* J.Jacq. ex Blume), осот оманолистий (*Cirsium helenioides* (L.) Hill). Для всіх ділянок характерним є добре сформоване мохове вкриття, у якому домінує рунянка гарна (*Polytrichum formosum* Hedw.), велику частку складають також дікран мітлоподібний (*Dicranum scoparium* Hedw.), ортодікран гірський (*Orthodicranum montanum* (Hedw.) Loeske), косостеблик хвилястий (*Plagiomnium undulatum* (Hedw.) T.J.Kop.), спорадично трапляються також розеточник рожевий (*Rhodobryum roseum* (Hedw.)

Limpr.), пофалдовник трикутний (*Hylocomiadelphus triquetrus* (Hedw.) Ochyra & Stebel.), короткокошик оксамитовий (*Brachytheciastrum velutinum* (Hedw.) Ignatov & Huttunen), плевроцій Шребера (*Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt.), оманозубець довголистий (*Anomodontella longifolia* (Schleich. ex Brid.) Ignatov & Fedosov), гілокомій блискучий (*Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp.), а у місцях заболочення – куртини сфагнума Гіргензона (*Sphagnum girgensohnii* Russow).

Із лишайників найпоширенішими є епіфіти – гіпогімнія здута (*Hypogymnia physodes* (L.) Nyl.), лепрарія сиза (*Lepraria incana* (L.) Ach.), евернія сливова (*Evernia prumastri* (L.) Ach.), уснея бородата (*Usnea barbata* (L.) F.H. Wigg.).

Підстилка добре розкладена, її товщина не перевищує 1,5 см, що дає підставу охарактеризувати її як муль, хоча цей тип підстилки для хвойних лісів, зокрема високогірних, не є характерним.

Ділянка старовікового деревостану, де закладена **пробна площа №8**, знаходиться у фазі старіння (перестійна фаза). Ріст дерев сповільнений, вони поступово втрачають життєздатність. Відбувається відмирання старих дерев, тому у деревостані є значна кількість великих сухостійних екземплярів. Деревата часто з дуплами, повністю або частково без кори, заселені комахами. Деревостан характеризується значними за розміром прогалинами, наявна значна кількість лежачих дерев різного ступеня розкладання. На відкритих незадернілих ділянках, особливо на стовбурах дерев IV стадії розкладання, проходить інтенсивний процес природного поновлення. Формується сприятливе мікросередовище для різних видів грибів, мохів і комах. Характеристика елементів лісу на ділянці смерекового пралісу представлена в табл. 5.

Таблиця 5. Характеристика елементів лісу на ділянці смерекового пралісу (ПП №8) у фазі старіння (перестійна фаза)

Table 5. Characteristics of forest elements in a spruce primeval forest area (sample plot No. 8) in the aging stage (over mature phase)

Елементи лісу	Характеристика
Деревостан (походження; видовий склад; ярусність; санітарний стан)	Деревостан природного походження чистий за складом характеризується значною різновіковістю. Наявні дерева різної висоти та діаметра. Деревостан утворений аборигенним видом – <i>Picea abies</i> , і його склад відповідає типу лісу. Деревостан двоярусний. Перший ярус формують найвищі дерева ялини європейської, часто – найбільшого діаметра. У верхньому ярусі також беруть участь дерева відносно невеликого діаметра (30-40 см), однак їхня висота подібна до такої у дерев, що мають значно більший діаметр (50-68 см). Другий ярус сформований деревами значно молодшого віку або відсталими у рості екземплярами. Частина дерев другого ярусу представлена сухостоєм. Висота другого ярусу перевищує ¼ середньої висоти основного (першого) ярусу за різниці 25% (29,9 і 22,4 м). У деревостані наявні дерева всіх вікових стадій розвитку, починаючи від підросту заввишки 0,2-6 м і віком 5-15 років і завершуючи екземплярами на межі фізіологічного розвитку (160 і більше років). Деревостан характеризується середньою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю. У деревостані наявні значні за площею прогалини, що сприяє інтенсивному розвитку трав'яного вкриття. Санітарний стан лісостану можна охарактеризувати, як <i>ослаблений</i> , що зумовлено, насамперед, переходом

Елементи лісу	Характеристика
Деревостан (походження; видовий склад; ярусність; санітарний стан) (продовження)	деревостану у фазу старіння. Серед стоячих сухих дерев переважають екземпляри нижчих ступенів товщини (11-19 см). Процес всихання дерев вищих ступенів товщини (30-40 см) лише розпочинається. Їхня кількість доволі низька. Три найтовщі стоячі всохлі дерева мають діаметр 52, 43 і 41 см. На пробній площі обліковано 43 сухі екземпляри або 84 шт. на 1 га, що становить 24,8% від загальної кількості дерев на ділянці. За запасом сухостій займає невелику частку (39 м ³ ·га ⁻¹ або 8%). Частина стовбурів і гілок дерев вкриті накипними лишайниками, ступінь вкриття – слабка.
Дерева на межі фізіологічного розвитку (кількість; розташування; таксаційна характеристика; ознаки відмирання)	У деревостані наявні дерева значного діаметра (55-68 см), частина з яких з високою ймовірністю перебувають на межі фізіологічного розвитку. Вірогідно, у такому стані перебувають дерева і менших діаметрів (50-54 см), які з певних причин не досягли більшої товщини. Під час відбору кернів з найтовстіших дерев у семи з них (з 28-ми) виявлено стовбурову гниль. Оскільки деревостан вступив у фазу старіння, то до дерев на межі фізіологічного розвитку доцільно віднести найтовщі екземпляри (d = 55-68 см), у частини з яких наявна стовбурова гниль, підтікання смоли, зріджена крона, обламана верхівка, плодові тіла дереворуйнівних грибів. На пробній площі дерев з такими ознаками обліковано в кількості 12 шт. або 24 шт. на 1 га. За візуальною оцінкою їхній вік може становити 150-170 років.
Мертва деревина (сухостій; лежачі дерева; стадії розкладання)	У деревостані наявні сухостійні дерева з різною стадією руйнування з переважанням діаметра 11-21 см. Це в основному екземпляри другого ярусу. Запас сухостійних дерев не перевищує 40 м ³ ·га ⁻¹ . На окремих сухостійних деревах ялини спостережено плодові тіла <i>Fomitopsis pinicola</i> . Їхня кількість переважно невелика. У лісостані виявлено середню кількість мертвої деревини різного ступеня розкладання, серед якої наявна деревина IV ступеня. Вона розташована локально у межах всієї території ділянки і є сприятливим середовищем для розвитку самосіву і підросту. На лежачих стовбурах I-III ступенів розкладання наявна значна кількість плодових тіл <i>Fomitopsis pinicola</i> .
Самосів (розташування; видовий склад; кількість; стан)	Самосів зосереджений в основному на повалених стовбурах ялини IV стадії розкладання, хоча й трапляється безпосередньо на прогалинах. На окремих гнилих стовбурах кількість його дуже висока. Густота сягає 10-15 тис. штук на 1 га. Розташування самосіву на ділянці нерівномірне. Частина самосіву також зосереджена на залишках гнилих пенеків.
Підріст (видовий склад; кількість; розташування; стан)	Підросту доволі багато, різної висоти. Він зосереджений в основному на мертвій деревині IV ступеня розкладання. Саме тут знаходиться найбільша частка підросту. Поряд з цим, значна частина підросту зосереджена безпосередньо на площі виділу – поза межами розкладеної деревини. Наявність прогалин у лісостані активізує процес природного поновлення у випадку, якщо не відбувається інтенсивного розвитку трав'яного вкриття. Загальна кількість підросту за обліковими круговими площадками становить 8280 шт. на 1 га, в т.ч. заввишки 10-39 см – 6480, 40-129 см – 720, більше 130 см – 1080 шт. на 1 га. Склад підросту – 10Яле + Гор.
Підлісок (видовий склад; к-сть; розташування; стан)	Незважаючи на наявність у лісостані прогалин, внаслідок сильного розвитку трав'яного вкриття та ярусу кущиків чорниці звичайної (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.) підлісок на ділянці відсутній.
Трав'яне вкриття (видовий склад; проективне вкриття; розташування)	Ожика лісова (<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin), квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.), щитник шартрський, (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H.P.Fuchs), щитник австрійський (<i>Dryopteris dilatata</i> subsp. <i>dilatata</i> (Hoffm.) A.Gray), безщитник жіночий (<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth.), безщитник розставленолистий (<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz), підбілик альпійський (<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass.), нечуй-вітер муровий (<i>Hieracium murorum</i> L.). Інші трав'яні види трапляються локально – тирлич ваточниковий (<i>Gentiana asclepiadea</i> L.), сугайник австрійський (<i>Doronicum austriacum</i> Jacq.), королиця круглолиста (<i>Leucanthemum rotundifolium</i> DC.), калюжниця болотна (<i>Caltha palustris</i> L.), гадючник в'язолистий (<i>Filipendula ulmaria</i> (L.) Maxim.), кропива жабрієлиста (<i>Urtica galeopsifolia</i> J.Jacq. ex Blume), осот оманolistий (<i>Cirsium helenioides</i> (L.) Hill), аконіт молдавський (<i>Aconitum moldavicum</i> Насц.). Розташування трав'яного вкриття на ділянці рівномірне. Проективне вкриття трав становить 80%.

Елементи лісу	Характеристика
Мохове вкриття, лишайники (видовий склад; розташування)	Моховий покрив представлений низкою видів, серед яких найпоширенішими є рунянка гарна (<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.), дікран мітлоподібний (<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.), ортодікран гірський (<i>Orthodicranum montanum</i> (Hedw.) Loeske), короткокошик оксамитовий (<i>Brachytheciastrum velutinum</i> (Hedw.) Ignatov & Huttunen), плевроцій Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.), гілокомій блискучий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp. Із лишайників переважає евернія сливова (<i>Evernia prunastri</i> (L.) Ach.).
Підстилка (товщина; ступінь розкладання; тип)	Підстилка під наметом лісостану напіврозкладена або повністю розкладена (у локалітетах зростання папороті чи осоки) і характеризується товщиною до 1,0 см. Лісова підстилка представлена майже повністю перегнилими органічними рештками, на поверхні яких присутня напівперегнила ялинова хвоя. Тип лісової підстилки на більшій частині ділянки за своїми ознаками нагадує муль.

Загалом на ділянці, де закладена ПП №8, дерева характеризуються значною висотою, стовбури сформовані добре, проте сухі сучки на стовбурах починаються доволі низько, у багатьох дерев – майже від самої землі. Ростучі дерева першого ярусу відзначаються подібною висотою, незалежно від діаметра. Розмах ознак дерев за розмірами дуже високий – як за діаметром (від 8 до 68 см), так і за висотою (від 12,8 до 34,1 м). Більша частина стовбурів ялини сформовані добре – як нижчих, так і вищих ступенів товщини. Стовбури середньо збіжисті. Живі крони дерев середньої або високої щільності, займають переважно 2/3 висоти стовбура. На пробній площі обліковано всього, з урахуванням сухостою, 172 дерева або 338 шт. на 1 га (рис. 8).



Рис. 8. Фрагмент загального вигляду смерекового пралісу у фазі старіння (ПП №8; Буркутське ПНДВ; кв. 21, вид. 10; 488 м³·га⁻¹)

Fig. 8. Fragment of the general view of a spruce primeval forest at the aging stage (sample plot No. 8; Burkut environmental research Department; sq. 21, view 10; 488 м³·ha⁻¹)

Запас стовбурової деревини першого ярусу становить 447, другого – 41, сухостою в обох ярусах – 39 м³·га⁻¹ (див. табл. 2). Запас сухостою першого

ярусу становить 19, другого – 20 м³·га⁻¹, що складає, відповідно, 4,3 та 24,7% від загального запасу першого і другого ярусів. Загальний запас стовбурової деревини живої частини деревостану обох ярусів становить 449 м³·га⁻¹. Основна причина формування невисокого стовбурового запасу – відносно рідке розташування дерев, наявність прогалів у деревостані.

Три найтовстіші дерева у деревостані мають діаметр 68, 62 та 61 см.

Максимальна кількість ростучих дерев ялини у першому ярусі зосереджена в діапазонах діаметрів стовбурів 42-46 см, дещо менша – в діапазоні 50-55 см (рис. 9). Кількість сухостійних дерев ялини у першому ярусі ПП №8 незначна – 7 шт., в основному це дерева діаметром 31-34 см.

Основна кількість сухостійних дерев ялини на пробній площі (35 шт.) зосереджена в другому ярусі з максимальною кількістю в діапазоні 11-21 см (рис. 10). Сухостійні екземпляри охоплюють практично весь діапазон товщин – від 8 і до 30 см. При цьому кількість ростучих дерев у другому ярусі в 1,8 раза менша, ніж сухих. В основному, це відсталі в рості дерева, які відносяться до V^b класу Крафта і не витримали конкуренції з боку більш швидкорослих екземплярів.

Середній діаметр ростучих дерев першого ярусу (45,1 см) подібний до таких у трьох попередніх деревостанах (42,4-45,8 см) (див. табл. 3). Те ж саме стосується і ростучих дерев ялини другого ярусу (24,0 см та 22,1-24,1 см). Коефіцієнт варіації дерев за діаметром ростучої частини деревостану першого ярусу середній (V = 18,7%), дерев другого ярусу – значний (V = 27,4%). Поряд з цим, точність дослідів для ростучих дерев першого ярусу дуже висока (P = 1,79%), тоді як для дерев другого ярусу точність дослідів дещо перевищує показник в 5% (6,1%), що можна пояснити зосередженням основної частки дерев саме у першому ярусі.

Крива розподілу діаметрів ростучих дерев ялини першого ярусу характеризується помірною правосторонньою асиметрією і є туповершинною,

що засвідчує перевагу товстіших дерев у складі деревостану та «розтягнутість» значень їхніх діаметрів уздовж осі абсцис.

На ділянці обліковано доволі високу кількість життєздатного підросту ялини та горобини, відповідно, 8280 та 520 шт. на 1 га, що можна оцінити як добрий стан (II клас якості). Перевага належить дрібному підросту ялини заввишки 10-39 см, кількість якого становить 6480 шт./га.

Пробні площі №7 та №10 були закладені на ділянках деревостанів, які можна охарактеризувати як такі, що знаходяться на межі фаз розпаду і відновлення. Так, для досліджуваних ділянок лісостанів характерне масове відмирання дерев – цілими групами внаслідок старіння та негативної дії абіотичних і біотичних чинників (вітер, сніг, шкідники), що стало причиною утворення вітровальних, сніговальних і буреломних вікон та прогалів. Поява останніх зумовила поліпшення світлового режиму, а отже, й інтенсифікацію лісовідновного процесу.

Ділянки характеризуються значним обсягом мертвої деревини, зокрема IV стадії розкладання, яка є основним місцем появи самосіву та наступного розвитку ялинового підросту. Тобто, створюються сприятливі умови для лісовідновних процесів під наметом пралісового лісостану, продовження його природного циклу. Характеристики елементів лісу на ділянках смерекових пралісів на межі фаз розвитку і відновлення подано в табл. 6.

Так, на ПП №7 розмах ознак дерев дуже високий – як за діаметром (від 8 до 65 см), так і за висотою (від 8,0 до 34,4 м). Більша частина стовбурів ялини сформовані добре – як нижчих, так і вищих ступенів товщини. В основному стовбури середньої збіжисті. Крони дерев середньої щільності, займають в основному 2/3 висоти стовбура. Деревостан низької зімкнутості внаслідок наявності значної кількості сухостійних дерев. На пробній площі обліковано всього 183 дерева або 361 шт. на 1 га (див. табл. 2).

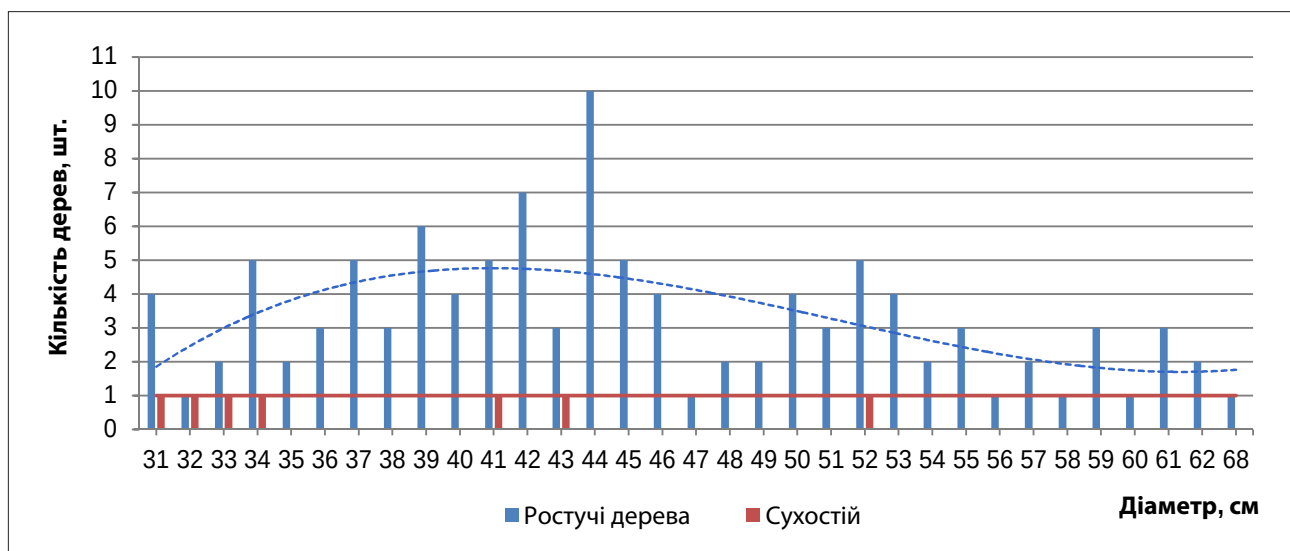


Рис. 9. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №8 за діаметром

Fig. 9. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey of sample plot 8

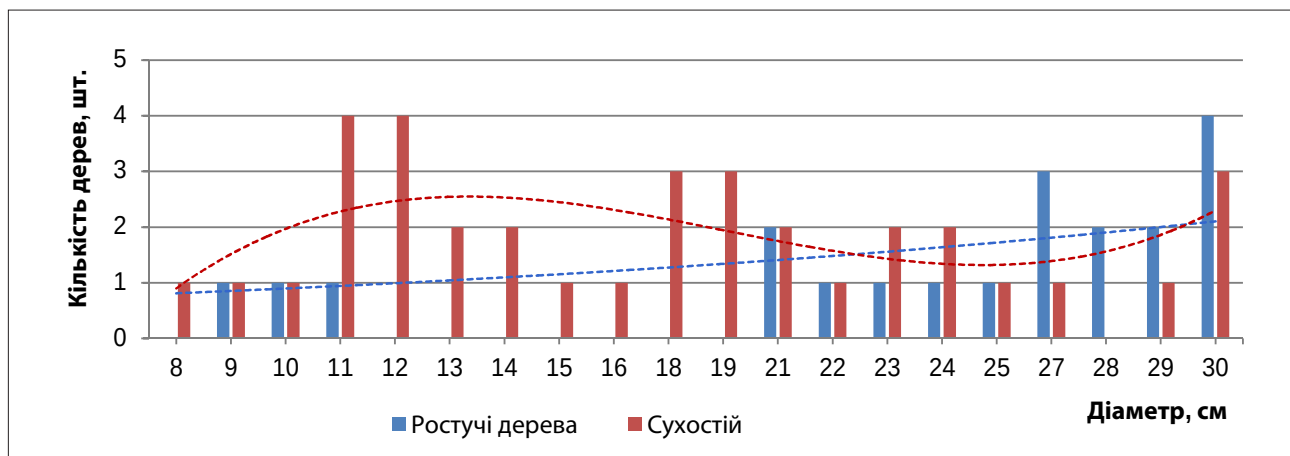


Рис. 10. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №8 за діаметром

Fig. 10. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 8

Запас стовбурової деревини першого ярусу становить 347, другого – 56, сухостою обох ярусів – 98 м³·га⁻¹. Загальний запас стовбурової деревини ростучої частини деревостану обох ярусів невисокий і становить 305 м³·га⁻¹. Запас сухостою першого ярусу становить 74, другого – 24 м³·га⁻¹, що складає, відповідно, 21,3 та 42,9% від загального деревного запасу першого і другого ярусів.

Основна причина значної кількості сухостою – деревостан знаходиться на межі фаз розпаду і відновлення. Всихання дерев також може бути

зумовлене південною експозицією схилу ділянки та гіршою її забезпеченістю вологою. У лісостані трапляються товсті дерева значного діаметра: три найтовстіші ростучі дерева мають діаметр 65, 63 та 61 см.

Внаслідок наявності значної частки сухостійних екземплярів, деревостан характеризується низькою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю. У деревостані наявні значні за площею прогалини, що сприяє, насамперед, розвитку чорничника і папоротей.

Таблиця 6. Характеристика елементів лісу на ділянках смерекових пралісів на межі фаз розпаду і відновлення

Table 6. Characteristics of forest elements in areas of primeval spruce forests on the border of mortality and regeneration stages

Елементи лісу	№ пробної площі	
	7	10
Деревостан (походження; видовий склад; ярусність; санітарний стан)	Смерекові лісостани чистого складу, що характерно для високогірного поясу Українських Карпат. Деревостани утворені аборигенним видом – <i>Picea abies</i> , а їхній склад відповідає типу лісу. Деревостани характеризуються значною різновіковістю, є дерева різної висоти та діаметра. Загалом дерева відзначаються значною висотою, стовбури сформовані добре, в окремих екземплярів – дуже добре, проте сухі сучки на стовбурах починаються доволі низько. У деяких дерев спостережено зламні вершини. У деревостанах наявні дерева всіх вікових стадій розвитку, починаючи від підросту заввишки 0,2-6 м та віком 5-15 років і завершуючи екземплярами на межі фізіологічного розвитку (160-180 років).	
	Ростучі дерева першого ярусу відзначаються подібною висотою, незалежно від діаметра. Деревостан двоярусний. Перший ярус формують найвищі дерева ялини, часто – найбільшого діаметра. У верхньому ярусі також беруть участь дерева відносно невеликого діаметра (30-40 см), однак їхня висота подібна до такої у дерев, що мають значно більший діаметр (50-65 см). Другий ярус виражений слабо, в основному він сформований деревами значно молодшого віку або відсталими у рості екземплярами. Частина дерев другого ярусу представлена сухостоєм. Висота другого ярусу перевищує ¼ середньої висоти першого ярусу за різниці 29% між ними (27,4 і 19,4 м). Санітарний стан деревостану незадовільний. Багато стоячих сухих дерев, серед них наявні як екземпляри нижчих (10-28 см), так і вищих (34-66 см) ступенів товщини. Три найтовщі стоячі всохлі дерева мають діаметр 66, 54 і 52 см. На пробній площі обліковано 62 сухих екземпляри або 128 шт. на 1 га, що становить 35,5% від загальної кількості дерев на ділянці. Основна причина незадовільного санітарного стану – значний вік деревостану. Практично всі сухостійні дерева втратили кору. Стовбури і гілки дерев вкриті накипними лишайниками, ступінь вкриття слабка, інколи – середня. Санітарний стан деревостану можна класифікувати як <i>дуже ослаблений</i> .	Загалом стовбури характеризуються середньою збіжистістю, однак окремі з них мають винятково низьку збіжистість. Деревостан триярусний. Виділення трьох ярусів здійснено на за критеріями господарської доцільності (господарська діяльність у відповідній зоні не ведеться), де запас кожного ярусу повинен становити не менше 30 м ³ ·га ⁻¹ , а з наукового погляду з урахуванням відмінностей за середньою висотою, яка для I і II ярусів становить 6,0 м або 19,7%, а для II і III ярусів – 13,4 м або 51,2%. Незважаючи на велику кількість сухостійних дерев (73 шт./га), наявність значних за площею прогалін, санітарний стан смерекового деревостану в цілому можна вважати <i>ослабленим</i> . Частка ростучих дерев все ж становить 82,6%. Серед стоячих сухих дерев переважають екземпляри вищих ступенів товщини (44-50 см), сухостою нижчих ступенів товщини (15-20 см) є невелика кількість. Три найтовщі стоячі всохлі дерева мають діаметр 65, 61 і 60 см. На пробній площі обліковано 37 сухих екземплярів або 73 шт. на 1 га, що становить 17,4% від загальної кількості дерев на ділянці. Запас сухостійних дерев на ділянці становить 117 м ³ ·га ⁻¹ або 16,8%.

Елементи лісу	№ пробної площі	
	7	10
Дерева на межі фізіологічного розвитку (кількість; розташування; таксаційна характеристика; ознаки відмирання)	У деревостанах наявні дерева значного діаметра (55-65 см), частина з яких перебуває на межі фізіологічного розвитку. У такому ж стані перебувають дерева і менших діаметрів (46-50 см), які з певних причин не досягли більшої товщини. На стовбурах стоячих всохлих дерев ялини у різній кількості трапляються дереворуйнівні гриби (в основному <i>Fomitopsis pinicola</i>). Внаслідок негативної дії абіотичних чинників у частини дерев на межі фізіологічного розвитку обламани верхівки стовбура.	
	Нами взято керни в 28-ми найтовстіших дерев, у 12-ти з яких виявлено значні стовбурові гнилі. Поряд з цим, погіршення життєвого стану цих дерев візуальним шляхом встановити доволі складно. За станом крони та відсутністю плодівих тіл на стовбурі дерева можна оцінити, як повністю життєздатні. Оскільки деревостан на досліджуваній ділянці представлений фазою розпаду, то доволі значна кількість дерев ялини знаходиться на межі фізіологічного розвитку. Вони мають діаметр переважно більше 46 см, зрізнену крону, різну кількість дереворуйнівних грибів на стовбурі, сліди витікання живиці. На ділянці їх обліковано в кількості 16 шт. або 32 шт. на 1 га. На основі підрахунку річних кілець на кернах, їхній вік становить 160-180 років.	Під час відбору кернів з найтовстіших дерев у чотирьох з них (з 25-ти) виявлено стовбурову гниль. Оскільки деревостан різновіковий, то в його складі є частина дерев віком понад 160 років, які перебувають на межі фізіологічного розвитку. У частини найтовстіших дерев у нижній частині стовбура спостережено нарости, витікання живиці, тріщини і заглиблення, рідко – окремі плодові тіла <i>Fomitopsis pinicola</i> . Це старовікові дерева діаметром 52-62 см, в яких виявлено перелічені вище ознаки пониження біотичної стійкості. Таких екземплярів на ділянці обліковано в кількості 13 шт. або 26 дерев на 1 га.
Мертва деревина (сухостій; лежачі дерева; стадії розкладання)	Наявні сухостійні дерева з різною стадією руйнування. На окремих сухостійних деревах ялини спостережено плодові тіла <i>Fomitopsis pinicola</i> . Плодові тіла цього ж гриба виявлено на лежачих стовбурах I-II ступенів розкладання	
	Наявний сухостій з переважанням діаметра 18-28 см. Це в основному екземпляри другого ярусу. Запас сухостійних дерев обох ярусів становить 98 м ³ ·га ⁻¹ . Наявна середня кількість лежачих дерев різного ступеня розкладання, серед яких виявлено мертву лежачу деревину III-IV ступенів. Вона розташована локально у межах всієї території ділянки і є сприятливим середовищем для розвитку самосіву і підросту. На лежачих стовбурах I-II ступенів розкладання наявні плодові тіла <i>Fomitopsis pinicola</i> . Повалених дерев I стадії розкладання доволі мало.	Наявний сухостій з переважанням діаметра 44-50 см. Це в основному екземпляри першого деревного ярусу. Запас стовбурів сухостою всіх трьох ярусів становить 117 м ³ ·га ⁻¹ . У лісостані виявлено значну кількість мертвої деревини різного ступеня розкладання, серед якої наявна деревина IV ступеня. Вона розташована відносно рівномірно у межах всієї території ділянки. Найбільшу частку лежачих дерев віднесено до II-III ступенів розкладання.
Самосів (розташування; видовий склад; кількість; стан)	Самосів (h ≤ 9 см) зосереджений в основному на повалених стовбурах IV стадії розкладання. Розташування самосіву нерівномірне.	
	На окремих повалених стовбурах IV ступеня кількість самосіву дуже висока і може сягати більше 10 тис. шт. на 1 га. В основному він зосереджений на повалених деревах, які досягли найвищого ступеня розкладання.	Самосів зосереджений в основному на повалених стовбурах IV ступеня розкладання. На окремих гнилих стовбурах кількість самосіву досить висока, досягаючи 10-15 тис. шт. на 1 га.

Елементи лісу	№ пробної площі	
	7	10
Підріст (видовий склад; кількість; розташування; стан)	Підросту доволі багато, різної висоти. Дрібний підріст зосереджений в основному на мертвій деревині IV ступеня розкладання.	
	В окремих локалітетах кількість підросту на повалених деревах висока. Часто його висота сягає більше 130 см. Наявність значних за площею прогалів і схил Пд-Сх експозиції сприяють інтенсивному розвитку трав'яного вкриття, насамперед – папоротей, а також кущиків чорниці, що значною мірою гальмує розвиток самосіву і підросту. Загальна кількість підросту ялини за обліковими круговими площадками становить 3700 шт. на 1 га, в т.ч. заввишки 10-39 см – 1840, 40-129 см – 1200, більше 130 см – 680 шт. на 1 га. Склад підросту – 9Ялє1Гор.	Основна і суттєва відмінність досліджуваного смерекового лісостану, порівняно із ПП №7, полягає у значній кількості великомірного підросту, який формує важко прохідні зарості. Сильний розвиток підросту зумовлений також і північним схилом з доброю забезпеченістю вологою. Більшість великомірного підросту (130 см і >) зосереджена безпосередньо на площі виділу – поза межами розкладеної деревини. Загальна кількість ялинового підросту за обліковими круговими площадками становить 11220 шт. на 1 га, в т.ч. заввишки 10-39 см – 6720, 40-129 см – 2240, більше 130 см – 2260 шт. на 1 га. Склад підросту – 8Ялє2Гор.
Підлісок (видовий склад; кількість; розташування; стан)	Незважаючи на наявність у лісостані прогалів, внаслідок сильного розвитку трав'яного вкриття та кущиків чорниці звичайної (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), яка займає 70-80% площі досліджуваних ділянок і сягає висоти до 0,5 м, підлісок на ділянках відсутній.	
Трав'яне вкриття (видовий склад; проективне вкриття; розташування)	Розташування трав'яного вкриття на ділянці рівномірне. Переважають ожика лісова (<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin), квасениця звичайна (<i>Oxalis acetosella</i> L.), щитник шартрський (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs), щитник австрійський (<i>Dryopteris dilatata</i> subsp. <i>dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray), безщитник жіночий (<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth), безщитник розставленолистий (<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz), підбілик альпійський (<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass.), нечуй-вітер муровий (<i>Hieracium murorum</i> L.).	
	Друге місце за поширеністю займає ожика лісова (<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin) – (10%). Така ж частка припадає на інші види – щитники шартрський (<i>Dryopteris carthusiana</i> (Vill.) H. P. Fuchs) та австрійський (<i>D. dilatata</i> subsp. <i>dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray), безщитники жіночий (<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth) та розставленолистий (<i>A. distentifolium</i> Tausch ex Opiz). Окремі екземпляри безщитника жіночого сягають висоти до 1 м і навіть більше. Проективне трав'яне вкриття становить 80-90%.	Фоновими видами ділянки є ожика лісова (<i>Luzula sylvatica</i> (Huds.) Gaudin), щитник австрійський (<i>Dryopteris dilatata</i> subsp. <i>dilatata</i> (Hoffm.) A. Gray), безщитник розставленолистий (<i>Athyrium distentifolium</i> Tausch ex Opiz), чорниця звичайна (<i>Vaccinium myrtillus</i> L.), підбілик альпійський (<i>Homogyne alpina</i> (L.) Cass.). Окрім цих видів, на ділянці виявлено ціцербіту альпійську (<i>Adenostyles alliariae</i> (Gouan) A. Kern.), осоку повислу (<i>Carex pendula</i> Huds.). Щитник австрійський локально утворює зарості заввишки більше 1,0 м. Проективне трав'яне вкриття становить близько 60%.
Мохове вкриття, лишайники (видовий склад; розташування)	Моховий покрив представлений кількома видами, серед яких найбільш поширені рунянка гарна (<i>Polytrichum formosum</i> Hedw.), дікран мітлоподібний (<i>Dicranum scoparium</i> Hedw.), ортодікран гірський (<i>Orthodicranum montanum</i> (Hedw.) Loeske), короткокошик оксамитовий (<i>Brachytheciastrum velutinum</i> (Hedw.) Ignatov & Huttunen), гілокомій блискучий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) Schimp.).	
	Локально трапляються плевроцій Шребера (<i>Pleurozium schreberi</i> (Willd. ex Brid.) Mitt.), гілокомій блискучий (<i>Hylocomium splendens</i> (Hedw.) W. P. Schimp. Із лишайників найпоширенішими є епіфіти – гіпогіннія здута (<i>Hypogymnia physodes</i> (L.) Nyl.), лепрарія сиза (<i>Lepraria incana</i> (L.) Ach.), евернія сливова (<i>Evernia prumastri</i> (L.) Ach.), уснея бородата (<i>Usnea barbata</i> (L.) F. H. Wigg.).	Локально трапляється косостеблик хвилястий (<i>Plagiomnium undulatum</i> (Hedw.) T. J. Kop.).

Елементи лісу	№ пробної площі	
	7	10
Підстилка (товщина; ступінь розкладання; тип)	Лісова підстилка представлена майже повністю перегнилими органічними рештками, на поверхні яких присутня напівперегнила ялинова хвоя. Шар підстилки не перевищує 1,0 см. У місцях локального розташування папоротей та осоки підстилка розкладена повністю.	
	Підстилка під наметом лісостану напіврозкладена або повністю розкладена. Тип лісової підстилки за своїми ознаками нагадує мулль, хоча цей тип не є характерним для хвойних лісів.	Підстилка під наметом лісостану напіврозкладена або повністю розкладена. Тип лісової підстилки на більшій частині ділянки за своїми ознаками нагадує мулль.

Спостережено відмирання дерев внаслідок старіння, ураження хворобами і шкідниками. Відмирання дерев зумовлює покращення світлового режиму, що, своєю чергою, активізує процес природного поновлення, внаслідок чого складаються умови для відновлення пралісового угруповання. У деревостані існує поєднання молодого покоління лісу із залишками частини старих живих дерев.

У лісостані, де закладено ПП №10, деревостан сформований деревами різної товщини, але переважають екземпляри завтовшки 41-52 см. Дерев завтовшки 50 см і більше доволі багато – 87 шт. на 1 га. При цьому розмах ознак дерев за розмірами досить високий – як за діаметром (від 8 до 65 см), так і за висотою (від 10,4 до 37,4 м). Так, на пробній площі виявлено дерево діаметром 44 см та висотою 37,4 м. Сухі сучки в основному тонкі або середньої товщини, на більшості стовбурів починаються на відстані 5-6 м від землі. Порівняно з іншими пробними площами, на цій ділянці стовбури ялини очищені від сучків найкраще. Крони дерев середньої або високої щільності. Деревостан характеризується нерівномірною зімкнутістю крон, на ділянці наявні значні за площею прогалини. На пробній площі обліковано всього, з урахуванням стоячого сухостою, 212 дерев або 420 шт. на 1 га.

Перший ярус деревостану характеризується низькою горизонтальною і вертикальною зімкнутістю, наявні значні за площею прогалини, які зайняті великомірним підростом, що формує третій ярус. Запас стовбурової деревини першого ярусу становить 678, другого – 11, третього – 6 м³·га⁻¹, сухостою всіх ярусів – 117 м³·га⁻¹ (див. табл. 2). Загальний запас стовбурової деревини живої частини деревостану трьох ярусів загалом доволі високий і становить 578 м³·га⁻¹. У деревостані переважають дерева вищих ступенів товщини. Три найтовстіші ростучі дерева у деревостані мають діаметр 65, 62 і 60 см.

На ПП №10 перший ярус формують найвищі дерева ялини європейської, часто – найбільшого діаметра. У верхньому ярусі також беруть участь дерева відносно невеликого діаметра (36-44 см), однак їхня висота подібна до такої у найтовстіших дерев або навіть іноді і перевищує її.

Другий ярус представлений в основному сухостоєм за невеликої участі ростучих дерев. Третій ярус представлений значною кількістю живих дерев заввишки 8-12 м з майже відсутнім сухостоєм. Він сформований деревами наймолодшого віку.

Запас сухостою першого ярусу становить 108, другого – 8, третього 1 м³·га⁻¹, що становить, відповідно, 15,9; 72,7 та 6,3% від загального деревного запасу першого, другого і третього ярусів.

На ділянці відбувається процес старіння і відмирання дерев, формування вікон і прогалин, покращення світлового режиму, масова поява самосіву і підросту, запуск нового циклу сукцесії. Серед загальної кількості дерев сухостійні екземпляри займають 17,4%. При цьому значна кількість сухих стоячих дерев відноситься до вищих ступенів товщини (50-65 см).

Дерев на межі фізіологічного розвитку на ПП №7 та ПП №10 доволі багато (32 і 26 шт./га), що зумовлено станом деревостанів, які перебувають на межі фаз розпаду і відновлення (див. табл. 6). Їхній діаметр інколи становить 46 см, але переважно – 52-62 см і вище, а самі дерева мають ознаки ослаблення (зріджена крона, наявність плодових тіл грибів, смоловиділення тощо). Мертва деревина в обох лісостанах представлена як сухостоєм, так і лежачими деревами I-IV стадій розкладання. Сухостій представлений як тонкими (18-28 см), так і товстими (44-50 см) екземплярами. Кількість сухих дерев у першому ярусі на обох ділянках доволі подібна (45 і 51 шт./га), але запас різниться (74 і 108 м³·га⁻¹), що пояснюється перевагою тонкого ялинового сухостою на пробній площі №7.

Самосіву на обох ділянках доволі багато (10-15 тис. шт./га), що характерно для лісостанів зазначеної фази розвитку, коли збільшується доступ світла до поверхні ґрунту.

Хоча обидві пробні площі закладені у частинах деревостанів, які характеризуються подібною фазою розвитку, кількість підросту на ділянках суттєво різниться. Так, на ПП №7 деревостан розріджений, характеризується значними за площею прогалинами. Висока освітленість ділянки та південна експозиція схилу спровокували сильний розвиток трав'яного вкриття, її задерніння,

наслідком чого кількість підросту доволі низька – як ялини, так і горобини (відповідно, 3,7 та 0,56 тис. шт./га). У зв'язку із сильним задернінням ґрунту підріст переважно зосереджується на стовбурах повалених розкладених дерев.

Наявність щільнішого намету деревостану на ділянці, де закладена ПП №10, її північна експозиція з кращою забезпеченістю вологою, слабша освітленість зумовили суттєво менше задерніння ґрунту, а, отже, й краще проходження процесу природного поновлення, стан якого оцінюється як добрий (11,22 тис. шт./га) за II класом якості. Відносно добре розвинутий і підріст горобини звичайної – 2940 шт./га. Частка проективного трав'яного вкриття на обох ділянках доволі висока – 60-90%. Видовий склад також досить подібний – у трав'яному вкритті переважають ожика лісова (*Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin), квасениця звичайна (*Oxalis acetosella* L.), щитник шартрський, (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs), щитник австрійський (*Dryopteris dilatata* subsp. *dilatata* (Hoffm.) A. Gray), безщитник жіночий (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth), безщитник розставленолистий (*Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz), підбілик альпійський (*Homogyne alpina* (L.) Cass.), нечуй-вітер муровий (*Hieracium murorum* L.).

Склад мохового вкриття також є подібним для обох ділянок з перевагою рунянки гарної (*Polytrichum formosum* Hedw.).

Оскільки деревостан на ПП №7 сильно зріджений внаслідок природних процесів старіння, то й кількість живих дерев першого ярусу на 1 га тут суттєво менша (в 1,7 раза), ніж на ПП №10 (див. табл. 3). Поряд з цим, середні діаметри стовбурів на обох пробах дуже подібні (45,5 та 46,0 см), як і показники основного відхилення від середнього значення (8,97 та 7,98 см), коефіцієнти варіації (19,7 та 17,7%) і точність дослідів (2,3 та 1,5%). Крива розподілу діаметрів характеризується незначною правосторонньою асиметрією і є туповершинною. На відміну від деревостану, який перебуває у фазі старіння (ПП №8), деревостан у фазі розпаду (ПП №7) характеризується наявністю значної кількості сухою у першому ярусі (рис. 11). При цьому розподіл сухостійних дерев за діаметром досить рівномірний – в межах 31-66 см. Лише серед найтовстіших дерев діаметром 55-65 см сухостійні екземпляри відсутні. Поряд з цим, деяка частка цих дерев перебуває на межі фізіологічного розвитку.

У другому ярусі кількість живих і сухих дерев доволі подібна, проте за запасом все ж перевага належить ростучим екземплярам (32 та 24 м³·га⁻¹). Сухостійні дерева наявні практично серед усіх діаметрів другого ярусу, але все ж з перевагою екземплярів 10-15 см завтовшки (рис. 12). Із збільшенням діаметрів дерев кількість живих екземплярів збільшується, а сухостійних – зменшується.

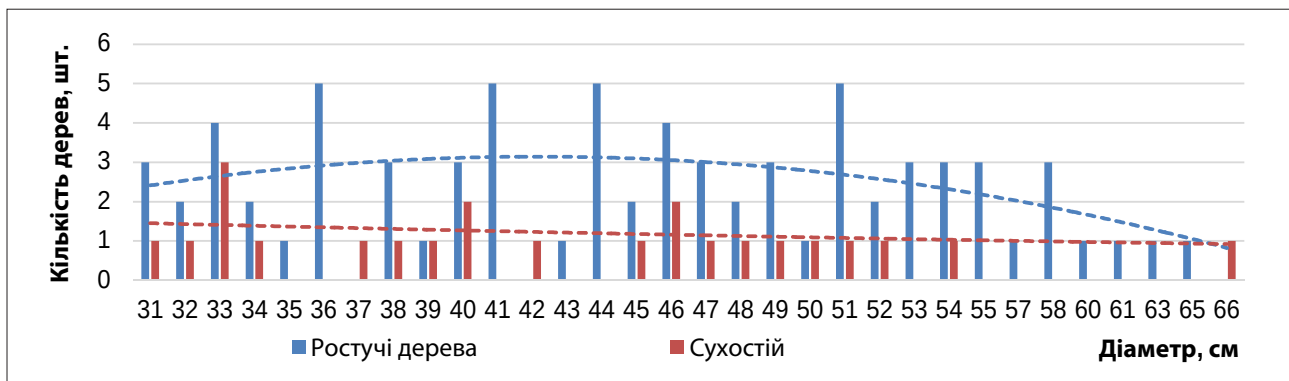


Рис. 11. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №7 за діаметром

Fig. 11. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey of sample plot 7

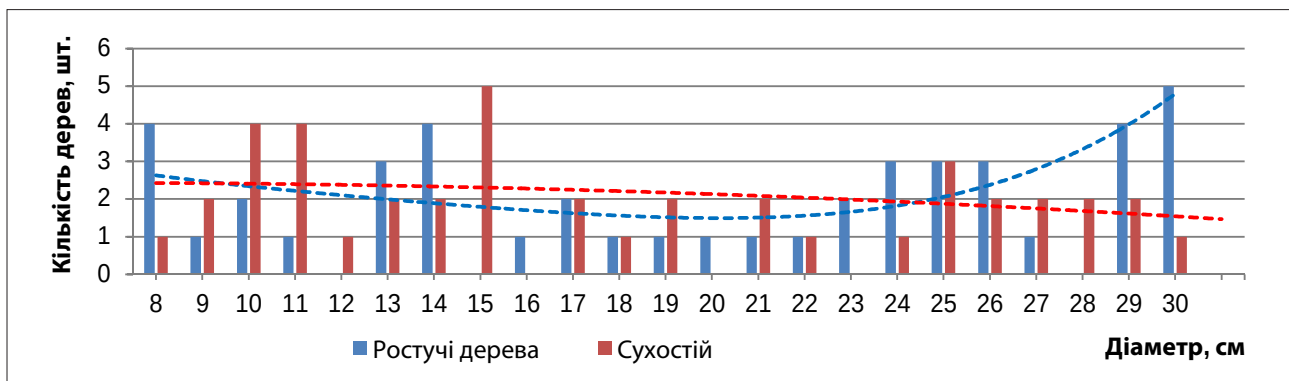


Рис. 12. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №7 за діаметром

Fig. 12. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 7

З урахуванням лісовпорядкувальних положень щодо виділення окремих ярусів у лісостані, на ПП №10 було виділено три яруси, серед яких найгірше представленим є другий ярус (рис. 13-15). Як і для попереднього випадку, сухостійні дерева першого ярусу представлені практично всіма товщи-

нами стовбурів (30-65 см). Однак при цьому їхня кількість за конкретною товщиною стовбура не перевищує двох екземплярів (лише для діаметра 31 см – три екземпляри). Рostучих дерев помітно більше, а максимальна кількість зосереджена в діапазоні 41-52 см.

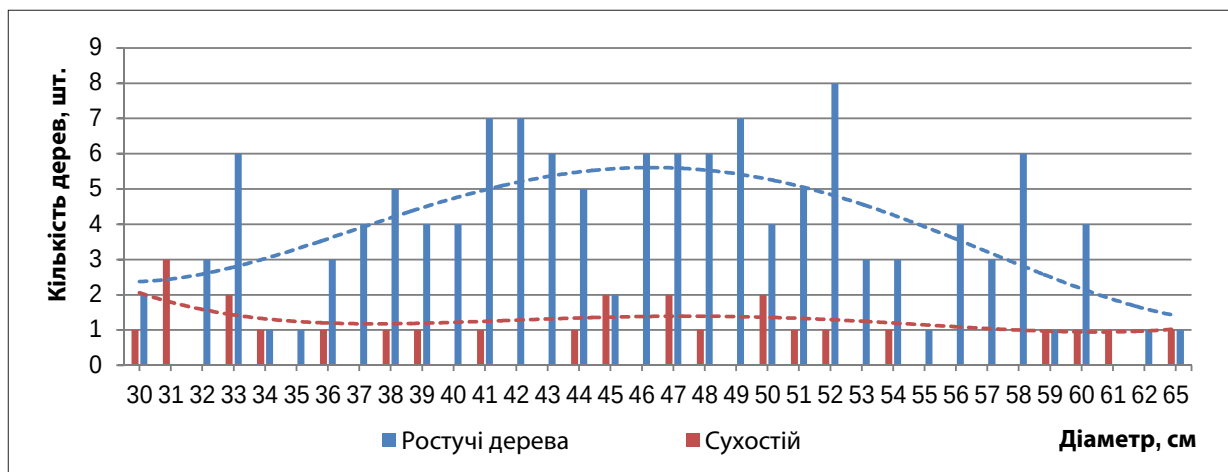


Рис. 13. Розподіл дерев *Picea abies* першого ярусу на ПП №10 за діаметром
Fig. 13. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the first storey in sample plot 10

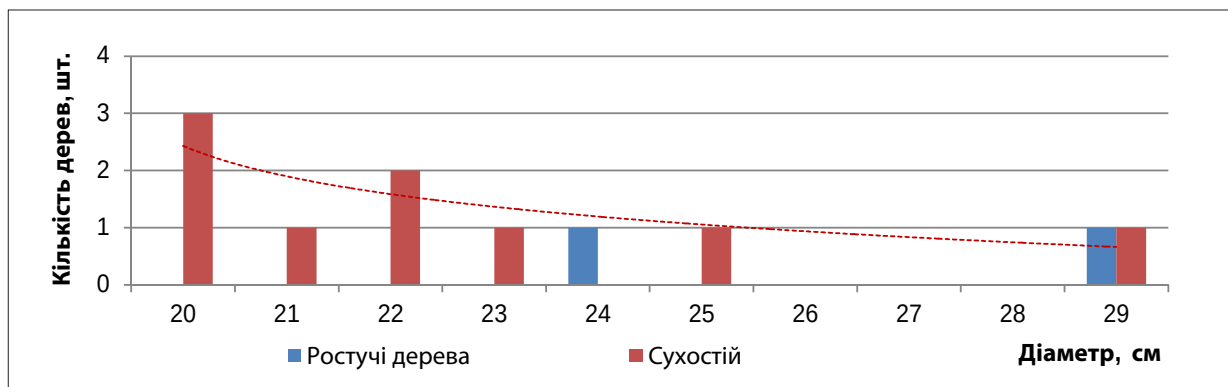


Рис. 14. Розподіл дерев *Picea abies* другого ярусу на ПП №10 за діаметром
Fig. 14. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the second storey of sample plot 10

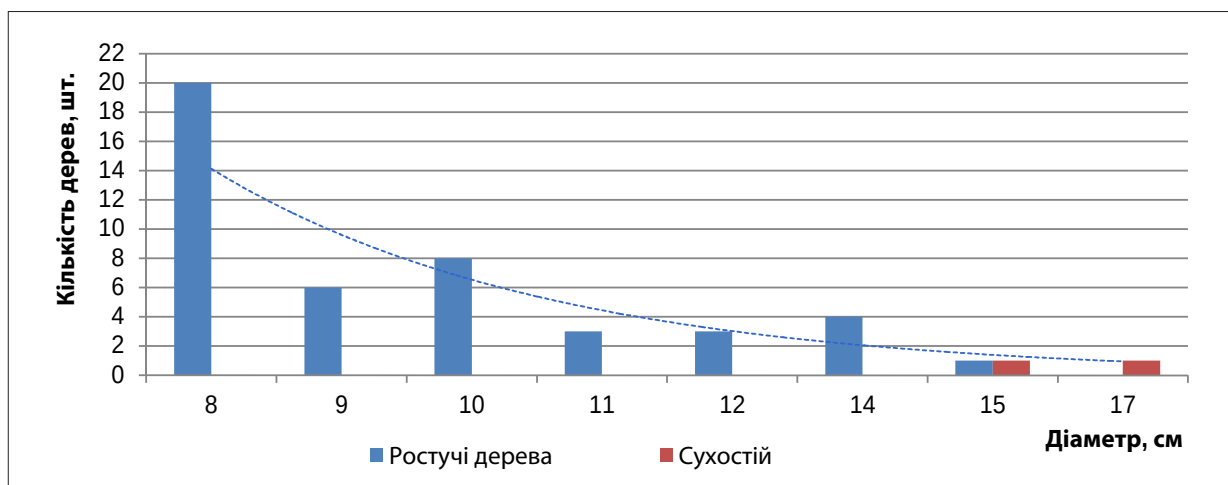


Рис. 15. Розподіл дерев *Picea abies* третього ярусу на ПП №10 за діаметром
Fig. 15. Distribution of *Picea abies* trees by diameter in the third storey of sample plot 10

Другий ярус представлений в основному сухостійними екземплярами (18 сухостійних та 4 ростучих екз. на 1 га). Третій ярус представлений молодим поколінням лісу з перевагою живих дерев 8-14 см завтовшки (45 шт./га). Їхній санітарний стан характеризується як *без знак ослаблення*, а наявність двох засохлих екземплярів на пробній площі зумовлена абіотичними чинниками (рис. 16).

Середні діаметри ростучих дерев першого ярусу на ПП №7 і ПП №10 майже не відрізняються (45,5 та 46 см) і є дуже подібними до таких на ПП №8 (45,1 см) (див. табл. 3). Коефіцієнт варіації дерев за діаметром ростучої частини деревостану першого ярусу середній ($V = 19,7$ та $17,3\%$), діаметр дерев другого ярусу – значний ($V = 37,2\%$). Поряд з цим, точність дослідів для ростучих дерев першого ярусу дуже висока ($P = 2,29$ і $1,53\%$), тоді як для дерев другого ярусу дещо перевищує показник в 5% ($5,6\%$).



Рис. 16. Фрагмент загального вигляду смерекового пралісу у фазі розпаду (ПП №10; Буркутське ПНДВ; кв. 20, вид. 9; $695 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$)

Fig. 16. Fragment of the general view of a spruce primeval forest at the mortality stage sample plot No. 10; Burkut environmental research Department; sq. 20, view 9; $695 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$)

Крива розподілу діаметрів живих дерев ялини першого ярусу є майже симетричною і туповершинною.

Поряд з цим, під час обстежень смерекових пралісів у високогір'ї Чивчино-Гринявських гір, І.І. Коляджиним та іншими науковцями НПП «Верховинський» у 2017 р. було виявлено значні за площею ділянки сосни гірської (*Pinus mugo* Turra), які було названо пракриволіссями. Внаслідок своєї непрохідності і розташування у важкодоступних місцях, встановлені масиви, як засвідчили ретельні попередні розвідки, ніколи не були об'єктом використання у лісовому чи полонинському господарствах. Ці унікальні зарості зосереджені переважно в районі гірських вершин Палениця,

Гнітеса, Коман, Команова, Хітанка та Пір'є, а також в інших місцях на території НПП «Верховинський» (Осадчук, Коляджин, 2019).

Пракриволісся *Pinus mugo* займають переважно висотну нішу, розташовану вище межі поширення смерекових пралісів, і простягаються до нижніх висотних рівнів субальпійських лук (полонин). Цей адаптований до жорстких високогірних умов комплекс гірсько-соснового криволісся демонструє тенденцію до експансії на суміжні антропогенно-модифіковані ландшафти. Цьому процесу сприяє як занепад традиційного відгінного пасовищного господарства, так і зміни клімату, зокрема підвищення середньорічних температур та зміни у режимі опадів. Впродовж останніх двох десятиліть припинення випасання худоби стало ключовим чинником, що дало змогу *Pinus mugo* колонізувати колишні гірські пасовища, трансформуючи їх у непрохідні чагарникові угруповання.

Дослідження І.І. Коляджина та ін. (2017) дало змогу встановити чотири ділянки *Pinus mugo*, що потенційно є осередками формування пракриволісся цього деревного виду.

1. Паленицький локалітет *Pinus mugo* є найбільшим з виявлених пракриволісся, охоплюючи значні площі навколо плоскогір'я Палениця (1749 м н.р.м.). Основна його частина розташована між г. Команова (1734 м н.р.м.) і г. Гнітеса (1766 м н.р.м.) та простягається до верхньої межі субальпійських пасовищ (полонин Венгерка, Веснарка, Гнітеса, Гропа і Балтагора). Флористичний аналіз показав вікову гетерогенність угруповання – від наймолодших особин на периферійних ділянках, що межують із полонинами, до старовікових рослин у центральній зоні, діаметр осей яких сягає 20 см і навіть більше. Також у 2021 р. у цьому локалітеті (поблизу полонини Веснарка) спостережено пожовтіння хвої на рослинах після пошкодження градом, проте у 2023 р. зафіксовано майже повне її відновлення (Коляджин, Осадчук, 2024).

2. Команський локалітет – пракриволісся навколо г. Коман (1723 м н.р.м.). Під час польових робіт (23.09.2024 р.) на г. Коман було зафіксовано патологічне явище – виявлення так званої «відьминої мітли» на сосні гірській.

3. Хітанський локалітет – пракриволісся *Pinus mugo* на вершині г. Хітанка (1631 м н.р.м.).

4. Пуруль-Пір'єський локалітет – пракриволісся *Pinus mugo* від г. Пуруль (1616 м н.р.м.) до підніжжя г. Пір'є (1590 м н.р.м.).

У Паленицькому та Команському локалітетах спостережено подальше відновлення хвої, що підкреслює високу регенеративну здатність *Pinus mugo* до природних пошкоджень. Ця властивість є критично важливою для забезпечення стабільності і динамічної рівноваги високогірних екосистем. Для підтвердження статусу та ідентифікації осередків пракриволісся *Pinus mugo* необхідне наукове верифікування, яке передбачає ініціювання спеціальних лісівничих досліджень, методологічно

подібних до тих, що застосовуються для вивчення смерекових пралісів у Чивчино-Гринявському масиві.

Дискусія (Discussion).

Діяльність людини значно скоротила площу старовікових лісів Європи. На європейському континенті лише в межах Карпатського регіону збереглися найбільші за площею пралісові угруповання. Ці території протягом тривалого історичного періоду залишалися недоторканими внаслідок їхньої географічної ізольованості та складних орографічних умов. Більшість таких лісових ділянок розташовані на значній відстані від транспортних шляхів, що зумовило їхню важкодоступність і, відповідно, убезпечило від антропогенного втручання. Саме ці чинники і визначили збереження унікального природного стану лісових угруповань, які на сьогодні розглядаються як еталонні зразки природних екосистем, що розвивалися під впливом природних чинників.

Найбільш відомими є букові праліси Закарпаття, які внесені до світової спадщини ЮНЕСКО. На відміну від них, значно менш дослідженими є смерекові праліси, що мають меншу площу і займають важкодоступні території Українських Карпат (Стойко, 2002; Дебринюк та ін., 2016; Манько, Войтків, Наконечний, 2019; Шпарик, Лосюк, Плига, 2021). На сьогодні вони ще не достатньо вивчені, часто залишаються поза увагою науковців, і тому вимагають проведення подальших ретельних досліджень.

В Україні фахівцями сформовано базу даних щодо основних показників старовікових лісів (пралісів, квазіпралісів та природних лісів), площа яких станом на 2021 рік становила близько 97 тис. га. Серед них найбільш поширеними є букові (41%) та смерекові (25%) старовікові ліси (Шпарик та ін., 2021). Зокрема, за результатами проведених робіт фахівцями WWF-Україна, на території НПП «Верховинський» було виділено 1823 га пралісів і квазіпралісів, з них 1632 га – смерекових пралісів. Найбільші площі пралісів в межах Парку зосереджені на території Прикордонного ПНДВ (1083,5 га).

Дослідження росту, продуктивності, структури та стійкості старовікових лісів Українських Карпат в останні десятиріччя в межах Європейського континенту помітно інтенсифікувалися (Commagnot et al., 2013; Максимюк та ін., 2017; Старовікові ліси..., 2021; Шпарик та ін., 2024). Поряд з цим, дослідження стосуються в основному букових старовікових лісів, тоді як смерековим старовіковим лісостанам, площі яких обмежені, приділяється значно менше уваги, і результатів наукових досліджень у цьому напрямі обмаль.

Смерекові праліси – це старовікові, природним шляхом сформовані лісові масиви з домінуванням у складі *Picea abies*. Вони відіграють виняткову роль як резервати біорізноманіття, нагромаджувачі вуглецю, як еталонні природні екосистеми, які впродовж тривалого часу не зазнавали безпосе-

реднього антропогенного впливу. Фрагменти незайманих лісів, що збереглися серед антропогенно трансформованих ландшафтів, становлять унікальну природну спадщину, яка поєднує екологічну, наукову та культурну цінності (Стойко, 2002).

Незважаючи на запроваджені заходи з охорони, B.D. Spracklen, & D.V. Spracklen (2020) у старовікових лісах Українських Карпат в період 2010-2019 рр. на основі супутникових знімків виявили 1335 га порушень у старовікових лісах (1,8% лісів у регіоні), які суттєво знижували охоронний статус цих лісостанів. Проте у 2019 р. рівень порушень знизився до 0,19%, що дослідники пов'язали із прийняттям у 2017 р. закону про захист усіх старих лісів України, зазначивши, що нове законодавство може сприяти зниженню втрат площ старовікових лісів у державі.

За даними Ю.С. Шпарика та ін. (2021) старовікові ліси Карпатського НПП представлені переважно корінними триярусними однопородними смерековими деревостанами низької повноти і продуктивності, з низьким запасом мертвої лежачої деревини та з достатньою для природного відновлення кількістю підросту. За нашими даними, низькою продуктивністю та повнотою відзначаються в основному смерекові праліси, які перебувають у фазі розпаду (напр., ПП №7 – 305 м³·га⁻¹), тоді як лісостани у фазі старіння відзначаються доволі високими запасами стовбурової деревини (ПП №7, 9, 11 – відповідно, 514, 566 та 589 м³·га⁻¹). Із досліджених нами шести пралісових смерекових лісостанів лише один з них характеризувався триярусною будовою, причому другий ярус представлений практично сухостійними екземплярами. Всі інші досліджені лісостани були двоярусними, причому другий ярус виділяли не за запасом стовбурової деревини, а за показником перевищення висоти основного ярусу.

Під старовіковими смерековими лісостанами формується достатня кількість підросту для наступного успішного природного відновлення деревостанів (Шпарик та ін., 2024). Нами також встановлено доволі значну кількість смерекового підросту на пробних площах, які репрезентують фазу пристигання (5,1-11,6 тис. шт./га), фазу старіння (8,3 тис. шт./га) та фазу розпаду (11,2 тис. шт./га) старовікових лісостанів. Поряд з цим, на окремих ділянках кількість підросту *Picea abies* є низькою і стан поновлення характеризується як незадовільний. Зокрема на ПП №6 обліковано тільки 2,74 (фаза пристигання), а на ПП №7 (фаза розпаду) – лише 3,70 тис. шт./га. Основні причини полягають у різних експозиціях схилів, різній зволоженості ґрунту, ступені його задерніння.

Зміни клімату (насамперед – зменшення кількості опадів, тривалі посухи) та пов'язані з ними розвиток хвороб і шкідників підвищують уразливість смерекових старовікових лісів, зменшують їхній адаптивний потенціал у протистоянні кліматичним змінам. Цей аспект посилює потребу

пошуку стійких старовікових лісів за участю *Picea abies*, взяття їх під охорону, зарахування до складу заповідних об'єктів.

З цього приводу варто звернути увагу на деякі критерії визначення приналежності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів (Методика визначення..., 2018). Так, площа пралісу або квазіпралісу за цими вимогами повинна становити не менше 20 га. Поряд з цим, існують численні дрібніші за площею ділянки старовікових смерекових лісостанів, ізольовані від значних за площею пралісових масивів, але де збережені всі інші критерії приналежності цих ділянок до пралісових угруповань. На нашу думку, такі цінні ділянки смерекових старовікових лісів, з урахуванням їхньої стійкості в умовах зміни клімату та слабкої поширеності, також варто віднести до пралісів. З цього погляду, необхідно віднести до заповідної мережі і взяти під охорону найцінніші смерекові лісостани, навіть невеликі за площею, шляхом з'єднання цих локалітетів у суцільну мережу.

Здійснені Ю.С. Шпариком та ін. (2020) довготривалі дослідження підтвердили, що навіть менше ніж за 10 років лісові ділянки, які було віднесено до старовікових лісів на території Карпатського НПП, на сьогодні не відповідають затвердженим критеріям та індикаторам щодо цих об'єктів. Однією із причин погіршення стану старовікових лісів є інтенсивний антропогенний вплив, зокрема – рекреаційне навантаження (прокладання туристичних маршрутів, облаштування місць відпочинку тощо). Тому у зв'язку зі зміною клімату та посиленням антропогенного навантаження на лісові екосистеми, зокрема і на старовікові ліси, Ю.С. Шпарик та ін. (2020) пропонують запровадити процедуру переведення старовікових лісів у господарські, що відповідатиме інтересам ведення лісового господарства.

Такий підхід, безумовно, повинен мати місце в окремих випадках, однак, під час запровадження цієї процедури у лісівничу практику можуть виникати значні проблеми. На нашу думку, таку практику не варто застосовувати щодо смерекових пралісів чи квазіпралісів, оскільки у зв'язку з виснаженням лісового фонду, під виглядом боротьби з прогресуючим усиханням смереки у рубку потраплятимуть високопродуктивні унікальні смерекові угруповання. Такі старовікові ліси, як праліси і квазіпраліси є саморегулюючими природними екосистемами, де фази розвитку лісостанів відбуваються природним шляхом і втручатися у хід природного процесу не варто, навіть якщо деревостан всихає.

Смерекові старовікові ліси Українських Карпат – це екологічно цінний та унікальний природний ресурс, який на сьогодні перебуває під реальною загрозою сильного антропогенного впливу, незаконного зрубівання та зміни клімату. Хоча існують певні підстави для оптимістичних прогнозів (заповідання територій; активний громадський контроль; наукові дослідження із залученням між-

народних фахівців), однак без швидкого втілення цілеспрямованих заходів (розширення заповідних зон у старовікових смерекових лісах, моніторинг стану природної екосистеми, зміна практик господарювання) існує ризик втратити унікальні смерекові старовікові ліси, а разом з ними – і невідтворювані екосистемні функції.

Висновки (Conclusions).

1. Досліджені старовікові ялинові лісостани характеризуються природним походженням, різновіковістю, наявністю дерев на межі фізіологічного розвитку, наявністю значної кількості самосіву і підросту, лежачої деревини усіх стадій розкладання, представництвом дерев усіх вікових стадій розвитку, відсутністю антропогенного впливу, тобто деревостани мають всі ознаки приналежності до пралісових угруповань.

2. Запас стовбурової деревини ростучих дерев, що представляють фазу пристигання, становить 514-589, фазу старіння – 449, фазу розпаду – 305 м³·га⁻¹. Виняток становить лісостан на ПП №10 (фаза розпаду), де запас ростучої частини деревостану становить 578 м³·га⁻¹, що зумовлено специфікою орографічних, лісорослинних та гідрологічних умов. Запас стоячого сухостою становить, відповідно, 32-45, 39 та 98-117 м³·га⁻¹.

3. Досліджені деревостани, за винятком ПП №10, є двоярусними. Перший ярус формують найвищі дерева *Picea abies*, часто – найбільшого діаметра. Другий ярус, незалежно від фази розвитку деревостану, виражений слабо. Він сформований відсталими у рості екземплярами або молодим поколінням дерев. Три яруси виділено лише в одному деревостані (ПП №10), проте у другому ярусі переважають сухостійні екземпляри ялини європейської.

4. Основна частка сухостійних дерев (63,4-90,4%), окрім ПП №10, зосереджена у другому ярусі, тоді як більший запас сухостою припадає в основному першому ярусу у зв'язку із більшим об'ємом стовбурів. Деревостан, де закладена ПП №10, знаходиться у фазі розпаду, тому майже весь обсяг сухостою як за кількістю дерев (51 шт./га), так і за запасом деревини (108 м³·га⁻¹) зосереджений у першому ярусі.

5. Санітарний стан деревостанів на ПП №6, №9, №11 характеризується як без ознак ослаблення; на ПП №8 – ослаблений; на ПП №7, №10 – дуже ослаблений, що підтверджується зростаючими обсягами сухостою у деревостанах (від 32 до 117 м³·га⁻¹).

6. У ряду, що відображає послідовні фази старіння деревостану, спостережено загалом збільшення кількості дерев на межі фізіологічного розвитку: 14-18 (фаза пристигання), 24 (фаза старіння), 16-26 (фаза розпаду) шт./га.

7. Кількість самосіву змінюється у значних межах і залежить в цілому від фази розвитку деревостану: 8-12 (фаза пристигання), 10-15 (фаза старіння і розпаду) тис. шт./га. Тенденція щодо кіль-

кості підросту зі зміною фази розвитку дерево-стану прослідковується слабо: 2,74-11,62; 8,28; 3,70-11,22 тис. шт./га. Основна причина значної варіабельності кількості підросту на ділянках полягає у різній інтенсивності розвитку трав'яної рослинності, чому сприяє добра освітленість ділянок внаслідок наявності значних за площею прогалин. Підріст і самосів зосереджені в основному на лежачих стовбурах IV стадії розкладання і від обсягу останніх значною мірою залежить успішність про-ходження процесу природного поновлення.

8. Всебічне вивчення природних процесів в межах пралісових екосистем є важливою передумовою запровадження наближеного до природи ведення лісового господарства, оскільки саме праліси можуть слугувати еталоном для формування біологічно стійких і високопродуктивних лісових угруповань.

Подяка (Acknowledgments).

Автори статті вдячні інспекторам з охорони ПЗФ Буркутського ПНДВ Шикману Сергію Івановичу, Курильчуку Івану Юрійовичу, Федорчаку Івану Миколайовичу та інспектору з охорони ПЗФ Чивчинського ПНДВ Пецею Олексію Петровичу за їхню вагомую допомогу у проведенні польових досліджень.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Boiko, M. (2015). Ukrainian names of bryophytes. *Chornomorski botanical Journal*, 11(2), 178-216. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/15.112/5> [Бойко, М.Ф. (2015). Українські назви мохоподібних. *Chornomorski botanical Journal*, 11(2), 178-216] (in Ukrainian)
- Chernyavskyy, M.V. (1999). Primeval beech forests as standards of the future forests of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University: Biodiversity Research, Conservation and Enrichment*, 99, 173-179. [Чернявський, М.В. (1999). Букові праліси як еталони лісів майбутнього Українських Карпат. *Науковий вісник УкрДЛТУ: дослідження, охорона та збагачення біорізноманіття*, 99, 173-179] (in Ukrainian)
- Chernyavskyy, M.V., & Shpylchak, M.B. (2011). «Gorgany» Nature Reserve. Ivano-Frankivsk: Foliant [Чернявський, М.В., Шпільчак, М.Б. (2011). *Природний заповідник «Горгани»*. Івано-Франківськ: Фоліант. 76 с.] (in Ukrainian)
- Commarmot, B., Brändli, U.-B., Hamor, F., & Lavnyy, V. (2013). *Inventory of the largest primeval beech forest in Europe*. WSL, Birmensdorf, 69. URL: https://www.researchgate.net/publication/329019447_Inventory_of_the_largest_primeval_beech_forest_in_Europe_A_Swiss-Ukrainian_scientific_adventure
- Commarmot, B., Hamor, F. D. (2005). *Natural Forests in the Temperate Zone of Europe – Values and Utilization*. Birmensdorf: Swiss Federal Research Institute WSL.
- Debrynyuk, Y.M., Zelenchuk, Y.I., Koliadzhyn, I.I., & Losyuk, V.P. (2016). *Spruce primeval forests of the Chivchyno-Hrynyavsky Mountains as a standard of the natural forest ecosystem*. Proceedings of the international scientific and practical conference on the occasion of the XXIII International Hutsul Festival and commemoration of the 45th anniversary of the UNESCO Program “Man and the Biosphere” (Rakhiv, September 2-4, 2016). Khmelnytskyi: FOP Petryshyn, 98-103. [Дебрінюк, Ю.М., Зеленчук, Я.І., Коляджин, І.І., Лосюк, В.П. (2016). *Смерекові праліси Чивчино-Гринявських гір як еталон природної лісової екосистеми*. Матеріали міжнарод. наук.-практ. конф. з нагоди XXIII Міжнарод. гуцул. фестивалю та відзнач. 45-річчя Програми ЮНЕСКО «Людина і біосфера» (Рахів, 2-4 вересня 2016 р.). Хмельницький: ФОП Петришин. С. 98-103] (in Ukrainian)
- Forests in the center of Europe. Guide to the forests of the Carpathian Biosphere Reserve* (2003). Brändli, U.-B., & Dowhanytsch, J. (Eds.). Birmensdorf, Eidgenössische Forschungsanstalt WSL; Rachiw, Karpaten-Biosphärenreservat. Bern, Stuttgart, Wien, Haupt [Праліси в центрі Європи. Путівник по лісах Карпатського біосферного заповідника (2003) / за ред. У.-Б. Брєндлі, Я. Довганича. Бірменсдорф, Швейцарський федеральний інститут дослідження лісу, снігу і ландшафтів; Рахів, Карпатський біосферний заповідник, 192 с.] (in Ukrainian)
- Gamor, F.D. (2011). Biosphere reserves and sustainable development of the Carpathians. *Green Carpathians*, 1-2, 8-10. Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/zk/zk2011.pdf> [Гамор, Ф.Д. (2011). Біосферні резервати і сталий розвиток Карпат. *Зелені Карпати*, 1-2, 8-10] (in Ukrainian)
- Gamor, F.D., Dovganych, Y.O., Pokynchereda, V.F., Sukharyuk, D.D., Bundziak, Y.Y., Berkela, Y.Yu., ... Kabal, M.V. (2008). *The primeval forests of Transcarpathia. Inventory and management*. Rakhiv: Carpathian Biosphere Reserve. [Гамор, Ф.Д., Довганич, Я.О., Покинчерєда, В.Ф., Сухарюк, Д.Д., Бундзяк, Й.Й., Беркєла, Ю.Ю., ... Кабаль, М.В. (2008). *Праліси Закарпаття. Інвентаризація та менеджмент*. Рахів: Карпатський біосферний заповідник. 86 с.] (in Ukrainian)
- IF (2025). Index Fungorum. Published on the Internet <https://www.indexfungorum.org>
- Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of forestry objects* (2010). Kyiv: State Committee of the State Forest Service of Ukraine. Retrieved from http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=62052 [Інструкція з проектування, технічного приймання, обліку та оцінки якості лісокультурних об'єктів (2010). Київ: Державний комітет лісового господарства України. 74 с.] (in Ukrainian)

- Ivanenko, I., & Parchuk, G. (2008). Legal principles of protection of primeval forests in Ukraine and their significance for the creation of a national eco-network. *Green Carpathians*, 1-2, 31-32. Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/zk/zk2008.pdf> [Іваненко, І., Парчук, Г. (2008). Правові засади охорони пралісів в Україні та їх значення для створення національної екомережі. *Зелені Карпати*, 1-2, 31-32] (in Ukrainian)
- Koliadzhyn, I.I., & Osadchuk, L.S. (2024). Biotic conditioning of the stability of *Pinus mugo* Turra biogeocenoses in the Chivchyno-Hryniav Mountains of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 34(3), 21-29. <https://doi.org/10.36930/40340303> [Коляджин, І.І., Осадчук, Л.С. (2024). Біотична зумовленість стійкості біогеоценозів *Pinus mugo* Турра в Чивчино-Гринявських горах Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(3), 21-29] (in Ukrainian)
- Koliadzhyn, I.I., Zelenchuk, I.M., Zytenuk, A.M., Zelenchuk, Y.I., & Osadchuk, L.S. (2017). The pine elfinwood is a biologically stable ecosystem of the highlands of the Chivchyno-Hryniav Mountains. *The tenth anniversary of the creation of the UNESCO World Heritage site "Primeval beech forests of the Carpathians and ancient beech forests of Germany": history, state and problems of the implementation of an integrated management system: proceedings of the international scientific and practical conference*, 160-170. Rakhiv, September 26-29. Lviv: Rastr-7 [Коляджин, І.І., Зеленчук, І.М., Зітенюк, А.М., Зеленчук, Я.І., Осадчук, Л.С. (2017). Соснове пракриволісся – біологічно-стійка екосистема високогір'я Чивчино-Гринявських гір. *Десятиріччя створення об'єкта Всесвітньої спадщини ЮНЕСКО «Букові праліси Карпат та давні букові ліси Німеччини»: історія, стан та проблеми впровадження інтегрованої системи менеджменту: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., м. Рахів, 26-29 вересня 2017 р. Львів: Растр-7, 160-170] (in Ukrainian)*
- Lavnyy, V. (2008). Strategy of environmental protection management of primeval forest ecosystems in the Ukrainian Carpathians. *Green Carpathians*, 1-2, 33-35. Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/zk/zk2008.pdf> [Лавний, В. (2008). Стратегія природоохоронного менеджменту пралісових екосистем в Українських Карпатах. *Зелені Карпати*, 1-2, 33-35] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V.V., & Sayats, M.V. (2007). Virgin forests of the Transcarpathian region – global value that needs public protection. *Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Scientific Works*, 5, 71-74. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/598> [Лавний, В.В., Заяць, М.В. (2007). Праліси Закарпаття – світова цінність, що потребує державної охорони. *Лісівнича академія наук України: Наукові праці*, 5, 71-74] (in Ukrainian)
- Maksymyuk, G.V., Prytula, I.M., & Senchyna, B.V. (2017). Primeval forest ecosystems of Chornohora (within the Carpathian National Park): current state, ways of use and preservation. *Physical Geography and Geomorphology*, 3, 81-91. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=fiz_geo_2017_3_12. [Максимюк, Г.В., Притула, І.М., Сенчина, Б.В. (2017). Пралісові екосистеми Чорногори (у межах Карпатського НПП): сучасний стан, шляхи використання і збереження. *Фізична географія та геоморфологія*, 3, 81-91] (in Ukrainian)
- Manko, A., Voitkiv, P., & Nakonechnyi, Y. (2019). Virgin forests as environmental, educational and scientific object of the Ukrainian Carpathians. *Bulletin of the Lviv University: Series Geography*, 53, 210-219. <http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2019.53.10668> [Манько, А., Войтків, П., Наконечний, Ю. (2019). Праліси як еколого-освітній і науково-пізнавальний об'єкт Українських Карпат. *Вісник Львівського університету: Серія географічна*, 53, 210-219] (in Ukrainian)
- Old-growth forests as a model for restoring the functional essence of Carpathian forests* (2021). Proceedings of the International Scientific-Practical Conference. Lviv, June 23-24. Lviv: Institute of Ecology of the Carpathians. 52 p. Retrieved from <https://ecoinst.org.ua/news/starovikovli-lisy/materialy-konferentsii-starovikovli-lisy-lviv-2021.pdf> [Старовікові ліси, як модель відновлення функціональної суті Карпатських лісів (2021). Матеріали міжнародної наук.-практ. конф. Львів, 23-24 червня. Львів: Інститут екології Карпат. 52 с.] (in Ukrainian)
- On approval of the Methodology for determining the belonging of forest territories to virgin forests, quasi-virgin forests and natural forests* (2018). Order No. 161 of 18.05.2018 Kyiv: Ministry of Ecology and Natural Resources of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0707-18#Text> [Про затвердження Методики визначення належності лісових територій до пралісів, квазіпралісів і природних лісів (2018). Наказ №161 від 18.05.2018 р. Київ: Міністерство екології та природних ресурсів України] (in Ukrainian)
- Osadchuk, L.S., & Koliadzhyn, I.I. (2019). Distribution of *Pinus mugo* Turra in the Ukrainian Carpathian Mountains. *Scientific Basis for improving the productivity and biological Stability of Forest and Urban Ecosystems: materials from the 69th scientific and technical conference of professors, lecturers, researchers, doctoral students, and graduate students*, 67-68. Lviv, December 12, 2019. Lviv: Ukrainian National Forestry University [Осадчук, Л.С., Коляджин, І.І. (2019). Поширення *Pinus mugo* Турра в Українських Карпатах гір. *Наукові основи підвищення продуктивності і біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем: матеріали 69-ої наук.-техн. конф професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів, м. Львів, 12 грудня 2019 р. Львів: НЛТУ України, 67-68] (in Ukrainian)*

- Parpan, V.I., & Stoyko, S.M. (1999). Beech primeval forests of the Ukrainian Carpathians: protection and cenotic structure. *Scientific notes of the Institute of Ethnology of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 4, 81-86. [Парпан, В.І., Стойко, С.М. (1999). Букові праліси Українських Карпат: охорона та ценотична структура. *Наукові записки Інституту етнології НАН України*, 4, 81-86] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Commarmot, B., & Berkela, Y. (2010). *Structure of the virgin beech forest of the Ukrainian Carpathians*. Snyatyn: Prutprynt. ISBN 978-966-2289-17-6. [Шпарик, Ю., Коммармот, Б., Беркела, Ю. (2010). *Структура букового пралісу Українських Карпат*. Снятин: Прутпринт. 144 с.] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Danylyk, I., Kuzyarin, O., Senchak, I., & Kruk, N. (2024). European Beech (*Fagus sylvatica* L.) Quasi-Virgin Forest Stand of the Gorgany Mts.: Structure, Plants Diversity, Health Conditions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 96-106. <https://doi.org/10.15421/412417>. [Шпарик, Ю.С., Данилик, І.М., Кузярін, О.Т., Сенчак, І.І., Крук, Н.І. (2024). Буковий (*Fagus sylvatica* L.) квазіпраліс Горган: структура, фіторізноманіття, стан. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 96-106] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y.S., Losyuk, V.P., & Plyha, A.V. (2021). The state and structure of virgin forests in the Ukrainian Carpathians according to the monitoring results. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 77-88. <https://doi.org/10.15421/412106> [Шпарик, Ю.С., Лосюк, В.П., Плига, А.В. (2021). Стан і структура пралісів Українських Карпат за результатами моніторингу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 77-88] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., Viter, R., & Shparyk, V. (2020). Structural changes of the Common beech (*Fagus sylvatica* L.) virgin forest in the context of climate-smart forestry. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(1), 87-97. <https://doi.org/10.31548/forest2020.01.087> [Шпарик, Ю., Вітер, Р., Шпарик, В. Структурні зміни букового (*Fagus sylvatica* L.) пралісу в контексті кліматично орієнтованого лісівництва. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 11(1), 87-97] (in Ukrainian)
- Spracklen, B.D., & Spracklen, D.V. (2020). Old-Growth Forest Disturbance in the Ukrainian Carpathians. *Forests*, 11(2), 151. <https://doi.org/10.3390/f11020151>
- Stoyko, S.M. (2013). Beech primeval forests of the Carpathians as the object of world heritage list. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 17-24. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/320/240> [Стойко, С.М. (2013). Букові праліси Карпат як об'єкт світової природної спадщини ЮНЕСКО. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 11, 17-24] (in Ukrainian)
- Stoyko, S.M. (2002). Primeval forest ecosystems of Ukraine, their multifaceted importance and protection. *Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Scientific Works*, 1, 27-31. [Стойко, С.М. (2002). Пралісові екосистеми України, їх багатогранне значення та охорона. *Лісівнича академія наук України: Наукові праці*, 1, 27-31] (in Ukrainian)
- Sukharyuk, D.D. (2006). Beech primeval forests of the Carpathian Biosphere Reserve: distribution, coenotic structure and monitoring. *Scientific Bulletin of Uzhgorod University: Biological series*, 19, 91-95. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/pdf> [Сухарюк, Д.Д. (2006). Букові праліси Карпатського біосферного заповідника (поширення, ценотична структура та моніторинг). *Науковий вісник Ужгородського університету: Серія біологічна*, 19, 91-95] (in Ukrainian)
- Voloshchuk, I. (2004). Primeval forests are the most valuable treasure of Europe. *Green Carpathians*, 1-2, 10-11. Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/zk/zk2004.pdf> [Волощук, І. (2004). Праліси – найцінніший скарб Європи. *Зелені Карпати*, 1-2, 10-11] (in Ukrainian)
- WFO (2025). World Flora Online. Published on the Internet; <http://www.worldfloraonline.org>

Forest-mensurational characteristics of *Picea abies* (L.) Karst. forest stands in the primeval forest groups of the Chyvchyno-Hryniavsky Mountains of the Verkhovynskyi National Nature Park

V. Debryniuk¹, L. Matzapyak², M. Nechai³, Ya. Zelenchuk⁴, I. Koliadzhyn⁵, V. Lavnyy⁶, S. Myklush⁷, M. Soroka⁸, Iu. Debryniuk⁹

The studied old-growth spruce forests are of natural origin, these are uneven-aged forests, characterized by the presence of dead-standing trees and trees on the verge of physiological development, the presence of a significant amount of self-seeding and young growth, down trees of all stages of decomposition, the absence of anthropogenic impact, i.e. the stands have all the signs of belonging to primeval forest groups.

The volume of stemwood of living standing trees, representing the maturing timber stage, ranges between 514 and 589 m³·ha⁻¹, the volume of the aging stage is 449 m³·ha⁻¹, and that of the mortality stage amounts to 305 m³·ha⁻¹.

The exception is the forest stand in sample plot No. 10 (mortality stage), where the volume of the living part of the stand is about 580 m³·ha⁻¹, which is due to the specific features of orographic, forest growth and hydrological conditions. The volume of standing deadwood is, respectively, 32-45, 39, and 98-117 m³·ha⁻¹. The studied stands mainly have a two-storeyed structure. The first storey is formed by the tallest *Picea abies* trees, often with the largest diameter.

The second storey, regardless of the development stage of the stand, is weakly expressed. It is formed by stunted trees or a young generation of trees. Three storeys are distinguished in only one stand (SP No. 10), however, the second storey is dominated by dead-standing trees of Norway spruce.

The main share of standing dead trees (63.4-90.4%), except for SP No. 10, is concentrated in the second storey, while a larger stock of standing dead trees is inherent mainly in the first storey due to the larger volume of trunks. The forest stand, where SP No. 10 is located, is at the mortality stage, therefore almost the entire volume of standing deadwood, both in terms of the number of trees (51 pcs./ha) and the wood volume ($108 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), is concentrated in the first storey.

The sanitary condition of the stands in sample plots No. 6, No. 9, and No. 11 is characterized as showing no signs of weakening; in sample plot No. 8, it is weakened; in sample plots No. 7 and No. 10, it is very weakened, which is confirmed by the increasing volumes of standing deadwood in the stands (from 32 to $117 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$).

In the series reflecting the successive phases of forest stand aging, there is a general increase in the number of trees on the verge of physiological development: 14-18 (maturing stage), 24 (aging stage), 16-26 (mortality stage) pcs./ha.

The number of self-sown trees varies significantly and depends on the development stage of the stand: 8-12 (maturing stage), 10-15 (aging and mortality stages) thousand pcs./ha. The trend in the number of young-growth trees with a change in the development stage of the stand is weakly observed: respectively, 2.74-11.62; 8.28; 3.70-11.22 thousand pcs./ha. The main cause of the significant variability in the amount of young growth in the plots is the different intensity of development of grass vegetation, the growth of which is facilitated by the good illumination of the plots due to the significant area of the gaps in the stand. Young growth and self-seeding are concentrated mainly on lying trunks of stage IV decomposition, and the success of the natural regeneration process largely depends on the volume of the latter.

A comprehensive study of natural processes within virgin forest ecosystems is an important prerequisite for the introduction of close-to-nature forest management, since virgin forests can serve as a benchmark for the formation of biologically stable and highly productive forest communities.

Key words: forest stand; development stages; dead-standing trees; dead-fallen wood; self-seeding; young growth; forest floor; grass cover.

- ¹ *Vasyl Debryniuk* – post graduate student at the Department of Forestry, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: v.debryniuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0005-3522-2652>. Research supervisor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor Vasyl Lavnyy.
- ² *Liudmyla Matzapyak* – Head of the Research Department of the National Nature Park “Verkhovynskyi”, the village of Verkhniy Yaseniv, Verkhovyna district, Ivano-Frankivsk region, 78712, Ukraine. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0009-0003-9862-0151>
- ³ *Mykhailo Nechai* – Director of the National Nature Park “Verkhovynskyi”, the village of Verkhniy Yaseniv, Verkhovyna district, Ivano-Frankivsk region, 78712, Ukraine. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4479-2307>
- ⁴ *Yaroslav Zelenchuk* – Deputy Director for Research of the National Nature Park “Verkhovynskyi”, the village of Verkhniy Yaseniv, Verkhovyna district, Ivano-Frankivsk region, 78712, Ukraine. E-mail: nppverhovuna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-9862-0151>
- ⁵ *Ivan Koliadzhyn* – civil defense specialist, metrology engineer of the Municipal Non-Profit Enterprise “Verkhovyna Multi-Profile Hospital” of the Verkhovyna Village Council, the village of Verkhovyna, Ivano-Frankivsk region, 78701, Ukraine. E-mail: ivan_ko@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6790-7051>
- ⁶ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-rector for scientific work, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>. Head of the project on the study of primeval forests.
- ⁷ *Stepan Myklush* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Inventory and Forest Management, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynkа st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: msi_s@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9762-1190>
- ⁸ *Myroslava Soroka* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Botany, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynkа st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>
- ⁹ *Iurii Debryniuk* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Crops and Forest Selection, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynkа st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412514>
Article received 2025.02.07
Article revised 2025.02.14
Article accepted 2025.06.02
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Lavnyy
lavnyy@gmail.com
103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*58 : [630*176.322.6+630*174.754] (477.83)

Лісівничо-таксаційна оцінка мартелоскопів Українського Розточчя

В.В. Лавний¹, Т.В. Юськевич², О.Б. Михайлів³, А.П. Іванюк⁴, Б.З. Нагорняк⁵, П. Шпатгельф⁶

Наведено результати сучасних методів дослідження лісових екосистем – мартелоскопів, закладених у 81-річному сосновому та 88-річному дубовому деревостанах в умовах Українського Розточчя. Здійснено підбір лісових ділянок відповідного віку, складу та повноти; закладання мартелоскопів за унікальною методикою з встановленням просторового розміщення та визначення таксаційних показників кожного дерева; ідентифікацію та інвентаризацію малих і цінних для біорізноманіття структур (мікрооселищ); оцінювання сортиментної структури деревостанів.

Встановлено, що деревостан з перевагою у складі сосни звичайної є високопродуктивним і характеризується середнім діаметром 26,7 см, середньою висотою 25,1 м, абсолютною повнотою 43,2 м²·га⁻¹, відносною повнотою 0,99, I класом бонітету, загальним стовбуровим запасом 491 м³·га⁻¹. Із загального запасу дров'яна деревина становить 31,9, а круглі лісоматеріали складають 68,1%, причому значна частина лісоматеріалів припадає на круглі лісоматеріали класу С (44,3%). Кількість дерев з мікрооселищами на мартелоскопі – 116.

Деревостан з перевагою в складі дуба звичайного є двоярусним і характеризується середнім діаметром 28,1 см, середньою висотою 24,0 м, абсолютною повнотою 36,1 м²·га⁻¹, відносною повнотою 0,95, II класом бонітету, загальним стовбуровим запасом 420 м³·га⁻¹. На відміну від першої ділянки, тут лише 40% деревини належить до категорії ділових круглих лісоматеріалів, серед яких істотно переважають лісоматеріали категорії С і D. Лісоматеріали вищої категорії А та В траплялись лише в окремих деревах. Встановлено 15 різновидів мікрооселищ на 205 деревах (35% від загальної кількості). Досліджені деревостани є репрезентативними для середньовікових деревостанів в умовах свіжого грабово-буково-соснового сугрудю (С₂-г-бк-С) та свіжої грабово-соснової судіброви (С₂-г-с-Д) Українського Розточчя, а закладені мартелоскопи будуть використані для покращення практичної підготовки фахівців лісового господарства.

Ключові слова: сосна звичайна; дуб звичайний; лісознавство; лісівництво; деревостан; мікрооселища.

¹ Лавний Василь Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, проректор з наукової роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

² Юськевич Тарас Васильович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: t.yuskevich@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0492>

³ Михайлів Оксана Богданівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: o.mychayliv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9670>

⁴ Іванюк Андрій Петрович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: a.ivanuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

⁵ Нагорняк Богдан Зіновійович – асистент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: b.nahornjak@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>

⁶ Шпатгельф Петер – кандидат наук, професор факультету лісу і довкілля. Університет сталого розвитку Еберсвальде, вул. Альфреда Мьоллера, 1, м. Еберсвальде, 16225 Німеччина. E-mail: Peter.Spathelf@hnee.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-2319>

Вступ (Introduction). Мартелоскопи представляють собою прямокутні лісові ділянки площею один гектар, де всі дерева пронумеровані фарбою, нанесені на карту та виміряні за основними таксаційними показниками (рис. 1). Концепція мартелоскопів була розроблена у Франції у 1990 р. (Thormann et al., 2019). Цей термін походить від

французького слова «martelage», що означає відбір дерев, і грецького терміну «skopein» (дивитися), що буквально означає «придивитися до добору дерев». Спочатку ця концепція застосовувалася в основному у приватних лісах, але незабаром її потенціал було визнано для польового навчання працівників лісового господарства і студентів.



Рис. 1. Мартелоскоп у сосновому деревостані Страдчівського НВЛК

Fig. 1. Marteloscope in the Scots pine forest of the Stradch Educational and Production Forest Enterprise of the Ukrainian National Forestry University

Мартелоскоп використовують для того, щоб розглядати різні варіанти проведення рубок догляду у лісі та мати можливість порівняти і обговорити наслідки проріджування чи прохідної рубки на основі конкретних цифр.

У грудні 2024-лютому 2025 рр. мережу мартелоскопів в Україні доповнили ще дві ділянки, закладені в Українському Розточчі. Цей регіон є унікальним за своїм географічним розташуванням і типами лісових формацій.

Українське Розточчя становить систему горбистих гряд завширшки до 20 км, які простягаються від околиць м. Львова до кордону з Республікою Польща і далі простягаються її територією. Загальна довжина гряди Розточчя становить 180 км, з них майже 60 км знаходиться в Україні. Географічне місце регіону є особливим, оскільки знаходиться на стику трьох різних природних областей: Карпат, Полісся і Поділля. Українське Розточчя – це крайній північно-західний виступ Подільської височини. В межах м. Львова проходить розмежування між Розточчям та Опіллям. Територією Розточчя проходить лінія головного європейського вододілу, звідки беруть початок ріки басейнів Чорного і Балтійського морів, від чого і походить назва регіону (Геренчук, 1972).

Розточчя характеризується складною геологічною будовою. Геологічні шари мають полігенну структуру і почленовані системою розломів, що зумовило формування різних форм рельєфу і мозаїчного ґрунтового покриття. Особливістю геології регіону є те, що в далекому історичному минулому

територія Розточчя була вкрита материковим льодовиком, і це відобразилося на характерному для регіону складі рослинності.

Завдяки своєму географічному розташуванню на межі різних кліматичних територій – рівнини Малого Полісся та горбистого пасма Грядового Побужжя, регіон залісненого горбогірського пасма Розточчя репрезентує багатство природних ресурсів. Регіон Розточчя розташований у перехідній зоні від помірно-теплого західноєвропейського до помірно-континентального східноєвропейського клімату. Уся територія зазнає впливу західних повітряних мас, морського полярного та континентального тропічного повітря. Температурні умови і режим зволоження мають найбільше значення для формування ландшафтів (Сорока, 2008).

Основний хребет Розточчя простягається у широтному напрямку майже по межі двох зон – неморальної та бореальної. Бореальні і неморальні види із незначною перевагою останніх беруть майже рівноцінну участь в утворенні лісових рослинних комплексів (Сорока, 2024).

Для інтеграції збереження біорізноманіття в практику лісового господарства у 2020 р. на Львівщині вперше в Україні було розпочато наукові дослідження за програмою «Marteloscope» Європейського лісового інституту.

Переклад каталогу мікрооселищ на деревах [iplus.efi.int/uploads/Tree%20Microhabitat%20Catalogues/Catalogue_TreeMicrohabitats_UA.pdf] українською мовою здійснив професор В.В. Лавний.

Донедавна у західному регіоні України було лише два мартелоскоп-стаціонари. Перший з них розташований в Лапаївському лісництві колишньої філії «Львівське лісове господарство» у мішаному сосновому деревостані віком 75 років. Другий мартелоскоп-стаціонар знаходиться у Великолюбінському лісництві цього ж підприємства в мішаному 80-річному дубовому деревостані.

Станом на 01.05.2025 р. карта мартелоскопів вміщає дані про 267 об'єктів у 27 країнах Європи (*Online platform ... of situations*). Карта інтерактивна і низка таких об'єктів знаходиться в західному регіоні України. Міжнародну програму мартелоскопів координує Європейський лісовий інститут (EFI) з офісу в Бонні (Krumm, Lachat, Schuck, Büttler, & Kraus, 2019), а по об'єктах України контактною особою є професор Василь Лавний.

На цей час у рамках міжнародних наукових проектів «Переформування соснових деревостанів до наближених до природи лісів в Україні з особливим врахуванням стійкості до пожеж та екстремальних погодних умов на засадах інтегрованого менеджменту пожеж (Resilpine)» і «Догляд за лісом як передумова формування продуктивних, пожежо- та кліматично стійких лісів в Україні» (ManUk), на території Львівської області вже закладено п'ять мартелоскопів у деревостанах основних лісотвірних деревних видів. Вони слугують для тренування лісівників, студентів та всіх зацікавлених осіб з відведення дерев у рубки догляду. Метою рубок догляду є не лише покращення якісного складу деревостану, але й збереження біорізноманіття. За допомогою спеціального програмного забезпечення на екрані ноутбука можна побачити наслідки відведення дерев у рубку. Доповнення даних мартелоскопів віртуальними турами дасть змогу проводити тренінги не лише в лісі, але й в аудиторних умовах. З огляду на це, *актуальність досліджень* у цьому напрямі є дуже вагомою.

Мета роботи – дослідити стан і структуру деревостанів на мартелоскопах в сосновому та дубовому лісостанах Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату (СНВЛК) Національного лісотехнічного університету України (НЛТУ України).

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – оцінювання лісівничо-таксаційних показників 81-річного деревостану з перевагою у складі сосни звичайної у лісовому фонді Лелехівського л-ва та 88-річного деревостану з перевагою у складі дуба звичайного у лісовому фонді Страдцівського л-ва СНВЛК НЛТУ України.

Предмет дослідження – особливості росту та формування мішаних деревостанів з переважанням у складі сосни звичайної та дуба звичайного.

Досягнення поставленої мети роботи передбачає виконання наступних завдань: підбір ділянок відповідного віку, складу та повноти; закладання мартелоскопів зі встановленням просторового розміщення та визначення таксаційних показників кожного дерева; ідентифікація малих і цінних

для біорізноманіття структур (порожнини, травми та рани, відшарування кори, мертва деревина, деформації, епіфіти, гнізда); оцінювання сортиментної структури деревостану.

Мартелоскоп – це квадрат площею 1 га (100 × 100 метрів). Координати кожної ключової точки фіксували в GPS-форматі. Розподіл секцій розміром 50 × 50 м здійснювали за напрямком проти годинникової стрілки, починаючи з північного сходу. Центр кожної секції визначали, використовуючи метод трикутника. Під час цього процесу, за допомогою бусолі в кожній з вершин відкладали кут 45° і протягували мірну стрічку за відповідним напрямком. Далі довжину, яку вимірювали на гіпотенузі трикутника, ділили на два. У нашому випадку це дало результат 35,35 метра. Саме на такій відстані від вершин квадрата було встановлено центр секції. Операцію повторювали по всіх діагоналях кожної секції мартелоскопа.

Після проведених вимірювань на кожній з точок встановлювали віхи. Крім того, секції були чітко обмежені маркувальною стрічкою для полегшення встановлення приналежності кожного дерева до відповідної секції.

Для подальших вимірювань нумерували кожне дерево. Для цього спочатку необхідно підготувати стовбур дерева для нанесення номера фарбою. Оскільки це стаціонарна пробна площа, то фарба повинна бути стійкою впродовж тривалого періоду часу. При цьому брали до уваги, що кора стовбура може відлущуватися, і це призведе до зникнення маркування. У цьому випадку переважали дерева сосни звичайної з грубою корою, яка має властивість доволі швидко відлущуватися. Тому частину кори на стовбурі обережно знімали за допомогою струга, щоб не пошкодити камбій, після чого здійснювали маркування (рис. 2). Для дерев з гладкою корою маркування наносили після очищення стовбура щіткою.

Після відповідної підготовки стовбурів дерев розпочинали їх маркування. На висоті 1,3 метри наносили горизонтальну лінію завдовжки 10 см, вище якої вказували номер дерева та секцію, до якої воно належить (рис. 3). Спочатку всі позначення наносили крейдою, а потім, після повторного огляду всіх дерев секції, наводили їх фарбою.

Після нумерації дерев визначали таксаційні показники кожного дерева. На мартелоскопі обліковували усі живі дерева діаметром від 7 см на висоті 1,3 м. Також визначали GPS-координати стовбура, висоту дерева і висоту початку крони. Діаметри дерев визначали з точністю до 1 мм за допомогою мірної стрічки. Одна особа займала центральну позицію в секції, і, використовуючи прилад VERTEX LASER GEO, вимірювала азимут, відстань до кожного дерева від центру секції, а також висоту дерев та висоту до початку крони. За допомогою програмного забезпечення «Integrate+» отримували просторове розміщення дерев на мартелоскопі та лісівничо-таксаційні показники деревостану (Kraus et al., 2018).



Рис. 2. Підготовлення стовбура дерева сосни звичайної до маркування

Fig. 2. Preparing Scots pine trees for marking



Рис. 3. Маркування дерев фарбою

Fig. 3. Marking trees with paint

Крім таксаційних досліджень, візуальне обстеження кожного дерева дало можливість встановити наявність мікрооселищ. Для цього використано каталог, розміщений на сайті Європейського лісового інституту (Kraus et al., 2016). Каталог пропонує доступну методику для ідентифікації малих і цінних для біорізноманіття структур (порожнини, травми та рани, відшарування кори, мертва деревина, деформації, епіфіти, гнізда, потоки живиці тощо), які можуть слугувати притулком для різної флори та фауни (рис. 4).



Рис. 4. Мікрооселища на мартелоскопі

Fig. 4. Microhabitats on the marteloscope



Ці дані є вихідним матеріалом для розуміння значення середовища існування для кожного дерева на мартелоскопі. Оцінювання сортиментної

структури деревостану, встановлення вартості ділової і дров'яної деревини проводили за методикою та актуальними цінами ДП «Ліси України».

Результати досліджень (Results).

Перша мартелоскоп-проба закладена у деревостані, що за лісівничо-екологічною типологією відноситься до типу лісу свіжий грабово-буково-сосновий сугруд (C₂-г-бкС) (Ткач, Тарнопільська, Орлов, 2024). Структура досліджуваного деревостану в межах мартелоскопу наведена на

рис. 5. На ділянці обліковано 768 дерев. Основні лісівничо-таксаційні показники деревостану наведені в табл. 1. За даними розрахунків, розташування дерев на пробній площі характеризується випадковим типом; горизонтальні проекції крон дерев вкривають значну частину пробної площі, що свідчить про високу повноту деревостану.

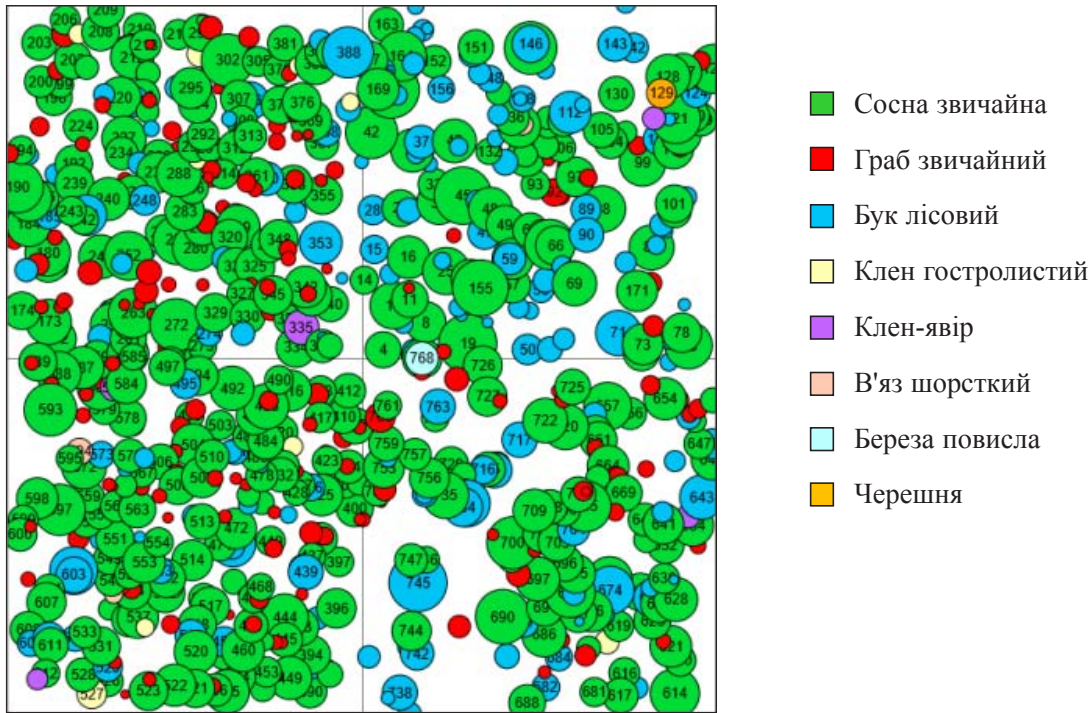


Рис. 5. Схема розташування дерев на мартелоскопі в сосновому деревостані

Fig. 5. Scheme of tree distribution on the marteloscope in the Scots pine forest

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники соснового деревостану
Table 1. Silvicultural and measurement indicators of the Scots pine stand

Склад	Вік, р.	Клас бонітету	Елемент лісу	Відносна повнота	Середні		Абс. повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	К-сть дерев, шт./га
					діаметр, см	висота, м			
8Сз2Бкл+ Гз, Клг, Яв	81	І	Бук лісовий	0,20	22,8	22,0	7,8	81	187
			Граб звичайний	0,13	14,1	16,0	3,1	24	201
			Сосна звичайна	0,63	33,5	26,8	31,7	377	359
			Клен гостролистий	0,01	19,4	19,6	0,3	3	11
			Клен-явір	0,01	22,6	23,0	0,2	3	6
			В'яз шорсткий	0,00	20,0	19,8	0,1	1	3
			Береза повисла	0,00	29,9	26,4	0,0	1	1
			Черешня	0,00	26,4	21,9	0,0	1	1
Разом				0,99	26,7	25,1	43,2	491	769

У досліджуваному деревостані спостережено певні відмінності щодо таксаційних показників окремих деревних видів. Зокрема, суттєво відрізняються значення середнього діаметра сосни звичайної порівняно з іншими деревними видами.

Відмінність же за середніми висотами між деревними видами виражена не настільки чітко. Зокрема, середня висота бука лісового, граба звичайного, клена гостролистого є лише дещо нижчою, ніж середня висота дерев сосни звичайної. Відмінність

за середніми діаметром і висотою безпосередньо вплинула на запаси деревини вказаних видів і, відповідно, і на склад деревостану. Запас стовбурової деревини досліджуваного деревостану становить

491 м³·га⁻¹. Таким чином можна стверджувати, що деревостан за участю сосни звичайної є продуктивним, що підтверджено також і класом бонітету (рис. 7).

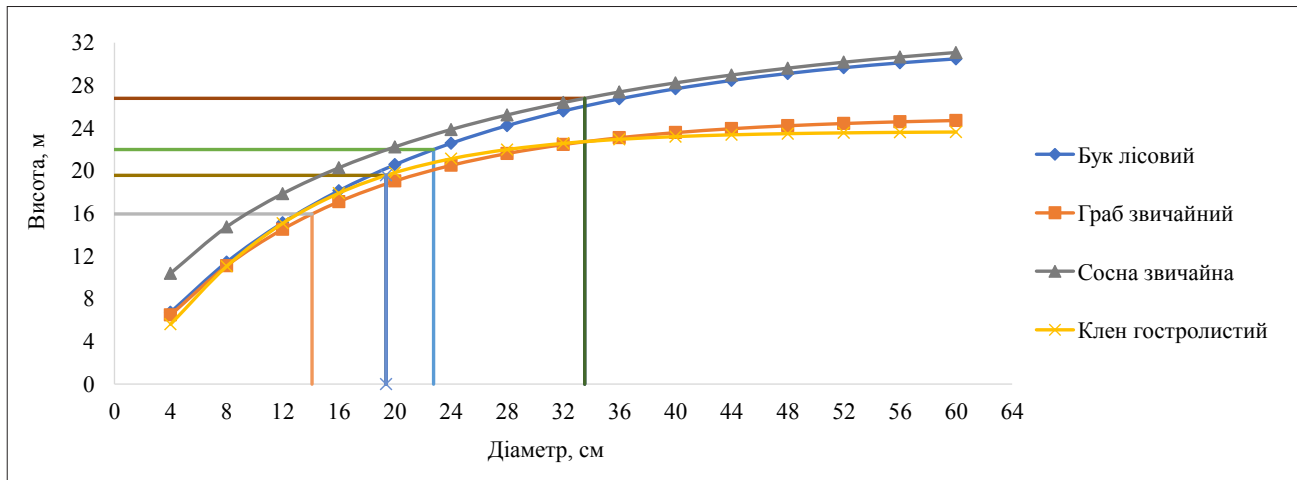


Рис. 6. Залежність між діаметром та висотою дерев на мартелоскопі у сосновому деревостані

Fig. 6. Dependence between tree diameter and height on the marteloscope in the Scots pine stand

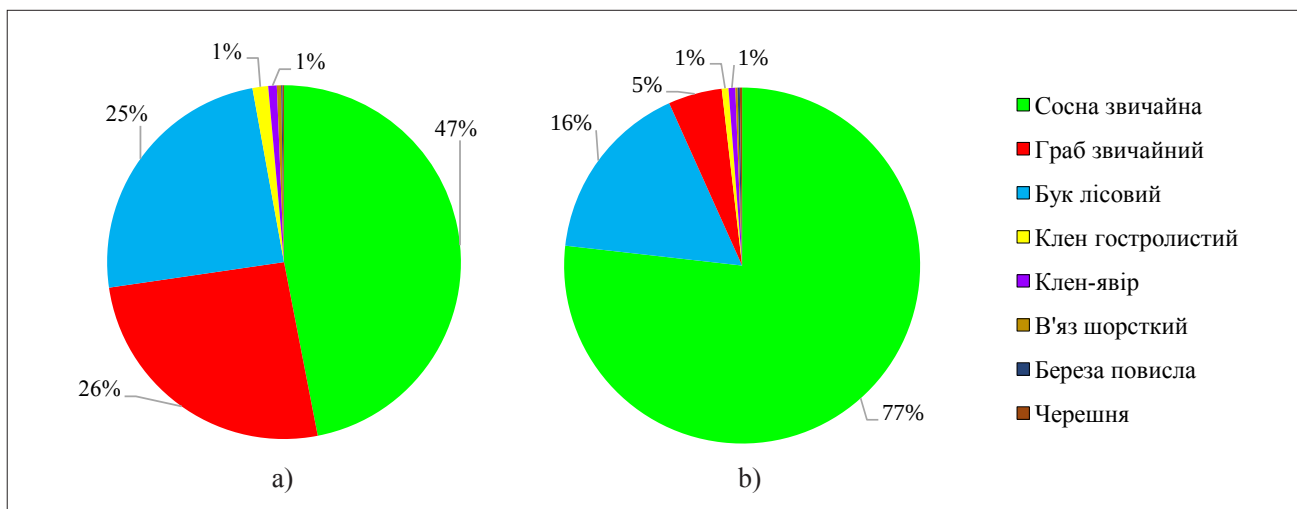


Рис. 7. Структура соснового деревостану за кількістю дерев (а) та за запасом (б)

Fig. 7. Structure of the Scots pine forest stand by number of trees (a) and by growing stock (b)

Загальновідомо, що запас деревостану зумовлений низкою чинників, зокрема його будовою, віковою диференціацією та особливостями господарської діяльності. Тому отримані результати підтверджують необхідність постійного моніторингу досліджуваних деревостанів та розроблення шляхів їх ефективного використання.

Для комплексного оцінювання досліджуваного соснового деревостану встановлено його сортиментну структуру (табл. 2).

За отриманими результатами, із загального запасу 491 м³·га⁻¹ дров'яна деревина становить 31,9, а круглі лісоматеріали – 68,1%. При цьому значна частина запасу припадає на круглі лісоматеріали класу С (44,3%). Своєю чергою, круглі лісомате-

ріали класу D становлять 19,4%, класу В – 3,9%, а класу А – лише 0,5%.

Паралельно із дослідженнями з вивчення запасу та сортиментної структури деревостану, проведено спостереження щодо наявності мікрооселищ у сосновому деревостані. Як відомо, мікрооселища – це дрібні середовища існування, які утворюються у лісових екосистемах. Зокрема, це гнізда птахів, порожнини у стовбурах, дендротельми, галереї комах та ходи личинок, тріщини і розколювання, раки і нарости, плодові тіла грибів тощо. Мікрооселища сприяють підвищенню біорізноманіття лісу, що базується на різноманітності умов існування для різних видів організмів (грибів, мікроорганізмів, комах, птахів тощо). Збереження та забез-

печення функціональності мікрооселищ є вагомою складовою наближеного до природи лісівництва, оскільки вони є ключовими компонентами для збереження видового біорізноманіття (Courbaud et al., 2021). Результати спостережень наведено на рис. 8.

За отриманими результатами потрібно відмітити досить багате різноманіття мікрооселищ у

досліджуваному сосновому деревостані, з яких доволі поширеними є дупла на скелетних гілках та кореневих лапах, що слугують місцем для існування різних видів організмів. Також необхідно відзначити і наявність доволі великої кількості зламів стовбурів із відкритою серцевиною, що частково погіршує якість майбутніх сортиментів і зменшує дохід лісогосподарського підприємства.

Таблиця 2. Сортиментна структура соснового мартелоскопу

Table 2. Assortment structure of the Scots pine marteloscope

Елемент лісу	Кількість дерев, шт.	Круглі лісоматеріали, м ³				Дров'яна деревина, м ³	Запас деревини, м ³
		A	B	C	D		
Бук лісовий	187	0,4	1,7	9,6	10,9	58,4	81
Граб звичайний	201	–	–	–	0,2	23,8	24
Сосна звичайна	359	2,0	17,6	207,3	83,5	66,6	377
Клен гостролистий	11	–	–	0,2	0,2	2,6	3
Клен-явір	6	–	–	–	0,1	2,9	3
В'яз шорсткий	3	–	–	–	–	1,0	1
Береза повисла	1	–	–	0,3	0,2	0,5	1
Черешня	1	–	–	–	–	1,0	1
Разом	769	2,4	19,3	217,4	95,1	156,8	491
%		0,5	3,9	44,3	19,4	31,9	100

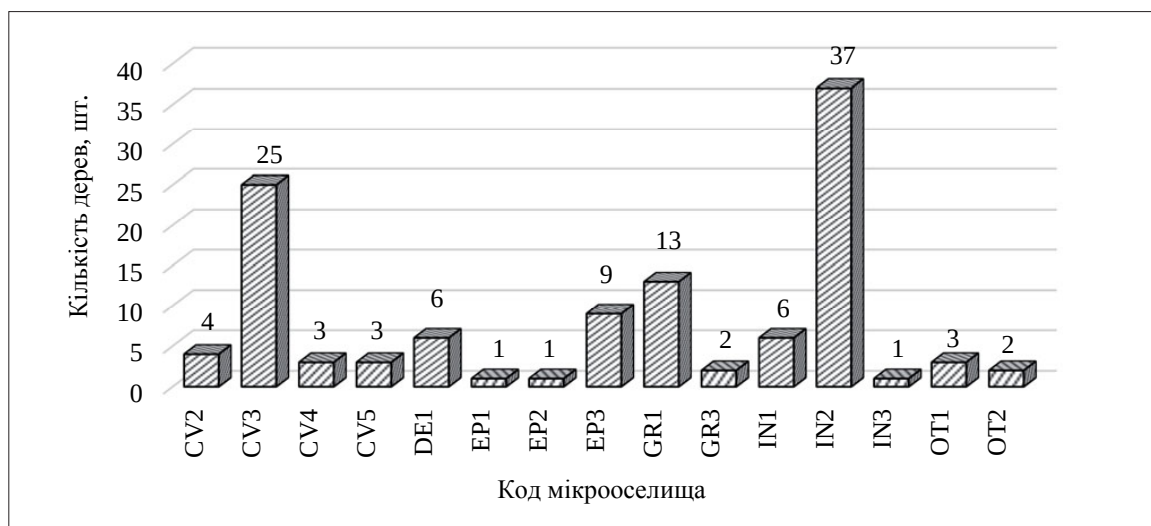


Рис. 8. Кількість дерев з мікрооселищами на мартелоскопі у сосновому деревостані

Fig. 8. Number of trees with microhabitats on the marteloscope in the Scots pine stand

Примітки. CV2 – порожнини у стовбурах; CV3 – дупла на гілках; CV4 – дентротельми і наповнені водою дупла; CV5 – галереї комах та ходи личинок; IN1 – втрата кори, відкрита заболонь; IN2 – відкрита серцевина, злами стовбурів і крони; IN3 – тріщини і розколювання; DE1 – мертві гілки, мертва деревина крони; GR1 – дупла у кореневих лапах; GR3 – рак і нарости; EP1 – плодові тіла грибів; EP2 – міксоміцети; EP3 – епіфітні крипто- і фанерограми; OT1 – потоки соку і живиці; OT2 – мікрогрунти.

Note. CV2 – cavities in trunks; CV3 – holes in branches; CV4 – dendrotelms and water-filled holes; CV5 – insect galleries and larval tunnels; IN1 – bark loss, exposed sapwood; IN2 – exposed pith, broken trunks and crowns; IN3 – cracks and splits; DE1 – dead branches, dead crown wood; GR1 – hollows in root spurs; GR3 – cancer and outgrowths; EP1 – fruiting bodies of fungi; EP2 – myxomycetes; EP3 – epiphytic crypto- and phanerogams; OT1 – sap and resin flows; OT2 – microsoils.

Загалом досліджуваній сосновий деревостан характеризуються високими показниками продуктивності, є середовищем численних мікрооселищ, що забезпечує збереження видового біорізноманіття.

Наступна мартелоскоп-проба закладена у деревостані, що представляє зональний тип європейських широколистяних лісів. За лісівничо-екологічною типологією ділянка належить до типу

лісу свіжа грабово-соснова судіброва (C₂-г-сД) (Ткач, Тарнопільська, Орлов, 2024).

Просторове розміщення стовбурів дерев у межах мартелоскопу наведено на рис. 9. На ділянці пронумеровано 580 дерев, що на 25% менше ніж на мартелоскопі у сосновому деревостані. Основні лісівничо-таксаційні показники дубового деревостану наведено в табл. 3.

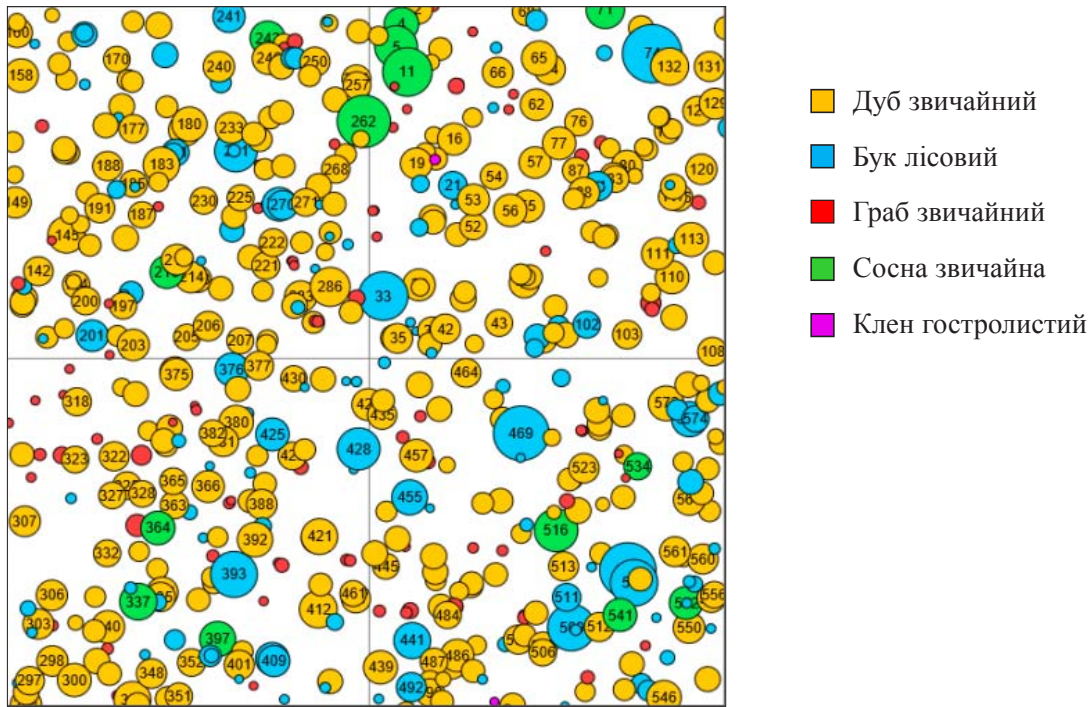


Рис. 9. Схема розташування дерев на мартелоскопі в дубовому деревостані
Fig. 9. Scheme of tree distribution on the marteloscope in the oak stand

У видовій структурі даного деревостану 58% дерев припадає на дуб звичайний, 24% – бук лісовий і 15% – граб звичайний із невеликою домішкою сосни звичайної та граба звичайного (рис. 10). Основна частка дерев дуба звичайного має діаметр 30 см, а середній діаметр на ділянці становить 31 см. Це більший діаметр ніж у бука лісового, але поступається сосні звичайний, у якої середній діаметр дорівнює 48 см. У висотній

структурі панівним видом є дуб звичайний, а співпанівним – бук лісовий, який у цьому типі лісу поступається за кількістю дерев. Проте окремі дерева бука перевершують висоту дуба звичайного. Якщо розмах висоти дерев дуба знаходиться в межах 6-31 м, то окремі дерева бука досягали максимальної висоти 33,8 м (рис. 11). У деревостані найбільшу середню висоту має також сосна звичайна, якої на пробній площі обліковано 14 дерев.

Таблиця 3. Лісівничо-таксаційні показники дубового деревостану
Table 3. Silvicultural and measurement indicators of the oak stands

Склад	Вік, р.	Клас бонітету	Елемент лісу	Відносна повнота	Середні		Абс. повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	К-сть дерев, шт./га
					діаметр, см	висота, м			
7Дз2Бкл1Сз + Гз	88	II	Бук лісовий	0,19	25,6	21,0	7,3	78	141
			Граб звичайний	0,05	12,0	12,5	1,0	6	87
			Дуб звичайний	0,66	31,0	24,9	25,2	305	335
			Сосна звичайна	0,05	48,4	27,6	2,6	31	14
			Клен гостролистий	0,00	10,8	12,7	0,0	0	3
Разом				0,95	28,1	24,0	36,1	420	580

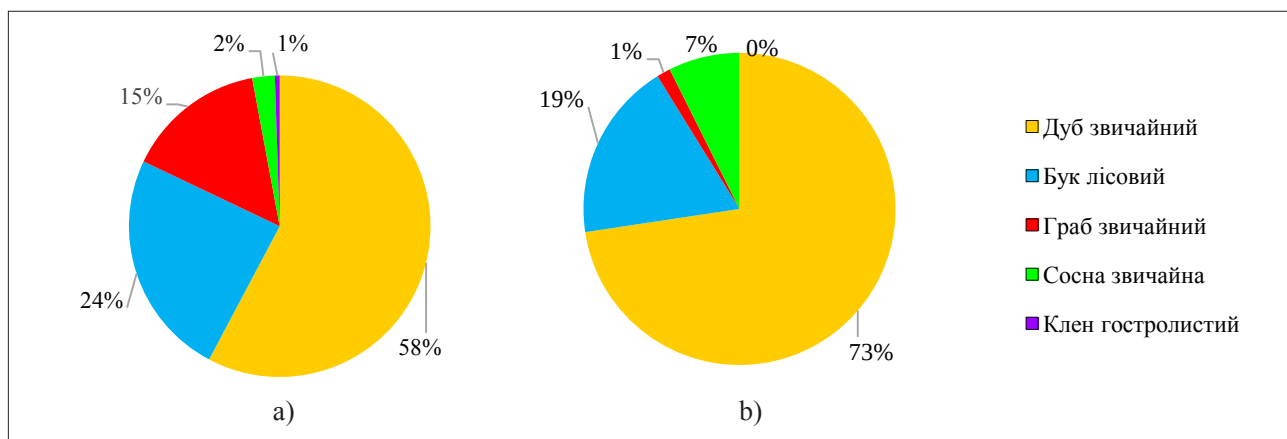


Рис. 10. Структура дубового деревостану за кількістю дерев (а) та за запасом (б)

Fig. 10. Structure of the oak stands by number of trees (a) and by stock (b)

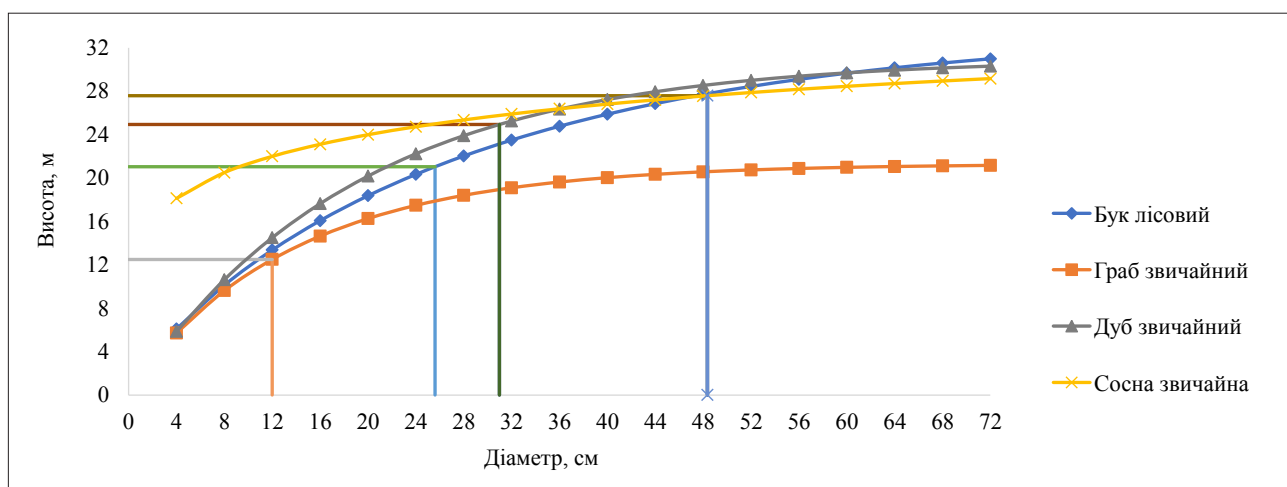


Рис. 11. Залежність між висотою та діаметром дерев на мартелоскопі у дубовому деревостані

Fig. 11. Dependence of tree diameter and height on the marteloscope in the oak stand

За основними біометричними показниками дубовий деревостан дещо поступається сосновому. Зокрема, він має менший запас, густоту, а також нижчий клас бонітету. Проте тут більшим є середній діаметр.

На ділянці мартелоскопу в дубовому лісостані також відбирали дерева з мікрооселищами. Загалом було виділено 205 таких дерев (35% від загальної кількості), на яких встановлено 15 різно-

видів оселищ (рис. 12). Найбільше дерев (113 шт.) відмічено з дуплами в кореневих лапах. Також поширеними є гнізда в кронах дерев (21 дерево), дендротельми і дупла у відземковій частині стовбура наповнені водою (19 дерев), а також відкриті рани та зламані стовбури (13 дерев).

Об'єктивним показником товарності деревостану під час ведення господарства в ньому є сортиментна структура (табл. 4).

Таблиця 4. Сортиментна структура дубового деревостану

Table 4. Assortment structure of the oak stand

Елемент лісу	Кількість дерев, шт.	Круглі лісоматеріали, м ³				Дров'яна деревина, м ³ ·га ⁻¹	Запас деревини, м ³ ·га ⁻¹
		A	B	C	D		
Бук лісовий	141	—	1,1	10,8	7,2	58,9	78
Граб звичайний	87	—	—	—	—	6,0	6
Дуб звичайний	335	—	7,2	41,2	79,6	177,0	305
Сосна звичайна	14	0,9	2,6	9,6	7,6	10,3	31
Клен гостролистий	3	—	—	—	—	0,1	0
Разом	580	0,9	10,9	61,6	94,4	252,2	420



Рис. 12. Кількість дерев з мікрооселищами на мартелескопі у дубовому деревостані

Fig. 12. Number of trees with microhabitats on the martelescope in the oak stand

Примітки. CV2 – порожнини у стовбурах; CV3 – дупла на гілках; CV4 – дентротельми і наповнені водою дупла; CV5 – галереї комах та ходи личинок; IN1 – втрата кори, відкрита заболонь; IN2 – відкрита серцевина, злами стовбурів і крони; IN3 – тріщини і розколювання; DE1 – мертві гілки, мертва деревина крони; GR1 – дупла у кореневих лапах; GR3 – раки і нарости; EP1 – плодові тіла грибів; EP2 – міксоміцети; EP3 – епіфітні крипто- і фанерограми; NE – гнізда.

Note. CV2 – cavities in trunks; CV3 – holes in branches; CV4 – dendrotelms and water-filled holes; CV5 – insect galleries and larval tunnels; IN1 – bark loss, exposed sapwood; IN2 – exposed pith, broken trunks and crowns; IN3 – cracks and splits; DE1 – dead branches, dead crown wood; GR1 – hollows in root spurs; GR3 – cancer and outgrowths; EP1 – fruiting bodies of fungi; EP2 – myxomycetes; EP3 – epiphytic crypto- and phanerogams; NE1 – nests.

Найчастіше з причини низько опущених крон та незадовільного очищення стовбурів від сучків лише 40% деревини належить до категорії ділових круглих лісоматеріалів, серед яких істотно переважають лісоматеріали сортів С і D. Лісоматеріали сортів А та В траплялись лише в окремих деревах.

Аналіз за деревними видами засвідчує, що в бука лісового круглі лісові матеріали становлять лише 24% від загального запасу. Решту визначено

як дров'яну деревину. Серед дерев дуба звичайного круглі лісоматеріали становлять 42% від запасу. Найкращу якість стовбурів мають дерева сосни звичайної. У них на ділову деревину припадає 67% запасу. На пробних площах ростуть дерева, які характеризуються певною варіабельністю як за діаметром, так і за висотою. У зв'язку з цим виконано розрахунок основних статистичних показників (табл. 5, 6).

Таблиця 5. Статистики розподілу деревостанів за діаметром

Table 5. Statistics of the distribution of tree stands by diameter

Пробна площа	Статистичні показники								
	Середнє значення	Ліміти		Розмах варіації	Дисперсія	Коефіцієнт варіації	Точність	Асиметрія	Екссес
		min	max						
1	24,6 ^{±0,37}	7,0	52,9	45,9	107,92 ^{±3,89}	42,2 ^{±1,03}	1,52	0,25 ^{±0,09}	-0,82 ^{±0,18}
2	25,3 ^{±0,51}	7,0	76,3	69,3	150,54 ^{±6,25}	48,6 ^{±1,48}	2,02	0,49 ^{±0,10}	0,56 ^{±0,20}

Таблиця 6. Статистики розподілу деревостанів за висотою

Table 6. Statistics of the distribution of tree stands by height

Пробна площа	Статистичні показники								
	Середнє значення	Ліміти		Розмах варіації	Дисперсія	Коефіцієнт варіації	Точність	Асиметрія	Екссес
		min	max						
1	22,1 ^{±0,22}	4,9	37,7	32,8	37,55 ^{±1,36}	27,8 ^{±0,58}	1,01	-0,23 ^{±0,09}	-0,48 ^{±0,18}
2	20,6 ^{±0,28}	4,0	33,8	29,8	44,53 ^{±1,85}	32,5 ^{±0,82}	1,35	-0,54 ^{±0,10}	-0,85 ^{±0,20}

Отже, варіаційний ряд за діаметрами представлений значеннями від 7,0 до 76,3 см, а висоти коливаються в межах 4,0-37,7 м. Розмах варіації для

діаметрів складає 45,9-69,3 см, а для висот – 29,8-32,8 м. При цьому вибірку сформовано з гетерогенних рядів і для розрахунку взято практично два

покоління у досліджуваних деревостанах. Отримані позитивні значення коефіцієнта асиметрії вказують на помірну правосторонню асиметрію. Значення асиметрії ряду діаметра свідчить про більшу кількість нижчих значень варіант. При цьому для ряду висот отримані від'ємні значення (-0,23 – -0,54), що вказує на помірну лівосторонню асиметрію (табл. 6). Це означає, що більшість варіант сконцентрована праворуч від середнього значення, тобто спостерігається більша кількість вищих значень варіант.

Щодо ексцесу, то в ряді за діаметром і за висотою спостережено від'ємне значення в межах -0,48 – -0,85, що вказує на відсутність гострого піку в розподілі даних та низьку ймовірність екстремальних відхилень. Дані меншою мірою сконцентровані навколо середнього значення і цей розподіл є більш розтягнутим та рівномірним. Наведені результати можуть бути корисними у процесі подальших досліджень та у випадку побудови моделі для опису досліджуваної сукупності.

Дискусія (Discussion).

Еволюція соціальних очікувань зумовила трансформацію управлінських цілей, що знайшло своє відображення у концептуалізації багатофункціонального ведення лісового господарства (Gustafsson et al., 2012; Kraus, & Krumm, 2013; Messier et al., 2014; Aggestam, 2024). Інтегроване управління лісовими ресурсами передбачає врахування численних екосистемних послуг без надання пріоритету заготівлі деревини (Kraus, & Krumm, 2013; Aggestam, 2024). Впровадження подібних стратегій нерідко стикається зі складнощами, зумовленими необхідністю балансування між протилежними інтересами. Зокрема, задоволення комерційного попиту на деревину часто вступає в конфлікт з проблемами охорони біорізноманіття, оскільки ведення лісового господарства, орієнтованого на максимізацію обсягів деревини, призводить до однорідності лісових насаджень, дефіциту старовікових дерев і мертвої деревини, що, натомість, негативно впливає на біорізноманіття та стійкість лісових екосистем (Messier, Puettmann, & Coates, 2014).

Концепція наближеного до природи лісівництва передбачає інтеграцію природоохоронних цілей шляхом збереження біотичних структур під час заготівлі деревини, зокрема дерев, що формують специфічні мікросередовища існування (Gustafsson et al., 2012). Однак збереження таких дерев, які можуть мати високу комерційну вартість, супроводжується економічними втратами, що вимагає пошуку компромісів між виробничими та екологічними цілями. Незважаючи на наявність нормативних стимулів до інтеграції цих підходів, їх практична імплементація залишається складною (Aggestam, 2024).

Попри те, що відбір дерев у рубки безпосередньо впливає на структурну різноманітність лісостанів, лише останнім часом набули поширення дослідження поведінкових аспектів прийняття рішень у цьому процесі, які демонструють значний вплив індивідуального досвіду, суб'єктивних уподобань

і професійної підготовки (Spinelli et al., 2016). Автори дослідили динаміку змін у підходах до маркування дерев до і після проходження спеціалізованого навчання, встановивши, що менш досвідчені працівники лісогосподарських підприємств легше адаптуються до нових методик відведення дерев у рубки догляду, тоді як досвідчені лісівники демонструють нижчу гнучкість у цьому процесі.

Класичні підходи до аналізу управлінських рішень у лісовому господарстві ґрунтувалися на припущенні раціональної оптимізації корисності лісогосподарських заходів (Yousefpour et al., 2012), де чітко визначені цілі та є повна інформаційна база. Проте в реальних умовах ці передумови часто не реалізуються через складність, динамічність і довготривалість екосистемних процесів. Відтак, дедалі ширше застосовуються багатокритеріальні моделі, які враховують плюралізм цілей та інтересів зацікавлених сторін (Segura et al., 2014), хоча й вони потребують стабільного оцінювання ймовірностей різних сценаріїв розвитку (Yousefpour et al., 2012).

Тренінги на мартелоскопах слугують місцем для дискусій і сприяють діалогу лісівників та екологів, зокрема в аспекті збереження біорізноманіття лісів (Schuk et al., 2024).

Загалом процес прийняття рішень у лісовому господарстві є багатовимірним, зумовленим численними когнітивними, соціальними та культурними чинниками. Такий підхід обґрунтовує необхідність ширшого застосування якісних соціально-наукових методів для дослідження поведінкових аспектів управлінської діяльності у лісівництві (Bennett et al., 2017; Charnley, Fischer, & Jones, 2007). Попри наявність значної кількості загальних досліджень за цією проблемою, саме досліджень експериментального напрямку є недостатньо.

У цьому контексті здійснені нами дослідження дають змогу започаткувати і впроваджувати концепцію мартелоскопів на теренах Українського Розточчя.

Висновки (Conclusions).

1. Концепція мартелоскопів розроблена для польового навчання працівників лісового господарства та студентів. Завдяки наявності повної характеристики кожного дерева на мартелоскопі, можна змодельовати різні сценарії проведення рубок догляду в лісі та мати можливість порівняти і обговорити їхні наслідки. Крім того, існує змога щодо порівняння економічного та екологічного ефектів від відбору в рубку окремого дерева.

2. Розроблене програмне забезпечення «I+ software» дає змогу оцінювати економічні та екологічні наслідки віртуального відводу дерев у заплановану рубку. На мартелоскопах можна виконувати практичні вправи з відбору дерев у рубки догляду за різними сценаріями і стратегіями ведення лісового господарства. За правильного підходу можна заготовляти достатню кількість деревини, одночасно забезпечивши збереження біорізноманіття та виконання лісами усіх корисних функцій.

3. Мережа демонстраційних площ (мартелоскопів) надає унікальні можливості для зацікавлених груп щодо отримання інформації «з перших рук» про практичні підходи стосовно інтеграції аспектів збереження біорізноманіття у лісах з одночасною заготівлею певних обсягів деревини.

4. Буково-соснові та сосново-дубові ліси Українського Розточчя є корінними лісовими угрупованнями з високим рівнем біорізноманіття. Досліджені лісостани репрезентують середньовікові деревостани в умовах свіжих грабово-буково-соснових сугрудів та свіжих грабово-соснових судібров регіону, а закладені мартелоскопи будуть використані для якісної практичної підготовки фахівців лісового господарства. Закладені мартелоскопи доповнили базу даних Міжнародної програми «Integrate+» Європейського лісового інституту.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Aggestam, F. (2024). *European Forest Policy and Governance: An Integrative Analytical Framework*, London: Routledge. ISBN: 9781003198987. <https://doi.org/10.4324/9781003198987>
- Bennett, N.J., Roth, R., Klain, S.C., Chan, K., Christie, P., Clark, D.A., ... & Wyborn, C. (2017). Conservation social science: Understanding and integrating human dimensions to improve conservation. *Biological Conservation*, 205, 93-108. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2016.10.006>
- Charnley, S., Fischer, A.P., & Jones, E.T. (2007). Integrating traditional and local ecological knowledge into forest biodiversity conservation in the Pacific Northwest. *Forest Ecology and Management*, 246(1), 14-28. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0378112707002745>
- Courbaud, B., Larrieu, L., Kozak, D., Kraus, D., Lachat, T., Ladet, S., ... Zudin, S. (2021). Factors influencing the formation rate of tree related microhabitats and implications for biodiversity conservation and forest management. *Journal of Applied Ecology*, 59(2), 492-503. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.14068>
- Gustafsson, L., Baker, S., Bauhus, J., Beese, W., Brodie, A., Kouki, J., ... Franklin, J. (2012). Retention forestry to maintain multifunctional forests: a world perspective. *BioScience*, 62(7), 633-645. <https://doi.org/10.1525/bio.2012.62.7.6>
- Herenchuk, K.I. (1972). *Nature of Lviv Region*. Lviv: Lviv University Publishing House. https://geoknigi.com/book_view.php?id=648 [Геренчук, К.І. (1972). *Природа Львівської області*. Львів: Вид-во Львів. ун-ту, 150 с.] (in Ukrainian)
- Kraus, D., & Krumm, F. (Eds.). (2013). *Integrative approaches as an opportunity for the conservation of forest biodiversity*. Joensuu: European Forest Institute. <https://research.edgehill.ac.uk/ws/portalfiles/portal/20073515/InFocus-Integrate-complete-final.pdf>
- Kraus, D., Bütler, R., Krumm, F., Lachat, T., Larrieu, L., Mergner, U., ... Winter, S. (2016). *Catalogue of tree microhabitats. Reference field list*. Integrate+ Technical Paper No. 13, 16 p. http://iplus.efi.int/uploads/Tree%20Microhabitat%20Catalogues/Catalogue_TreeMicrohabitats_UA.pdf [Kraus, D., Mergner, U., Schuck, A., Krumm, F., & Haussmann, T. (2016). Integrate+: Wieviel Naturschutz kann der bewirtschaftete Wald leisten? *Der Dauerwald – Zeitschrift für naturgemäße Waldwirtschaft*. Ausgabe 54, 33-38. [Integrate+: How much nature conservation can managed forests provide?] https://www.researchgate.net/publication/307979989_Integrate_Wieviel_Naturschutz_kann_der_bewirtschaftete_Wald_leisten] (in German)
- Kraus, D., Schuck, A., Krumm, F., Bütler, R., Cosyns, H., Courbaud, B., ... Zudin, S. (2018). *Seeing is building better understanding – the Integrate+ Marteloscopes*. Report number: 26:3, Affiliation: Integrate+. https://www.researchgate.net/publication/323018962_Seeing_is_building_better_understanding_-_the_Integrate_Marteloscopes.
- Krumm, F., Lachat, T., Schuck, A., Bütler, R., & Kraus, D. (2019). Marteloscope als Trainingstools zur Förderung und Erhaltung von Habitatbäumen im Wald. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 170(2), 86-93. <https://doi.org/10.3188/szf.2019.0086>
- Marteloscopes and data – Integrate+ Store – Iplus*. Retrieved from <http://iplus.efi.int/marteloscopes-data.html/>
- Messier, C., Puettmann, K.J., & Coates, K.D. (2014). *Managing forests as complex adaptive systems: Building resilience to the challenge of global change*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203122808>
- Online platform for learning tree marking in a variety of situations*. Retrieved from <https://martelage.sylvotheque.ch/>
- Schuck, A., Kraus, D., Krumm, F., Varis, S., Zudin, S., & Suominen, T. (2024). *The Integrate+ software for virtual training exercises in forest stands*. Integrate Network Paper. 30 p. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10570207>
- Segura, M., Ray, D., & Maroto, C. (2014). Decision support systems for forest management: A comparative analysis and assessment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 101, 55-67. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2013.12.005>
- Soroka, M.I. (2008). *Vegetation of the Ukrainian Roztochchya*. Lviv: Svit. ISBN 978-966-603-560-1 [Сорока, М.І. (2008). *Рослинність Українського Розточчя*. Львів: Світ. 434 с.] (in Ukrainian)
- Soroka, M.I. (2024). Latitudinal differentiation of forest vegetation in the Roztochchya natural region. In *Close-to-nature forestry: problems and prospects: proceedings of International Scientific and practical Conference*. Kyiv, 137-138. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. https://nubip.edu.ua/sites/default/files/u184/tezy_

- april_25_kyiv_nubip_1.pdf [Сорока, М.І. (2024). Широтна диференціація лісової рослинності природного регіону Розточчя. *Наближене до природи лісівництво: проблеми та перспективи*: тези доповідей учасників всеукраїнської наук.-практ. конф., Київ: НУБіП України, 137-138] (in Ukrainian)
- Spinelli, R., Magagnotti, N., Pari, L., Soucy, M. (2016). Comparing Tree Selection as Performed by Different Professional Figures. *Forest Science*, 62(1), 213-219. <https://doi.org/10.5849/forsci.15-062>
- Thormann, J.J., Allenspach-Schliessbach, K., Bugmann, H., Frehner, M., Junod, P., Rosset, C., & Kühne, K. (2019). Bedeutung von Marteloscopen für Praxis und Lehre in der Schweiz. *Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen*, 170(2), 60-68. [Importance of marteloscopes for practice and teaching in Switzerland] <https://doi.org/10.3188/szf.2019.0060> (in German)
- Tkach, V.P., Tarnopilska, O.M., Orlov, O.O. (2024). *Types of forest formations of Ukraine in the system of European classifications*: Kharkiv: Madrid Printing House. ISBN 978-617-8254-23-0. <https://doi.org/10.33220/2024.978-617-8254-23-0> [Ткач, В.П., Тарнопільська, О.М., Орлов, О.О. (2024). *Типи лісових формацій України в системі європейських класифікацій*. Харків: Друкарня Мадрид. 415 с.] (in Ukrainian)
- Yousefpour, R., Jacobsen, J.B., Thorsen, B.J., Meilby, H., Hanewinkel, M., Oehler, K. (2012). A review of decision-making approaches to handle uncertainty and risk in adaptive forest management under climate change. *Annals of Forest Science*, 69, 1-15. <https://annforsi.biomedcentral.com/articles/10.1007/s13595-011-0153-4>

Forest-mensuration indicators of marteloscopes in the Ukrainian Roztochia

V. Lavnyy¹, T. Yuskevych², O. Mykhayliv³, A. Ivaniuk⁴, B. Nagorniak⁵, P. Spathelf⁶

Integrated forest resource management involves taking into account numerous ecosystem services without giving priority to timber harvesting. The implementation of such integrative strategies often faces difficulties due to the need to balance conflicting interests. In particular, meeting commercial demand for timber often comes into conflict with biodiversity protection issues, since management focused on maximizing timber volumes results in the homogeneity of forest structures, the shortage of old trees and dead wood, which negatively affects the species composition and stability of ecosystems. In order to integrate biodiversity conservation into forestry practice, in 2020, scientific research was launched in Lviv region for the first time in Ukraine under the international program “Marteloscope” of the European Forest Institute (EFI), which as of May 01, 2025 includes data on 267 sites in 27 European countries.

The results of modern methods of research on forest ecosystems – marteloscopes, established in 81-years-old Scots pine and 88-years-old pedunculate oak stands in the conditions of the Ukrainian Roztochia are presented. The selection of demonstration plots of appropriate age, composition and stand density was carried out; the marteloscopes were established using a unique method with the establishment of spatial location and determination of measurement indicators of each tree; also, identification and inventory of small and valuable microhabitats for biodiversity conservation were performed; assessment of the assortment structure and timber grades of stands was made.

It is found that the stand with a predominance of Scots pine is highly productive and is characterized by an average diameter of 26.7 cm, an average height of 25.1 m, an absolute stand density of 43.2 m²·ha⁻¹, a relative stand density of 0.99, a site class I, and a total growing stock of 491 m³·ha⁻¹. Of the total growing stock, firewood accounts for 31.9%, and round wood accounts for 68.1%, with a significant proportion of the timber falling on round wood of class C (44.3%). The number of trees with microhabitats on the marteloscope is 116.

The stand with a predominance of pedunculate oak is two-layered and is characterized by an average diameter of 28.1 cm, an average height of 24.0 m, an absolute stand density of 36.1 m²·ha⁻¹, a relative stand density of 0.95, a site class II, and a total growing stock of 420 m³.

Key words: Scots pine; pedunculate oak; forest ecology; silviculture; forestry; microhabitats.

¹ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the FAS of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Vice Rector for Research. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2069-9026>

² *Taras Yuskevych* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: t.yuskevich@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2735-0492>

³ *Oksana Mykhayliv* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Silviculture. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: o.mykhayliv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6794-9670>

⁴ *Andrii Ivaniuk* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Forest Planting and Breeding. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: a.ivanuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1489-4733>

⁵ *Bogdan Nagorniak* – Assistant Department of Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: b.nahornjak@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1184-6375>

⁶ *Peter Spathelf* – Professor for Applied Silviculture at Eberswalde University for Sustainable Development. Schicklerstrasse 5, D-16225 Eberswalde, Germany. E-mail: Peter.Spathelf@hnee.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0668-2319>



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412515>
Article received 2025.01.13
Article revised 2025.02.24
Article accepted 2025.07.02
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Petro Khomiuk
khompetro@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*5 : 633.872

Лісівничо-таксаційна характеристика модальних букових деревостанів Закарпатського передгір'я і Вулканічного хребта

В. В. Трикур¹, П. Г. Хомюк²

Для модальних букових деревостанів лісового фонду філій «Ужгородське лісове господарство», «Мукачівське лісове господарство», «Хустське лісове дослідне господарство» проаналізовано лісівничо-таксаційні показники на основі повидільної лісовпорядної бази даних 2021 року. Модальні букові дерева в регіоні досліджень представлені вологою чистою бучиною, виконують різнопланові функції і найбільш поширені у таких категоріях лісів: експлуатаційні (47,6%), рекреаційно-оздоровчі (25,8%), захисні (16,9%), ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення (9,7%). За походженням домінують букові дерева насінного природного походження. Букові лісостани вегетативного походження низькобонітетні і поширені на висоті до 400 м над рівнем моря. Характерною ознакою модальних букових деревостанів є високі класи бонітету – I^a і вище, частка яких становить 29-43%, переважно на висоті 401-600 м над рівнем моря. Вікова структура букових лісостанів нерівномірна і свідчить про переважання середньовікових деревостанів (56-66%) над іншими категоріями. Середньовікові букові дерева займають від 70 до 75% площі лісів, займаючи місцезоположення переважно на висоті 401-600 м над рівнем моря. Продуктивність букових деревостанів у віці стиглості становить, в середньому, 323-400 м³·га⁻¹. Для букових деревостанів вегетативного походження кількість ділових стовбурів становить 20-30, природного і штучного – 50-60%. У віці 40-60 років модальні букові дерева характеризуються найвищими значеннями нагромаджуваних запасів, які сягають 8,0 м³·га⁻¹ за рік, а в середньому становлять 5,0-6,0 м³·га⁻¹ за рік.

Ключові слова: бук лісовий; динаміка; продуктивність; типи лісу; таксаційні показники; структура лісового фонду.

Вступ (Introduction).

Закарпатська область загальною площею 12,8 тис. км² розташована на південному заході України, 80% території якої відноситься до західної частини Українських Карпат, а унікальне географічне розташування території сприяє посиленню ролі цього регіону в інтеграції України до Європейського союзу (Стратегія розвитку Закарпатської області...). Природні умови, сформовані під впливом континентального клімату з достатнім і надлишковим зволоженням, сприятливі як для сільськогосподарського освоєння низинних

територій, так і для ведення лісового господарства у передгір'ї та горах. Природні лісові ресурси краю є його багатством та, водночас, й об'єктом господарювання. За даними Екологічного паспорта Закарпатської області, у 2023 р. площа земель лісгосподарського призначення становила 583076,5 га, вкритих лісовою рослинністю – 542960 га із загальним запасом деревини 211,3 млн м³. (Екологічний паспорт..., 2023).

Значна частина лісових фітоценозів області утворена буком лісовим (*Fagus sylvatica* L.), зосереджена на території Закарпатського передгір'я

¹ Трикур Василь Васильович – аспірант кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: trivasya@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9497-1041>

² Хомюк Петро Григорійович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: khompetro@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4409-9180>

та Вулканічного хребта і представлена у лісовому фонді філій «Ужгородське ЛГ», «Мукачівське ЛГ» і «Хустське ЛДГ»¹.

У регіоні досліджень бук лісовий є екологічно та економічно важливим деревним видом, ріст якого перебуває у прямій залежності від кліматичних чинників – температури повітря і кількості опадів. З огляду на те, що лісовий фітоценоз є динамічною системою, яка розвивається і змінюється під впливом багатьох чинників, постійно існує потреба в оновленні інформації про особливості росту основного компонента лісу – деревостану, особливо в період адаптації деревних видів до кліматичних змін.

Серед сучасних підходів до ведення лісового господарства домінує пошук таких шляхів господарювання, які забезпечують, поряд з мінімальним втручанням у лісові фітоценози, економічну ефективність експлуатації лісових ресурсів – від деревних, технічних і лікарських до корисних властивостей лісів (зменшення негативних наслідків природних явищ, захист ґрунтів від ерозії, запобігання забрудненню довкілля тощо). Особливо це стосується гірських лісів, які, поряд із важливим експлуатаційним значенням, сприяють збереженню біорізноманіття, регулюють водний режим, пом'якшують клімат, а також виконують вагомі рекреаційні функції.

Вивчення букових деревостанів Українських Карпат у Закарпатській області було одним із пріоритетів для науковців і відбувалося впродовж останніх десятиріч за важливими напрямками – типологічним, лісівничо-таксаційним, лісоресурсним, екологічним та ін.

Зокрема, особливості типологічного різноманіття насаджень з участю *Fagus sylvatica* добре представлені у науковому доробку проф. Зіновія Герушинського, який описав 20 типів лісу, серед яких найбільш поширеними виявилися волога чиста бучина, волога ялиново-ялицева суббучина, волога чиста суббучина, волога грабова бучина та свіжа грабова бучина (Герушинський, 1996). Окрім того, лісівнича та екологічна роль букових деревостанів добре висвітлена у низці наукових праць вітчизняних лісівників (Швиденко, 2004; Криницький та ін., 2014; Гайчук, Гірс, 2015; Бала, Лакида, 2017; Шпарик, Криницький, Дебринюк, 2020) та ін. Особливості нагромадження та вертикальний розподіл компонентів фітомаси описані у статтях лісоресурсного спрямування (Куриляк, 2007; Гриник Г., Задорожний, Гриник О., 2021; Гриник, Задорожний, 2018).

Важливими напрямками вивчення букових лісостанів Українських Карпат також були дослідження фітоценозів за участю *Fagus sylvatica* на предмет стабільності їх функціонування (Парпан В., Чернявський, Парпан Т., 2017), моделювання динаміки таксаційних показників букових деревостанів

та оцінювання їхньої морфологічної будови (Бала, Лакида, 2019; Каганяк, Ільків, Гаврилюк, 2021), вивчення фактичної і потенційної продуктивності букових деревостанів в оптимальних лісорослинних умовах (Каганяк, 2006; Бала, Лакида, 2017; Гриник Г., Задорожний, Гриник О., 2021), лісівничих підходів до ведення господарства у букових насадженнях (Свириденко, Бабіч, Киричок, 2005).

Окремим і доволі важливим аспектом наукових досліджень можна вважати оцінювання процесу природного поновлення у букових лісостанах, від якого залежить успішність відновлення букових лісів (Shparyk, Buerger, Commarmot, Sukharyuk, 2008; Shparyk, Yanovska, 2017; Barna, 2015; Лавний, Мазепа, Шишканинець, Заяць, 2021).

Морфологічна структура і таксаційна будова маргінальних букових лісостанів (Ільків, 2004), динаміка формування букових насаджень (Куриляк, 2007, 2011), будова за діаметром букових деревостанів експлуатаційного фонду (Гайчук, Гірс, 2015), енергетичний потенціал букових насаджень (Слюсарчук, 2020), структура надземної фітомаси (Задорожний, 2021) також не залишилися без уваги провідних науковців і детально висвітлені у наукових працях.

Зважаючи на здатність бука лісового формувати пралісові екосистеми, низка наукових публікацій стосуються досліджень з опрацювання довготривалої стратегії зі збереження букових пралісів Українських Карпат (Цурик, 2000; Стойко, 2002), в межах Карпатського біосферного заповідника та Ужанського НПП (Сухарюк, 2006; Зиман, 2013; Гамор, 2019), центральній частині Балканського півострова (Kisin, Vasić, & Baković, 2025), оцінювання екосистемних послуг (поглинання вуглецю, збереження біорізноманіття, рекреаційні ресурси) у пралісах та старовікових букових лісах (Vanderkhove et al., 2022). Як результат досліджень зазначається, що природоохоронний підхід може бути основою для розроблення адаптивної стратегії управління буковими лісами.

Результати тривалих екологічних досліджень з вивчення процесів, які відбуваються впродовж тривалого часу у букових лісах Західних Карпат під впливом клімату, добре описані у закордонних наукових публікаціях (Barna, 2015; Vangi et al., 2024). Зазначено, що максимум нагромадження чистої первинної продукції у букових лісах відбувається у віці 16-50 років, а стабільність букових екосистем, порівняно з хвойними деревними видами, виявилася значно вищою.

Вплив на ріст бука лісового температури повітря і кількості опадів найкраще прослідковується за результатами аналізу величини радіального приросту на основі детального вивчення ходу росту модельних дерев. Як свідчить аналіз останніх публікацій, найтісніший зв'язок між величиною радіального приросту і впливом екологічних факторів властивий для букових лісостанів на висоті 740-950 м над рівнем моря (Fuchs et al., 2025).

¹ Назви підприємств наведено станом на 2021 рік

Відзначено також, що найвирішальнішим місяцем для збільшення таксаційних показників букових деревостанів є липень, а основні обмежувальні фактори для росту – недостатня кількість опадів впродовж вегетаційного періоду у низькогір'ї і низька температура – у високогір'ї.

Останнім часом набирає популярності біолого-економічний підхід до вивчення лісових фітоценозів, основою якого є розроблення регресійних моделей росту деревостанів залежно від біоекологічних властивостей деревного виду, цільового діаметра, запасів та вартості деревини (Roessiger et al., 2023). При цьому найоптимальніші моделі отримують за наявності достатньої кількості високотоварних стовбурів дерев з добре розвиненою кроною.

Також важливо згадати про наукові праці з оцінювання просторової структури букового деревостану, яка є вагомим чинником впливу на обсяги продукування оптимальної кількості деревини з одиниці площі, і залежить від висоти деревостану, характеру розміщення стовбурів дерев на площі (Vacek et al., 2015).

Загалом варто зауважити, що незважаючи на значну кількість наукових публікацій за результатами вивчення букових фітоценозів, дослідження лісостанів за участю *Fagus sylvatica* залишається актуальним. Зокрема, науково-обґрунтоване ведення лісового господарства неможливе без використання надійних лісоінвентаризаційних матеріалів, отриманих на типологічній основі. Зважаючи на цей аспект, ефективне лісогосподарське виробництво в експлуатаційних лісах повинно ґрунтуватися на нормативно-довідкових матеріалах, розроблених з урахуванням регіональних особливостей структури лісового фонду. Тому *актуальність цього дослідження* полягає в тому, що його результатом буде аналіз лісівничо-таксаційних показників, за якими встановлюватимуться особливості формування модальних букових деревостанів у регіоні дослідження.

Мета роботи полягає у вивченні особливостей структури лісового фонду модальних букових деревостанів у регіоні досліджень, наданні їм лісівничо-таксаційну оцінки, у встановленні зміни з віком таксаційних показників модальних букових деревостанів.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – зміни з віком таксаційних показників модальних букових деревостанів вологої чистої бучини у лісовому фонді найбільших за площею лісогосподарських підприємств в межах Закарпатського передгір'я і схилів Вулканічного хребта: філії «Ужгородське ЛГ», «Мукачівське ЛГ» і «Хустське ЛДГ». *Предмет досліджень* – структура лісових ділянок за окремими таксаційними ознаками, лісівничо-таксаційні показники букових деревостанів та їхня зміна.

З метою вивчення структури лісового фонду було проаналізовано матеріали базового лісовпо-

рядкування у лісогосподарських підприємствах за 2021 рік, за результатами якого встановлено особливості розподілу площ модальних букових деревостанів за категоріями захисності, походженням, групами віку, бонітетом, відносною повнотою, запасами стовбурової деревини, кількістю ділових стовбурів, висотою над рівнем моря.

Основні лісівничо-таксаційні показники букових деревостанів встановлені за загальновідомими таксаційними методиками (Цурик, 2000а; Гром, 2010). Основні типологічні одиниці встановлені за рекомендаціями Д. В. Воробйова (1967) на основі взаємозв'язків між рослинністю, ґрунтом і кліматом. Перелік типів лісу у регіоні досліджень наведено згідно з результатами досліджень П. С. Погребняка (1955), З. Ю. Герушинського (1996). Достовірність обчислених таксаційних показників встановлювалася за відповідними статистичними критеріями (Горошко, Миклуш, Хомюк, 2004).

Результати (Results).

Однією з інформативних складових управління лісовими ресурсами та планування лісогосподарських робіт є достовірна лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів переважаючих деревних видів. Наявність такої інформативної бази забезпечує невиснажливе і безперервне використання лісових ресурсів, підвищення екологічного потенціалу гірських лісів, адаптацію лісівничих аспектів лісогосподарювання до умов довкілля, вирішення економічних і соціальних проблем окремих громад.

Згідно з чинними законодавчими актами у лісовій галузі, структура лісового фонду встановлюється під час базового лісовпорядкування окремого лісогосподарського підприємства на підставі лісоінвентаризаційних матеріалів.

Для дослідження структури модальних букових деревостанів вологої чистої бучини, використано матеріали повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2021 року. В табл. 1 наведено розподіл площ букових деревостанів за 20-ма категоріями захисності, які були виділені під час лісовпорядкування на основі «Порядку поділу лісів на категорії та виділення особливо захисних лісових ділянок» (затверджених постановою Кабінету Міністрів України від 16 травня 2007 р. № 733).

За наведеними даними, модальні букові деревостани у регіоні досліджень, поряд з експлуатаційним значенням, характеризуються ще й доволі важливими захисними та рекреаційно-оздоровчими функціями. Загалом, до лісів природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення віднесено 9,7, рекреаційно-оздоровчих – 25,8, захисних – 16,9, експлуатаційних – 47,6% загальної площі букових лісостанів (рис. 1).

Важливим аспектом, який враховують під час ведення лісового господарства та експлуатації лісових ресурсів, є походження деревостану. Останнім часом зберігається тенденція до збільшення

кількості деревостанів штучного походження, які за своєю біоекологією і ростом відрізняються від паростевих і природних. Для букових лісостанів вологої чистої бучини характерним виявилось домінування деревостанів за участю *Fagus sylvatica* насінного природного походженням (рис. 2). Для окремих підприємств частка природних букових

деревостанів змінюється в межах 72-84%, що свідчить про задовільне відновлення букових лісів регіону природним шляхом. Частка букових деревостанів вегетативного походження є найвищою у лісовому фонді філії «Хустське ЛДГ», однак ця частка не перевищує 12%, а характерним їхнім розташуванням є висоти до 400 м над рівнем моря.

Таблиця 1. Структура модальних букових деревостанів за категоріями земель у межах лісового фонду лісгосподарських підприємств

Table 1. Structure of modal beech stands by land categories within the forest fund of forestry enterprises

Категорія захисності (* – ліси, можливі для експлуатації)	Площа деревостанів (%) за категоріями захисності в межах лісового фонду підприємств-філій		
	Ужгородське ЛГ	Мукачівське ЛГ	Хустське ЛДГ
Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення			
1. Біосферні заповідники (буферна зона)	–	–	3,1
2. Біосферні заповідники (зона антропогенних ландшафтів)	–	–	1,7
3. Заказники	10,1	0,1	–
4. Заповідні лісові урочища	–	1,1	–
5. Ліси наукового призначення, вкл. генетичні резервати	–	–	–
6. Пам'ятки природи	0,8	0,2	0,1
7. Національні природні парки	–	–	–
8. Регіональні ландшафтні парки (заповідна зона)	0,1	–	–
Разом	11,0	1,4	4,9
Рекреаційно-оздоровчі ліси			
9. Ліси 1 і 2 зон округ в сан. охор. лікув.-оздор. терит.	–	15,1	2,9
10. Ліси у межах населених пунктів	1,1	0,0	3,6
11. Лісгосподарська частина лісів зелених зон*	–	4,9	16,9
12. Лісопаркова частина лісів зелених зон	72,5	19,3	5,0
13. Рекреаційно-оздоровчі ліси, поза межами зелених зон	–	1,7	0,6
Разом	73,6	41	29
Захисні ліси			
14. Байрачні ліси*	–	–	4,9
15. Інші захисні ліси*	–	2,5	–
16. Ліси протиерозійні	4,4	3,1	9,8
17. Ліси уздовж берегів річок, навколо озер, водойм. та ін.*	0,7	10,0	4,8
18. Ліси уздовж смуг відведення автомобільних доріг*	–	–	0,2
19. Ліси уздовж смуг відведення залізниць*	–	–	–
Разом	5,1	15,6	19,7
Експлуатаційні ліси			
20. Експлуатаційні ліси*	10,3	42,2	46,2



Рис. 1. Структура модальних букових деревостанів за категоріями захисності

Fig. 1. Structure of modal beech stands by protection categories

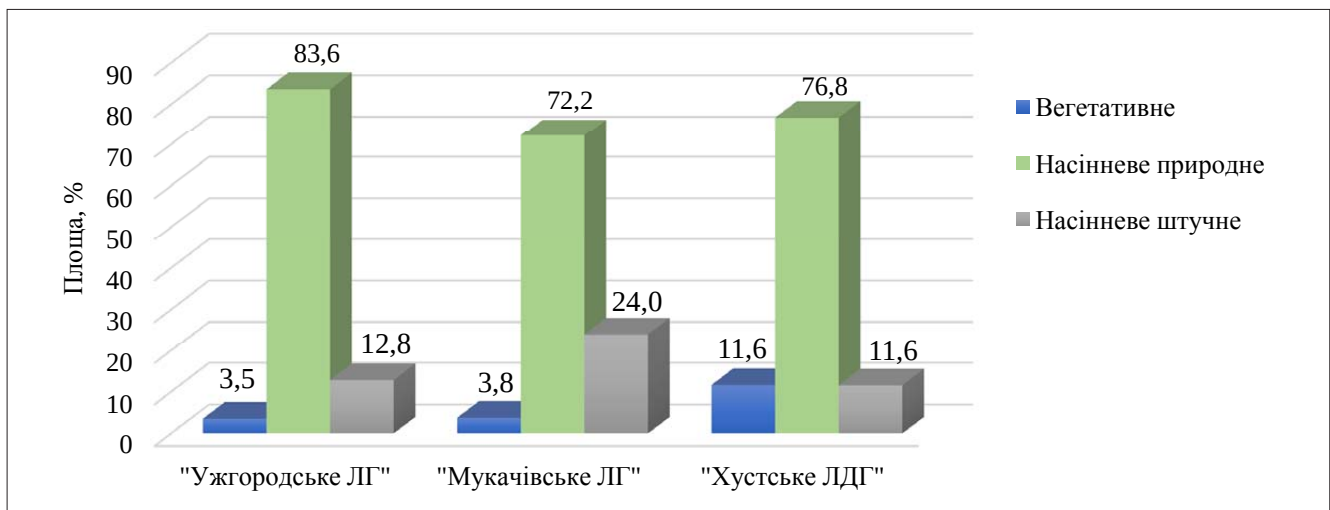


Рис. 2. Структура модальних букових деревостанів за походженням у межах філій

Fig. 2. Structure of modal beech stands by origin within the network of forest fund branches

Найвища частка площ букових деревостанів насінного природного походження в межах передгір'я характерна для висотного діапазону 401-500 м над рівнем моря, а для схилів Вулканічного хребта – 401-600 м, де бук лісовий знаходить оптимальні умови для формування надійного підросту.

Аналізуючи вікову структуру букових деревостанів вологої чистої бучини приходимо до висновку, що вона є порушеною і не відповідає оптимальним співвідношенням між окремими групами (рис. 3).

Для усіх лісогосподарських підприємств власноруч переважає у лісовому фонді категорія середньовікових лісостанів, площа яких становить 56-66% від загальної, а для решти вікових груп частка не перевищує 15%. Така ситуація потребує застосування окремих лісівничих заходів, спрямованих на збільшення площ молодняків до рівня 40%, що в подальшому сприятиме оптимізації

вікової структури та рівномірному використанню деревних лісових ресурсів.

Для класифікації лісових насаджень за рівнем нагромадження деревини з урахуванням різних факторів впливу прийнято використовувати якісну ознаку – бонітет, який характеризує особливості росту і потенційно можливу для певних лісорослинних умов продуктивність деревостану окремого деревного виду залежно від віку, висоти і походження.

У розподілі площ букових лісостанів регіону досліджень за класами бонітету простежується тенденція, яка свідчить про переважання високо бонітетних деревостанів. Найбільші площі деревостанів I^a і вище класів бонітету зосереджені у лісовому фонді філій «Мукачівське ЛП» і «Хустське ЛДГ» – 29-43% від загальної площі (рис. 4). Лісові насадження з високими класами бонітету найчастіше трапляються на висотах 401-600 м над рівнем моря.

Такий характер розподілу є закономірним, оскільки саме в умовах вологого ґрунту *Fagus sylvatica* формує найпродуктивніші насадження. Натомість букові деревостани вегетативного походження характеризуються низькими II-IV класами

бонітету. Для букових деревостанів насінного природного походження переважаючими є I-I^a, а для лісових культур – I-I^b класи бонітету. Отже, букові деревостани штучного походження є продуктивнішими порівняно з природними.

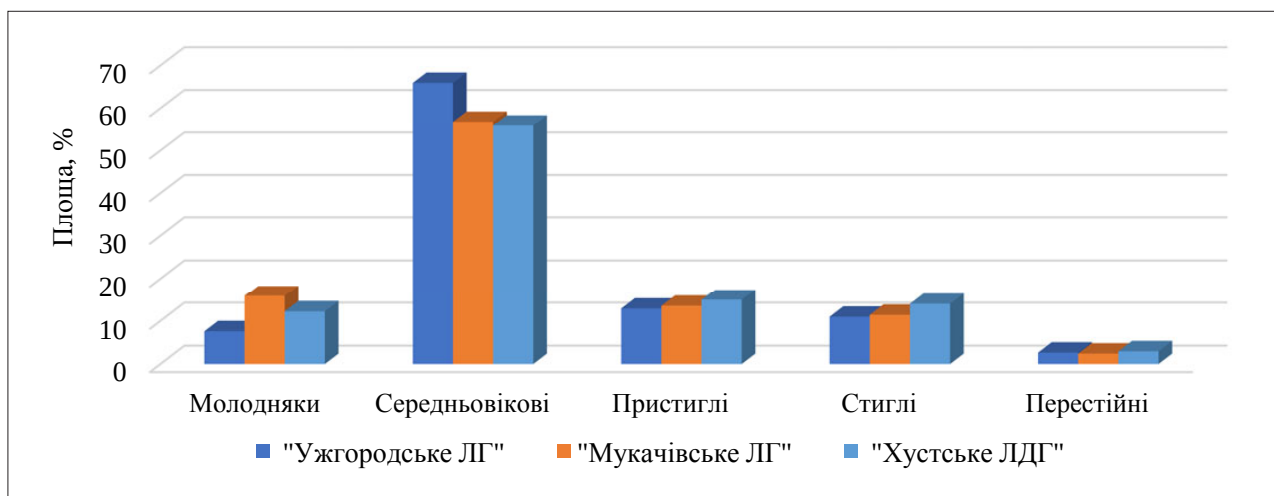


Рис. 3. Вікова структура модальних букових деревостанів за філіями

Fig. 3. Age structure of modal beech stands by the forest fund branches

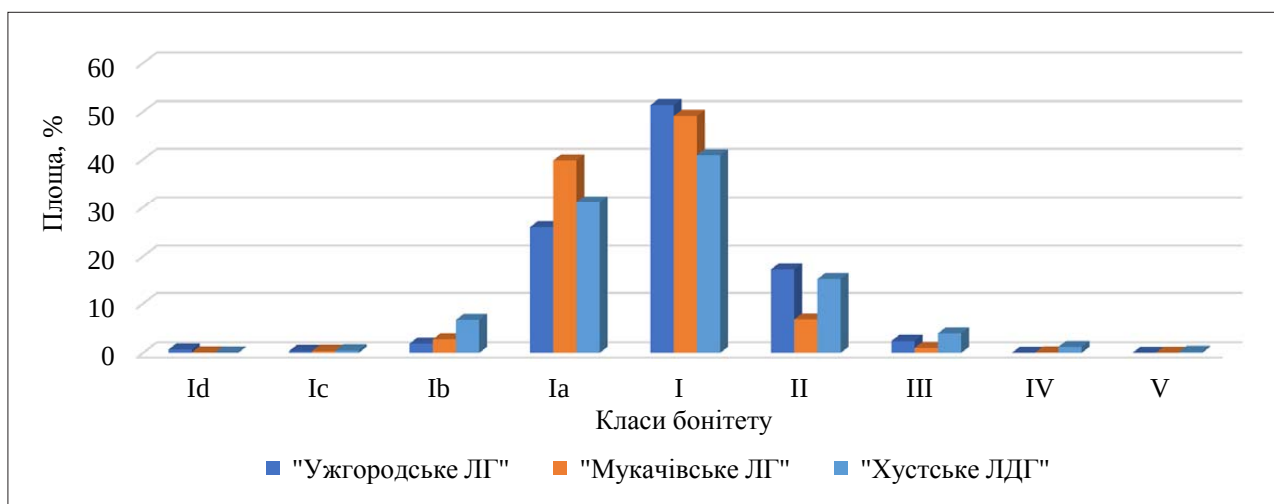


Рис. 4. Розподіл модальних букових деревостанів за класами бонітету в межах філій

Fig. 4. Distribution of modal beech stands by site classes within the network of forest fund branches

Одним із вагомих лісівничо-таксаційних показників, який характеризує щільність дерев на одиниці площі і впливає на продуктивність деревостанів, вважається відносна повнота. Розподіл насаджень лісового фонду на низькоповнотні (0,3-0,5), середньоповнотні (0,6-0,8) і високоповнотні (0,9-1,0) дає змогу оцінити ефективність лісгосподарських заходів, здійснити прогноз динаміки продуктивності, а також планувати лісгосподарські заходи.

Для модальних букових лісостанів регіону досліджень характерним є домінування середньоповнотних деревостанів, які становлять 70-75% загальної площі (рис. 5). При цьому середньо- та високоповнотні лісостани з переважанням бука

лісового у складі приурочені до висотного діапазону 401-600 м над рівнем моря.

Низькоповнотні букові деревостани приурочені переважно до більших висот над рівнем моря (601 м і вище).

Найвагомішим лісівничо-таксаційним показником, який вказує на загальний об'єм рстучих дерев деревостану на одиниці площі, є його запас. Величина цього показника тісно залежить від низки чинників, серед яких найважливішими вважаються екологічні, ґрунтові, біологічні, лісівничо-господарські та антропогенні. Для гірських лісів вплив на формування запасів деревини також мають висота над рівнем моря, стрімкість та експозиція схилу.

За результатами аналізу повидільної бази даних були встановлені середні запаси модальних букових деревостанів залежно від вікових груп (табл. 2). Отже, середні запаси стиглих букових деревоста-

нів лісового фонду підприємств становлять 323-400 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Варто зауважити, що запаси середньо-вікових, пристиглих і стиглих деревостанів доволі подібні.

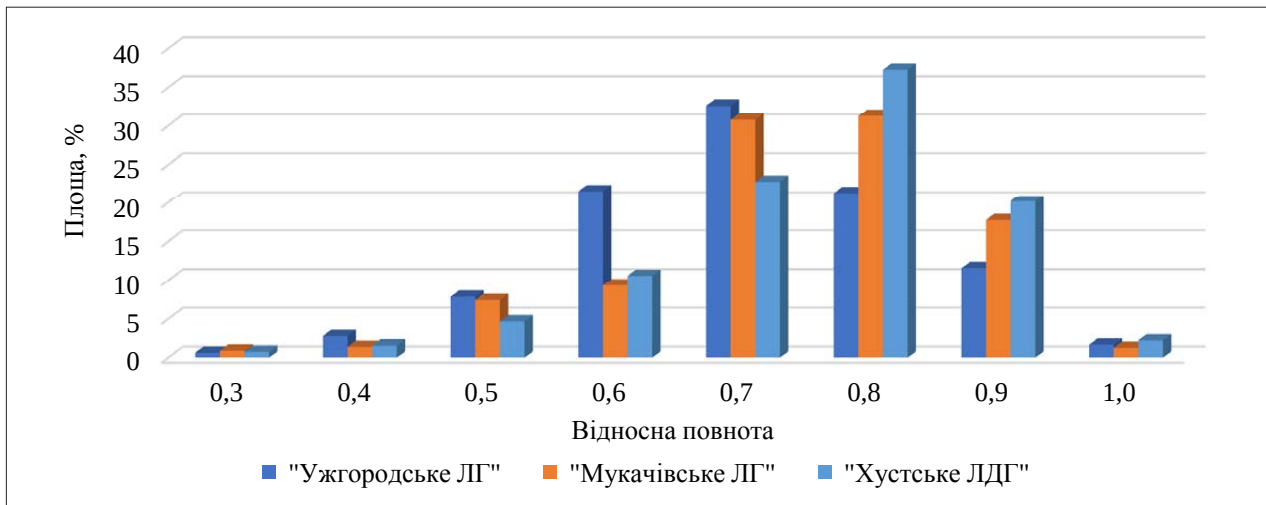


Рис. 5. Розподіл модальних букових деревостанів за відотною повнотою у межах філій

Fig. 5. Distribution of modal beech stands by relative crop density within the network of forest fund branches

Таблиця 2. Середні запаси букових деревостанів залежно від вікових груп

Table 2. Average growing stocks of beech stands depending on age groups

Філії	Середні запаси букових деревостанів за віковими групами, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$					
	Молодняки 1 класу	Молодняки 2 класу	Середньовікові	Пристиглі	Стигли	Перестійні
Ужгородське ЛГ	29	103	332	343	323	297
Мукачівське ЛГ	43	124	338	351	334	264
Хустське ЛДГ	23	111	363	403	400	335

Для категорії експлуатаційних лісів додатково виконано групування за кількістю ділових стовбурів і походженням (рис. 6).

Встановлено, що для деревостанів вегетативного походження характерна частка ділових стовбурів становить 20-30%, що свідчить про їхню

низьку товарну якість. Для деревостанів природного походження, як і для лісових культур частка ділових стовбурів помітно більша – 50-60%. При цьому дещо більші площі високотоварних букових деревостанів характерні все ж для лісостанів природного походження.

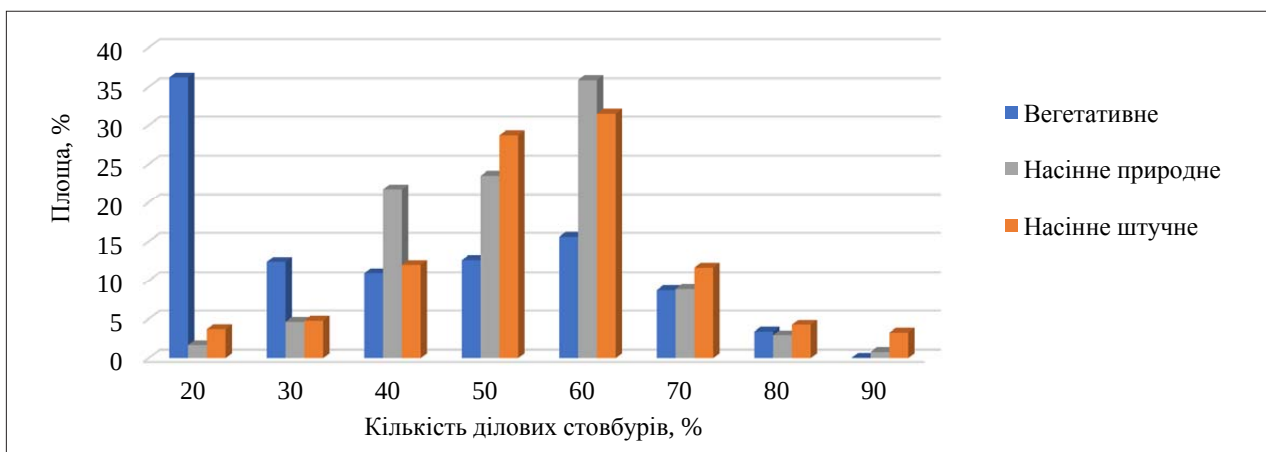


Рис. 6. Розподіл модальних букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і походженням деревостанів

Fig. 6. Distribution of modal beech stands by the number of commercial trunks and the origin of the stands

За результатами аналізу повидільної бази даних, середня зміна запасів букових деревостанів є найвищою у віковому діапазоні 40-60 років і може досягати до $8,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за рік; середні значення дещо менші – $5,0\text{-}6,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за рік (рис. 7).

Аналіз повидільної бази даних не виявив суттєвої відмінності в продуктивності букових деревостанів, які ростуть на висотах до 600 м та вище 600 м над рівнем моря в межах Вулканічного хребта (рис. 8).

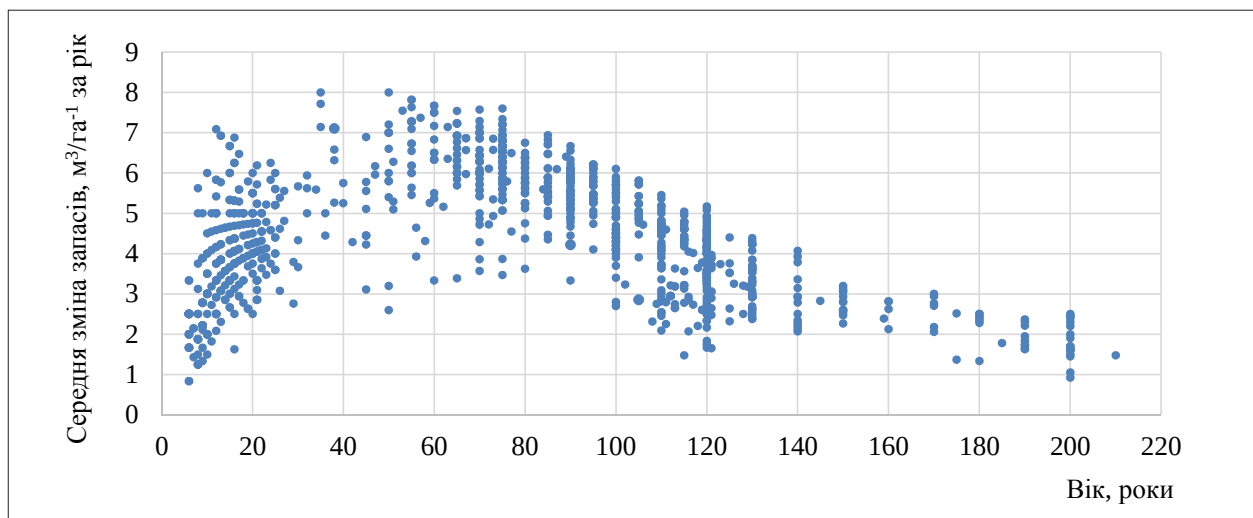


Рис. 7. Середня зміна запасів букових деревостанів залежно від віку
Fig. 7. The average annual growth stock in beech forest depending on age

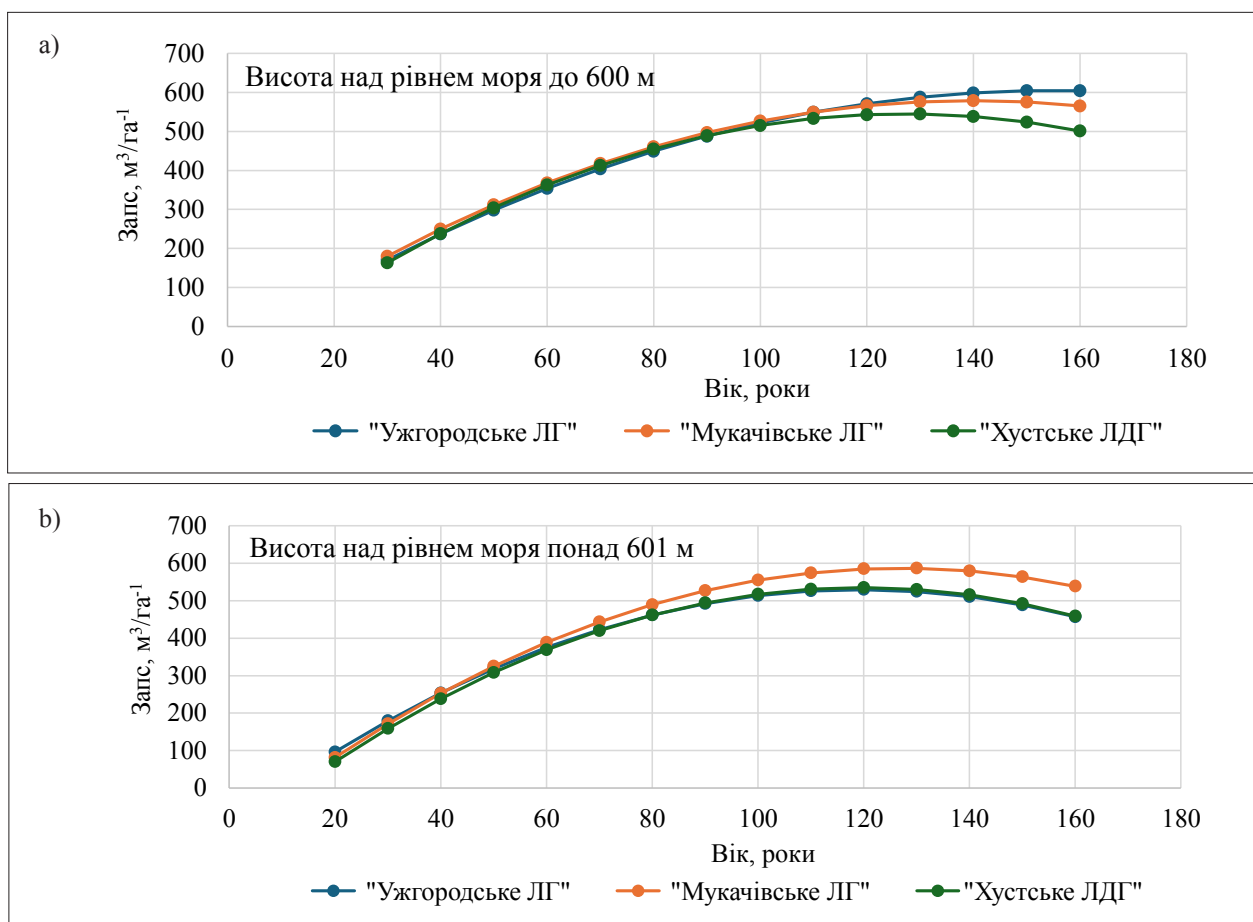


Рис. 8. Динаміка запасів модальних букових деревостанів з відносною повнотою 0,8 на висоті до 600 м (а) і понад 601 м над рівнем моря (б) у межах філій
Fig. 8. Dynamics of growing stocks of modal beech stands with a relative crop density of 0.8 at an altitude of up to 600 m (a) and above 601 m (b) above sea level

Проте, помітними є дві особливості у динаміці букових лісостанів: темпи росту за запасом для деревостанів, які ростуть на висоті понад 601 м над рівнем моря є дещо вищими порівняно з тими, які поширені на висоті до 600 м над рівнем моря; для букових деревостанів, незалежно від висоти над рівнем моря, поступове зростання запасів відбувається приблизно 120-річного віку. Після віку 120 років для букових деревостанів на висоті понад 601 м зменшення запасів відбувається інтенсивніше, що свідчить про помітніше виражені процеси відпаду стовбурів дерев.

Дискусія (Discussion).

За результатами досліджень встановлено, що у регіоні досліджень модальними є середньоповнотні, високобонітетні букові деревостани вологої чистої бучини, які характеризуються природним походженням і поширені переважно на висотах 401-600 м над рівнем моря. Отримані нами дані відрізняються від існуючих у науковій літературі (Гриник Г., Задорожний, Гриник О., 2021; Fuchs et al., 2025) і дещо звужують висотні межі, що може бути результатом кліматичних змін. Поряд з цим, варто відзначити недостатню кількість наукових праць, які базуються на тривалому спостереженні за ростом і розвитком букових деревостанів у регіоні досліджень. Тоді як більшість публікацій стосуються Полонинського хребта (Гриник Г., Задорожний, Гриник О., 2021).

У процесі досліджень встановлено найоптимальніші місцеположення продуктивних букових лісів та визначено динаміку їхньої продуктивності на різних висотах. Порівняння отриманих даних з існуючими таксаційними характеристиками букових лісів, які наведені у таксаційних нормативах (Білоус та ін., 2020) свідчить про їхній особливий тип росту на висоті до 600 м і після 601 м над рівнем моря. Порівняно з чинними нормативами, нижчою виявилася густина насаджень впродовж вікового проміжку 40-120 років. Однак, за таблицями ходу росту кульмінація зміни запасу настає у віці 50 років, що повністю підтверджується результатами виконаних досліджень.

Використання таблиць ходу росту букових деревостанів для оцінювання їхнього росту, укладених у 50-х роках минулого століття, можна вважати некоректним. Причина полягає в тому, що для їхньої побудови використовували високоповнотні деревостани, а для встановлення абсолютної повноти обирали, здебільшого, середню, а не верхню висоту деревостану, яка більшою мірою залежить від господарських заходів. Також у деревостанах, які на той час обирали для побудови лісотаксаційних нормативів, регулярно здійснювали доглядові рубання помірної інтенсивності, що забезпечувало максимальні поточні прирости. Тому існує необхідність створення регіональних моделей прогнозу росту букових деревостанів на основі аналізу ходу росту модельних дерев з використанням методу

вказівних насаджень, що дасть змогу виключити похибки під час відмежування пробних ділянок.

За даними окремих дослідників, успішність росту бука лісового пов'язана, насамперед, з екологією деревного виду і залежить, головним чином, від кількості опадів і температури повітря (Fuchs et al., 2025). Зважаючи на це, можна припустити, що існуючий висотний діапазон поширення букових лісів у регіоні досліджень пов'язаний з кліматичними умовами, що склалися на цей час.

Виконані лісівничо-таксаційні дослідження модальних букових деревостанів є перспективними, оскільки сприяють нагромадженню інформації щодо змін у структурі лісового фонду, а також висотного поширення букових лісостанів під впливом зміни клімату.

Висновки (Conclusions).

1. У регіоні досліджень найпоширенішими є букові деревостани вологої чистої бучини, які характеризуються I^a класом бонітету і найбільше представлені експлуатаційними (47,6%), рекреаційно-оздоровчими (25,8%) та захисними (16,9%) категоріями лісів.

2. Букові лісостани регіону належать до екологічно важливих, оскільки підвищують рівень біорізноманіття, беруть участь у кліматичній регуляції, захищають ґрунти від площинної ерозії та стабілізують водний баланс території.

3. Модальні букові деревостани мають переважно насінне природне походження. Найбільше таких лісів зосереджено на висоті 401-600 м над рівнем моря.

4. Вікова структура букових лісостанів не відповідає оптимальним співвідношенням між групами віку і характеризується переважання середньовікових деревостанів, які охоплюють 56-66% загальної площі модальних бучин.

5. В умовах вологої чистої бучини формуються високобонітетні деревостани (частка I^a і вище класів бонітету становить 29-43%), які поширені на висотах 401-600 м над рівнем моря. Деревостани вегетативного походження є низькобонітетними і поширені зазвичай на висотах до 400 м над рівнем моря. Для лісостанів штучного походження характерні вищі класи бонітету порівняно з природними.

6. У регіоні досліджень переважають середньоповнотні букові деревостани, які посідають від 70 до 75% площі букових лісів. Найбільша частка високо- та середньоповнотних лісостанів характерна для висоти 401-600 м над рівнем моря. Низькоповнотні букові деревостани ростуть в основному на висоті понад 601 м над рівнем моря.

7. Продуктивність стиглих букових деревостанів характеризується середніми запасами в межах 323-400 м³·га⁻¹. Максимальні запаси можуть становити 610-715 м³·га⁻¹.

8. Букові деревостани вегетативного походження характеризуються низькою часткою ділових

стовбурів – 20-30%, тоді як деревостани природного і штучного походження – 50-60%.

9. Середня зміна запасів букових деревостанів є найвищою у віковому проміжку 40-60 років і сягає до $8,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за рік за середнього щорічного показника $5,0\text{-}6,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Bala, O.P., & Lakyda, I.P. (2017). Current state and productivity of modal beech stands in Ukraine. *Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine*, 218, 15-25. Retrieved from <https://forest-science.com.ua/uk/journals/278-2017/suchasniy-stan-ta-produktivnist-modalnikh-bukovikh-dyeryevostaniv-ukrayini> [Бала, О.П., Лакида, І.П. (2017). Сучасний стан та продуктивність букових деревостанів України. *Науковий вісник НУБіП України*, 218, 15-25] (in Ukrainian)
- Bala, O.P., & Lakyda, I.P. (2019). Modeling mean height growth of modal hardwood broadleaved stands in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10.4, 4-16. <https://doi.org/10.31548/forest2019.04.004> [Бала, О.П., Лакида, І.П. (2019). Моделювання ходу росту за середньою висотою модальних деревостанів твердолистяних деревних видів України. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10.4, 4-16] (in Ukrainian)
- Barna, M. (2015). Productivity and functioning of the beech ecosystem: Ecological Experimental Station – Kremnické vrchy Mts. (Western Carpathians) *Forestry Journal*, 61(4), 252-261 Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/295813213_Productivity_and_functioning_of_the_beech_ecosystem_Ecological_Experimental_Station_-_Kremnick%C3%A9_vrchy_Mts_Western_Carpathians
- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myronyuk, V. V., Svyenchuk, V. A., & Lesnik, O. M. (2020). *Forest inventory reference book*. Dnipro: Lira ISBN 978-966-981-403-6 [Білоус, А. М., Кашпор, С. М., Миронюк, В. В., Свинчук, В. А., Леснік, О. М. (2020). *Лісотаксаційний довідник*. Дніпро: Ліра. 534 с.] (in Ukrainian)
- Development Strategy of the Transcarpathian Region for the Period Until 2027 (2024). Volyn Resource Center. Retrieved from <https://carpathia.gov.ua/storage/app/sites/21/Economics/regional%20development%20strategy%20until%202027.pdf> [Стратегія розвитку Закарпатської області на період до 2027 року (2024). Волинський ресурсний центр] (in Ukrainian)
- Ecological passport of the Transcarpathian region for 2023. Retrieved from <https://ecozakarp.at.gov.ua/wp-content/uploads/2024/09/Екопаспорт-за-2023.pdf> [Екологічний паспорт Закарпатської області за 2023 рік] (in Ukrainian)
- Fuchs, Z., Vacek, Z., Vacek, S., Černý, J., Cukor, J., Šimůnek, V., Gallo, J. & Hájek, V. (2025). Growth Responses of European Beech (*Fagus sylvatica* L.) and Oriental Beech (*Fagus orientalis* Lipsky) Along an Elevation Gradient Under Global Climate Change. *Forests*, 16, 655, 223. <https://doi.org/10.3390/f16040655>
- Gaychuk, S.I., & Girs, O.I., (2015). Structure by diameter of mixed-age, alternate beech stands of the Ukrainian Carpathians. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 216, 44-50. Retrieved from <https://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/uk/article/view/4996> [Гайчук, С.І., Гірс, О.І. (2015). Будова за діаметром різновікових перестійних букових деревостанів Українських Карпат *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 216, 44-50] (in Ukrainian)
- Grom, M. M. (2010). *Forest mensuration*. Lviv: Ukrainian National Forestry University of Ukraine. ISBN 5-7763-0179-3. [Гром, М.М. (2010). *Лісова таксація*. Львів: РВВ НЛТУ України. 416 с.] (in Ukrainian)
- Hamor, F. (2019). *From a Ukrainian initiative to a trans-European World Natural Heritage Site*. The second, expanded edition of the monograph “Worldwide Recognition of the Carpathian Primeval Beech Forests: History and Management”. Uzhhorod: FOP Sabov A. M. Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/doc/BFC2.pdf> [Гамор, Ф. (2019). *Від української ініціативи – до трансєвропейського об’єкта всесвітньої природної спадщини*. Друге, доповнене видання монографії «Всесвітнє визнання букових пралісів Карпат: історія та менеджмент». Ужгород: ФОП Сабов А.М. 294 с.] (in Ukrainian)
- Herushynskiy, Z. Iu. (1996). *Typology of forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramid. Retrieved from https://geobot.org.ua/publication/monograph/?pb_year=1996 [Герушинський, З.Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Horoshko, M.P. Myklush, S.I., & Khomiuk, P.G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula. Retrieved from <https://eln.stu.cn.ua/login/index.php> [Горошко, М.П., Миклуш, С.І., Хоміук, П.Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула. 236 с.] (in Ukrainian)
- Hrynyk, H. H., & Zadorozhnyy, A. I. (2018). Dynamics of dependence of the above-ground phytomass of beech stands on their mensurational indexes in the prevailing types of forest growth conditions of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 93-104. <https://doi.org/10.15421/411824> [Гриник, Г.Г., Задорожний, А.І. (2018). Динаміка залежності надземної фітомаси букових деревостанів від їхніх таксаційних показників у переважаючих типах лісорослинних умов Полонинського хребта Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 93-104] (in Ukrainian)

- Hrynyk, H., Zadorozhnyy, A., & Hrynyk, O. (2021). The stem bioproductivity of beech stands of the Polonynian Range of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 98-109. <https://doi.org/10.15421/412131> [Гриник, Г.Г., Задорожний, А.І., Гриник, О.М. (2021). Стовбурова біопродуктивність букових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 23, 98-109] (in Ukrainian)
- Ilkiv, I.S. (2004) *Morphological and forest mensuration structure of Beskydy beech stands*. Abstract doctoral dissertation. Ukrainian State Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe [Ільків, І.С. (2004) *Морфолого-таксаційна структура букняків Бескидів*: автореф. дис... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Львів, Український державний лісотехнічний університет] (in Ukrainian)
- Kahaniak, Y.Y. (2006). Modeling the productivity of mixed-age beech stands in the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University of Ukraine*, 16(3), 8-14. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_3/8_Kahaniak_16_3.pdf [Каганяк, Ю.Й. (2006). Моделювання продуктивності різновікових букових деревостанів у Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 16(3), 8-14] (in Ukrainian)
- Kahaniak, Yu. I., Ilkiv, I. S., & Havryliuk, S. A. (2021). Multivariate beech stands structure in the north-east mega slope of the Ukrainian Carpathian: theoretical aspects and practical significance. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 130-140. <https://doi.org/10.15421/412111> [Каганяк, Ю.Й., Ільків, І.С., Гаврилюк, С.А. (2021). Багатомірна будова букових деревостанів північно-східного мегасхилу Українських Карпат: теоретичні аспекти і практичне значення. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 130-140] (in Ukrainian)
- Kisin, B., Vasić, V., & Baković, Z. (2025). Management of virgin beech forests in Serbia and the dynamics of changes in their basic structural elements. *Nova Geodesia*, 5(2), 309-323. <https://doi.org/10.55779/ng52309>
- Krynytskyi, H. T., Cherniavskyy, M. V., Derbal, Y. Y., Delehan, I. V., Myklush, S. I., Parpan, V. I., ..., Jaloviar, P. (2014). *Close-to-nature and multifunctional forest management in the Carpathian region of Ukraine and Slovakia*. Uzhgorod: PE "Kolo". Retrieved from <http://www.forza.org.ua/uk/nablizhene-do-prirodi-ta-bagatofunkcionalne-vedennya-lisovogo-gospodarstva-v-karpatskomu-regioni> [Криницький, Г.Т., Чернявський, М.В., Дербаль, Ю.Ю., Делеган, І.В., Миклуш, С.І., Парпан, В.І., ... Яловиар, П. (2014). *Наближене до природи та багатofunkціональне ведення лісового господарства в Карпатському регіоні України та Словаччини*. Ужгород: ПП «Коло». 346 с.] (in Ukrainian)
- Kuryliak, V.M. (2007). *Dynamic tendencies of formation of beech forests of Prykarpattia*. Abstract doctoral dissertation. Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from <http://referatu.net.ua/referats/7569/171557> [Куриляк, В.М. (2007). *Динамічні тенденції формування букових лісів Прикарпаття*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03. Львів, Національний лісотехнічний університет України] (in Ukrainian)
- Kurylyak, V.M. (2011). Features of the age structure of beech stands in the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(5), 55-59. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_5/55_Kur.pdf [Куриляк, В.М. (2011). Особливості вікової структури букових деревостанів у Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(5), 55-59] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V.V., Mazepa, V.G., Shyshkynets, I.F., & Zayats, M.V. (2021). Peculiarities of natural regeneration in beech stands of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 21, 41-51. <https://doi.org/10.15421/412103> [Лавний, В.В., Мазепа, В.Г., Шишкунець, І.Ф., Заяць, М.В. (2021). Особливості природного поновлення у букових деревостанах Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 41-51] (in Ukrainian)
- Parpan, V.I., Chernyavskiy, M.V., & Parpan, T.V. (2017). Beech forests as standards for the forests of the future of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(6), 11-15. <https://doi.org/10.15421/40270601> [Парпан, В.І., Чернявський, М.В., & Парпан, Т.В. (2017). Букові праліси як еталони лісів майбутнього Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 27(6), 11-15] (in Ukrainian)
- Pogrebnyak, P.S. (1955). *Fundamentals of forest typology*. Kyiv: Academy of Sciences. [Погребняк, П.С. (1955). *Основы лесной типологии*. Киев: Академия наук. 456 с.] (in Russian)
- Roessiger, J., Kulla, L., Murgas, V., & Šebeň, V. (2023). Economically optimised target state of uneven-aged forest management for main forest types in Slovakia. *Central European Forestry Journal*, 69(4), 233-247. <https://doi.org/10.2478/forj-2023-0013>
- Shparyk, Y., Buerger, A., Commarmot, B., & Sukharyuk, D.D. (2008). Changes in the natural regeneration of a virgin beech forest. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 18(2), 45-51. Retrieved from http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2008/18_2/18_2_Shparyk_45.pdf
- Shparyk, Yu. S., Krynytskyi, H. T., & Debryniuk, Yu. M. (2020). Trends in the dynamics of types of forest vegetation conditions and species composition of stands in the Ukrainian Carpathians in connection with climate change. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 82-92. <https://doi.org/10.15421/412008> [Шпарик, Ю.С.,

- Криницький, Г. Т., Дебринюк, Ю. М. (2020). Тенденції динаміки типів лісорослинних умов і породного складу деревостанів Українських Карпат у зв'язку зі змінами клімату. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 82-92] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y., & Yanovska, I. (2017). Natural Regeneration of Beech (*Fagus sylvatica* L.). Virgin Forests in Wet Mehathrophic Soil Conditions. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(4), 21-24. <https://doi.org/10.15421/40270403>
- Shvydenko, A.I. (2004). *Forestry*. Chernivtsi: Ruta. ISBN 5-7763-1275-2 [Швиденко, А.Й. (2004). *Лісівництво*. Чернівці: Рута. 254 с.] (in Ukrainian)
- Slyusarchuk, V.V. (2020). *Peculiarities of Growth and Energy Potential of Beech Stands of Bukovyna Pre-Carpathians*. Abstract doctoral dissertation. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine. Retrieved from <https://dglub.nubip.edu.ua/items/f7e1b333-cb4b-4252-b88a-e8168ed660f9> [Слюсарчук, В.В. (2020). *Особливості росту та енергетичний потенціал букових деревостанів Буковинського Передкарпаття*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Київ, Національний університет біоресурсів та природокористування України] (in Ukrainian)
- Stoyko, S.M. (2002). Primeval forest ecosystems of Ukraine, their multifaceted significance and protection. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 1, 27-31. http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Nauk-Praci-LANU/2002_1/LAN_1_Stojko%20S.M.pdf [Стойко, С.М. (2002). Пралісові екосистеми України, їх багатоганне значення та охорона. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 1, 27-31] (in Ukrainian)
- Sukharyuk, D.D. (2006). Beech forests of the Carpathian Biosphere Reserve (distribution, coenotic structure and monitoring). *Scientific Bulletin of Uzhhorod University: Collection of Scientific and Technical Papers, Biology Series*, 19, 91-95. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/server/api/core/bitstreams/51dce562-ea32-4403-8236-3bc50bcdfe5d/content> [Сухарюк, Д.Д. (2006). Букові ліси Карпатського біосферного заповідника (поширення, ценотична структура та моніторинг). *Науковий вісник Ужгородського університету: збірник науково-технічних праць, серія біологія*, 19, 91-95] (in Ukrainian)
- Svyridenko, V.E., Babich, O.G., & Kyrychok, L.S. (2005). *Forestry*. Kyiv: Aristei. Retrieved from https://z-lib.io/book/16623287#google_vignette [Свириденко, В.Є., Бабіч, О.Г., Киричок, Л.С. (2005). *Лісівництво*. Київ: Арістей. 544 с.] (in Ukrainian)
- Tsuryk, E.I. (2000). *Listed forest statistic of the forest*. Lviv: Ukrainian State Forestry University. ISBN 5-7763-2698-2. [Цурик, Є.І. (2000). *Перелікова таблиця лісу*. Львів: УкрДЛТУ. 346 с.] (in Ukrainian)
- Tsuryk, E.I. (2000a). Specificity of the structure and dynamics of the beech forests of the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University*, 10(3), 87-94. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2000/10_3/87_Cur.pdf [Цурик, Є.І. (2000). Специфіка структури та динаміки букових пралісів Карпат. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 10(3), 87-94] (in Ukrainian)
- Vacek, Z., Vacek, S., Bílek, L., Remeš, J., & Štefančík, I. (2015). Changes in horizontal structure of natural beech forests on an altitudinal gradient in the Sudetes. *Dendrobiology*, 73, 33-45. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.073.004>
- Vandekerckhove, K., Meyer, P., Kirchmeir, H., Piovesan, G., Hirschmugl, M., Larrieu, L., ... Blumröder, J. (2022). Old-growth criteria and indicators for beech forests (*Fageta*). *Life-Prognoses-Work Package 1.11*. Retrieved from https://purews.inbo.be/ws/portalfiles/portal/74600061/Criteria_old-growth_PROGNOSES_Finalversion.pdf
- Vangi, E., Dalmonech, D., Cioccolo, E., Marano, G., Bianchini, L., Puchi, P.F., ... Collalti, A. (2024). Stand age diversity (and more than climate change) affects forests' resilience and stability, although unevenly. *Journal of Environmental Management*, 366, 121822. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.121822>
- Vorob'ev, D.V. (1967). *Methodology of forest typological studies*. Kyiv: Harvest] [Воробьев, Д.В. (1967). *Методика лесотипологических исследований*. Киев: Урожай. 388 с.] (in Russian)
- Zadorozhnyy, A.I. (2021). *Structure of aboveground phytomass of beech and spruce forests stands of the Polonyn ridge of the Ukrainian Carpathians*. Abstract doctoral dissertation. Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. Retrieved from <https://dspace.uzhnu.edu.ua/items/8ddd6ccb-3604-42cf-9d6d-6a2e943acbc8> [Задорожний, А.І. (2021). *Структура надземної фітомаси букових і ялинових деревостанів Полонинського хребта Українських Карпат*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.02. Львів, Національний лісотехнічний університет України] (in Ukrainian)
- Zyman, S.M. (2013). Overview of beech forests in Europe. In F. Gamor, Y. Berkela, & V. Bundziak (Eds.), *Wildwood beech forests and ancient beech forests of Europe: problems of conservation and sustainable use*, 151-159. Uzhgorod, Ukraine: KP "Uzhgorod City Printing House". Retrieved from <http://cbr.nature.org.ua/conf2013/conf2013.pdf> [Зиман, С.М. (2013). Огляд букових лісів у Європі. *Букові праліси та давні букові ліси Європи: проблеми збереження та сталого використання*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., м. Рахів, 16-22 вересня 2013 р. Ужгород: КП «Ужгородська міська друкарня», 151-159] (in Ukrainian)

Change in forest statistic indicators of modal beech stands with age Transcarpathian foothills and the Volcanic Range

V. Trykur¹, P. Khomiuk²

The natural conditions of the Transcarpathian region, formed under the influence of the continental climate with sufficient and excessive moisture, are favorable for forestry in the foothills and mountains. Modal for the conditions of the Transcarpathian foothills of the Volcanic Range are beech stands formed in the conditions of moist fertile pure beech forest type. They are most abundant in the forest fund of the branches “Uzhhorod Forestry”, “Mukachevo Forestry”, “Khust Forest Experimental Station”. For these stands, an analysis of forest-mensuration indicators was carried out based on the results of the processing of the extraction database, current as of January 1, 2021. The stands in the study region perform a variety of functions and are most common in the following categories of forests: commercial (47.6%), recreational and health-improving (25.8%), protective (16.9%), forests of environmental, scientific, historical and cultural purposes (9.7%). Such a structure of the forest fund makes it possible to characterize beech stands as ecologically important for the region, contributing to the increase of biodiversity and participating in the regulation of climate and water balance. In terms of origin, the study area is dominated by beech stands of

seed natural origin, which are characterized by higher site classes compared to other stands and are mainly located at an altitude of 401-600 m above sea level. Beech plantations of vegetative origin are low-site classes and are distributed mainly at an altitude of up to 400 m above sea level. A characteristic feature of beech stands is a significant proportion of high site classes – I^a and above – 29-43%, mainly at an altitude of 401-600 m above sea level. The distribution of beech stands by age groups, which characterizes their age structure, is uneven and indicates the predominance of *middle-aged stands* (56-66%) over other categories. The small number of mature beech forests does not contribute to increasing the economic efficiency of forestry production in the category of commercial forests. The most common were medium-density beech stands, which occupy from 70 to 75% of the forest area, and are concentrated mainly at an altitude of 401-600 m above sea level. The productivity of mature beech stands averages 323-400 m³·ha⁻¹, which is similar to that of middle-aged and maturing forests. The cause of this is the use of shelterwood felling, where 20% of the total timber stock is removed during the first cut. The number of merchantable trees is 20-30% in beech stands of vegetative origin and 50-60% in natural and artificial ones, which indicates their higher commercial quality. The highest values of stock changes are observed for the age range of 40-60 years, where modal beech stands reach 8.0 m³·ha⁻¹ per year, and the average accumulation of wood is 5.0-6.0 m³·ha⁻¹ per year. In the study area European beech is an ecologically and economically important tree species, the growth of which is directly dependent on climatic factors – air temperature and precipitation. Forest phytocoenoses formed by European beech trees in the study region are dynamic, they develop and change under the influence of many factors, so there is a constant need to update information about the features of the growth of the main component – forest stands, especially during the period of adaptation of tree species to climate change.

Key words: dynamics; productivity; forest type; forest-mensuration indicators; forest fund structure.

¹ *Vasyl Trikur* – post graduate student at the Department of the Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: trivasya@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-9497-1041>

² *Petro Khomiuk* – PhD of Agricultural Sciences, associate professor at the Department of the Forest Inventory and Forest Management. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: khompetro@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4409-9180>

5. ЕКОЛОГІЯ, ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412516>
Article received 2024.11.22
Article revised 2024.12.10
Article accepted 2025.05.19
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Oksana Pelyukh
pelyukh.o@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 620.9:332.142.6:378.1(477.87)

Перехід до енергетичної автономії шкіл у Карпатському регіоні: аналіз думок стейкхолдерів

О.Р. Пелюх¹, І. Зайдль², А. Бйорнсен³

Актуальність дослідження полягає у пошуку шляхів забезпечення енергетичної автономії шкіл у Карпатському регіоні, що стає важливим завданням у контексті сучасних енергетичних викликів. Метою дослідження є ідентифікація сильних і слабких сторін, можливостей та загроз, а також стейкхолдерів та їхніх ролей у контексті переходу шкіл до енергетичної автономії. Розроблено анкету та проведено прямі опитування серед 107 респондентів у трьох територіальних громадах Українських Карпат – Козівській, Сколівській та Славській. Виявлено наявність низки сильних сторін. Зокрема, відзначено значну кількість лісових ресурсів та готовність місцевих органів влади вирішувати енергетичні проблеми шкіл. Встановлено, що основною слабкою стороною є брак фінансових ресурсів та інвестицій, що ускладнює реалізацію проєктів з енергетичної модернізації. Інфраструктурні обмеження – зношеність шкільних будівель та систем опалення, також створюють серйозні перешкоди. Серед можливостей, які можуть сприяти переходу до енергетичної автономії, виділено розвиток виробництва паливних брикетів і тріски, а також залучення малого та середнього бізнесу до вирішення енергетичних проблем. Крім того, участь у грантових програмах може забезпечити додаткове фінансування для модернізації систем опалення. Низка загроз, серед яких інфляційні процеси, погіршення інвестиційного клімату та можливі військові дії, можуть негативно вплинути на реалізацію проєктів. З'ясовано, що перехід до енергетичної автономії шкіл у регіоні можливий за наявності належного фінансування та інфраструктурних покращень. Співпраця між школами, місцевими органами влади та іншими стейкхолдерами є важливим аспектом для стабільного та ефективного енергетичного забезпечення.

Ключові слова: гірські громади; опитування; місцеві енергетичні ресурси; SWOT-аналіз; шкільна інфраструктура.

¹ Пелюх Оксана Романівна – кандидат економічних наук, старший викладач кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Зайдль Ірмі – професор, доктор наук, керівник Науково-дослідного підрозділу економіки і соціальних науки. Швейцарський федеральний інститут досліджень лісу, снігу та ландшафту, вул. Цюрхерштрассе, 111, м. Бірменсдорф, 8903, Швейцарія. E-mail: irmi.seidl@wsl.ch ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7740-7875>

³ Бйорнсен Астрід – доктор наук, менеджер програми Extremes Stab. Швейцарський федеральний інститут досліджень лісу, снігу та ландшафту, вул. Цюрхерштрассе, 111, м. Бірменсдорф, 8903, Швейцарія. E-mail: astrid.bjoernsen@wsl.ch ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-0875>

Вступ (Introduction).

В умовах глобалізації та диджиталізації, освіта відіграє вирішальну роль у соціальному прогресі, національній безпеці та розвитку особистості. Шкільна інфраструктура є важливим чинником впровадження прогресивних педагогічних форм, формуючи фізичне середовище для виховання гармонійної особистості та створюючи здорові психофізичні умови для навчання (Хрущ, 2017). Однак, більшість українських шкільних будівель зведені в часи, коли паливні ресурси здавались необмеженими, що призвело до їх низької енергоефективності та значного споживання енергії, яке негативно впливає на паливно-енергетичний комплекс країни. Війна росії проти України ускладнює будівництво нових шкіл, що додатково посилює цю проблему.

Аналіз стану використання енергоресурсів в освітніх закладах України показує, що 89,2% з них обігріваються переважно централізовано, отримуючи тепло від котелень, які працюють на традиційних видах палива (Кармазіна, 2017). Додатково, недосконалість систем розподілу та слабка термоізоляція труб призводять до втрати приблизно 30% енергії на шляху від точки генерування тепла до споживача (Мельникова та ін., 2004). Це зумовлює додаткові витрати ресурсів на підтримання необхідної температури у приміщеннях, що збільшує вартість споживаної енергії.

В Україні численні наукові роботи присвячені вивченню стану та перспектив підвищення енергоефективності в освітніх закладах (Гарнага, Драчук, 2013; Шульдан та ін., 2013; Петрусь, Панкевич, 2016; Хрущ, 2017; Мандрика та ін., 2017) та енергетичного переходу до використання відновлюваних джерел енергії (Soloviy et al., 2019; Пудичева, 2019; Arkhypova et al., 2021; Омельченко, 2022). Важливість впровадження енергоефективних та енергозберігаючих заходів стали основними цілями функціонування української економіки. Це підтверджується багатьма національними регламентами щодо енергоефективності, прийнятими впродовж останньої декади (Державне агентство з енергоефективності..., 2024), які формують правову основу відносин, що виникають у сфері енергоефективності, зокрема в освітніх закладах України. Відповідно до Національної економічної стратегії України до 2030 р., частка відновлюваних джерел енергії повинна досягти 25% від електроенергетичного балансу країни до 2030 року (Постанова КМУ, 2021).

Попри ці зусилля, Україна входить у десятку найбільш енергомістких країн світу (Kholod et al., 2018). Гарнага та Драчук (2013) висвітлюють проблему необхідності впровадження енергоефективних заходів у шкільних будівлях в Україні та вказують на недостатню увагу до цього питання з боку ключових установ, відповідальних за розробку та реалізацію політики енергоефективності.

Заміна викопної енергії на відновлювані джерела в умовах зростання тарифів на енергоносії, дефіциту електроенергії через масовані ракетні обстріли росії (Reliefweb, 2022), неможливості значної частки енергетичних потужностей України часто та швидко змінювати режими роботи (Омельченко, 2022) актуалізує необхідність досягнення енергетичної автономії освітніх закладів на національному рівні. У цьому контексті необхідно визначити ефективні шляхи дій для прискорення енергетичного переходу для шкіл, особливо на території лісозалежних громад Українських Карпат, які мають значний потенціал та перспективи для використання відновлюваних джерел енергії, таких як біоенергія з сільського та лісового господарств, вітрова та сонячна енергія (Жук, Башинська, 2016; Soloviy et al., 2019; Arkhypova et al., 2021).

Незважаючи на міжнародні зобов'язання України, зокрема Паризьку кліматичну угоду, процес переходу до відновлюваних джерел енергії в освітній сфері залишається фрагментарним. Це *особливо актуально* для закладів загальної середньої освіти, розташованих у гірських громадах Карпатського регіону. Такі школи характеризуються високим рівнем залежності від лісових ресурсів, зношеною інфраструктурою та низькою енергоефективністю. У цьому контексті перехід до енергетичної автономії, зокрема шляхом ефективного використання місцевих енергетичних ресурсів, потребує активного залучення стейкхолдерів. Водночас реалізація цього підходу ускладнюється слабким інституційним потенціалом на місцевому та регіональному рівнях, а також обмеженим рівнем співпраці між зацікавленими сторонами.

Метою дослідження є ідентифікація сильних і слабких сторін, можливостей і загроз, а також стейкхолдерів та їхніх ролей у контексті переходу шкіл до енергетичної автономії на прикладі трьох громад Українських Карпат.

Об'єкти та методика досліджень (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процес переходу шкіл в Українських Карпатах до енергетичної автономії. *Предмет досліджень* – теоретичні та практичні аспекти ідентифікації та аналізу думок і суджень стейкхолдерів щодо необхідності, перспектив, загроз переходу шкіл в Українських Карпатах до енергетичної автономії та важливості залучення широкого кола сторін до цього процесу.

Для досягнення поставленої мети розроблено анкету, яка складалася із шести розділів і включала 33 запитання. У цьому дослідженні представлені результати четвертого і п'ятого розділів анкети, які включали п'ять запитань щодо ідентифікації основних стейкхолдерів та їхніх ролей у контексті переходу до енергетичної автономії шкіл та SWOT-аналізу цього процесу. Також, представлено результати дослідження важливості, переваг і недоліків використання місцевої деревини

для задоволення енергетичних потреб шкіл. Останній розділ анкети розроблений для отримання інформації про самого респондента. Він складається із п'яти запитань щодо його соціально-демографічного статусу. Усі запитання короткі, прості та реалістичні, що дало змогу мінімізувати час для заповнення анкети й мотивувало респондентів відповідати на ці запитання.

Дослідження проводили шляхом прямого опитування упродовж червня-липня 2023 р. з охопленням 42 шкіл та їхніх філій на території трьох територіальних громад в Українських Карпатах – Козівської, Сколівської та Славської. Пряме опитування обрано для того, щоб збільшити частку відповідей, підвищити якість даних і мати кращу можливість пояснити ті чи інші аспекти, якщо запитання були незрозумілими для респондентів (de Leeuw, 1992; Goyder, 1985). Окрім відповідей на запитання, зібрано коментарі респондентів та якісну інформацію для підтримки інтерпретації результатів.

Козівська, Сколівська та Славська територіальні громади розташовані у південній частині Львівської області (рис. 1), охоплюючи фізико-географічні райони Сколівських Бескидів та Стрийсько-Санської височини з фрагментацією рельєфу (Леневич, Паньків, 2022). Територія охоплює площу 1455,9 км² або 6,74% території Львів-

ської області та включає 57 населених пунктів із населенням майже 46 тис. осіб (густота населення становить 31,6 ос./км²) (Дашбордин громад Львівської області, 2022; Сколівська міська територіальна громада, 2022). Переважна частина населення проживає у сільській місцевості (71,7%). Кількість чоловіків і жінок доволі подібна, з невеликим переважанням жінок (48,7% чоловіки та 51,3% жінки) (Сколівська міська територіальна громада, 2022). Кожен п'ятий мешканець зайнятий у сільському господарстві, лісовому господарстві або рибальстві (Паспорт регіону, 2021). Рівень безробіття змінюється від 4,1 до 6,3%.

Клімат території помірно континентальний, холодний і вологий в її висотній частині (Малик, 2012). Висота досліджуваної території знаходиться в межах 349-1268 м над рівнем моря. Відтак, усі 57 населених пунктів належать до високогірних поселень і характеризуються значною економічною та соціокультурною залежністю від лісових ресурсів (Геник та ін., 2011; Чернявський та ін., 2011; Melnykovych, & Soloviy, 2014). Збір недревних лісових продуктів, серед яких гриби, ягоди, горіхи, лікарські рослини, кора, коріння, сік і смола, є важливою частиною повсякденного життя і забезпечує додатковий дохід для домогосподарств (Голубець та ін., 2007).

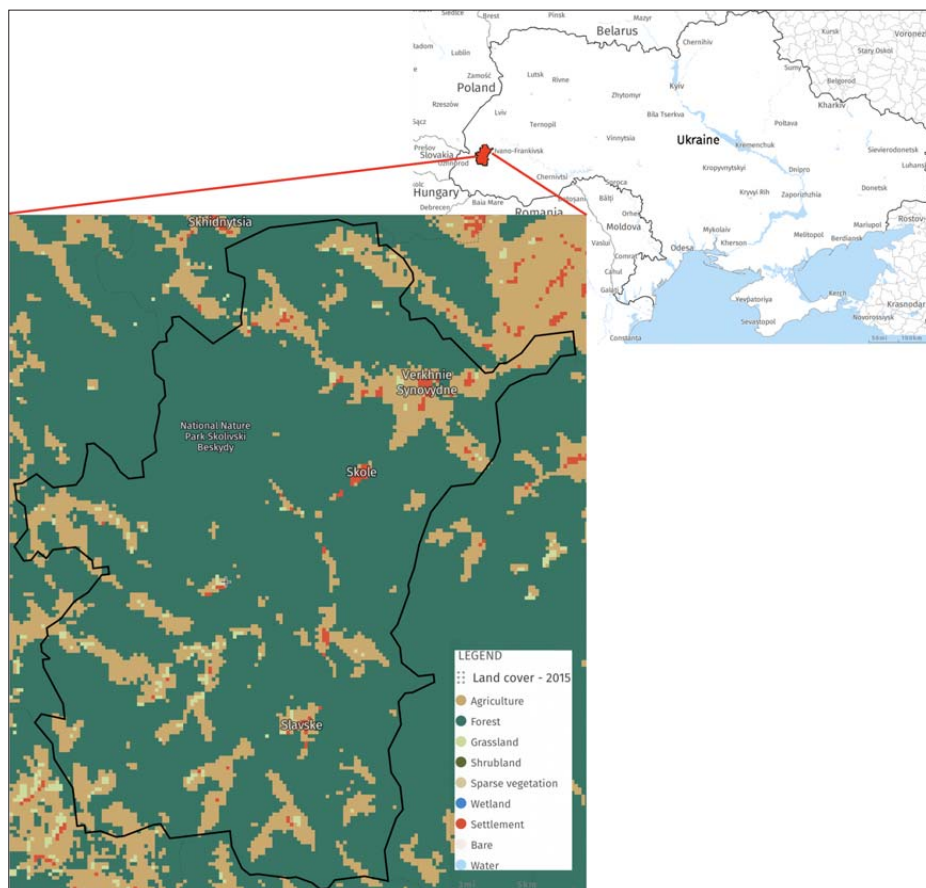


Рис. 1. Географічне розташування досліджуваної території

Fig. 1. Geographical location of the study area

У трьох громадах зосереджені різноманітні природні ресурси – ліси, пасовища, водні та рекреаційні об'єкти. Проте, домінування лісового використання земель у радянський період визначило специфіку економічного розвитку і структуру зайнятості місцевого населення, що також призвело до помітного погіршення екологічної ситуації (Леневич, Панків, 2022). Згідно з індексом цілісності лісового ландшафту (*Forest Landscape*

Integrity Index) (Global Forest Watch, 2024), який відображає стан лісу як безперервного індексу, визначеного ступенем антропогенної модифікації, найбільш неушкоджені лісові ландшафти знаходяться у Сколівській територіальній громаді (північна частина досліджуваної території), а в Козівській та Славській громадах лісові ландшафти найбільш порушені всередині та навколо населених пунктів (рис. 2).

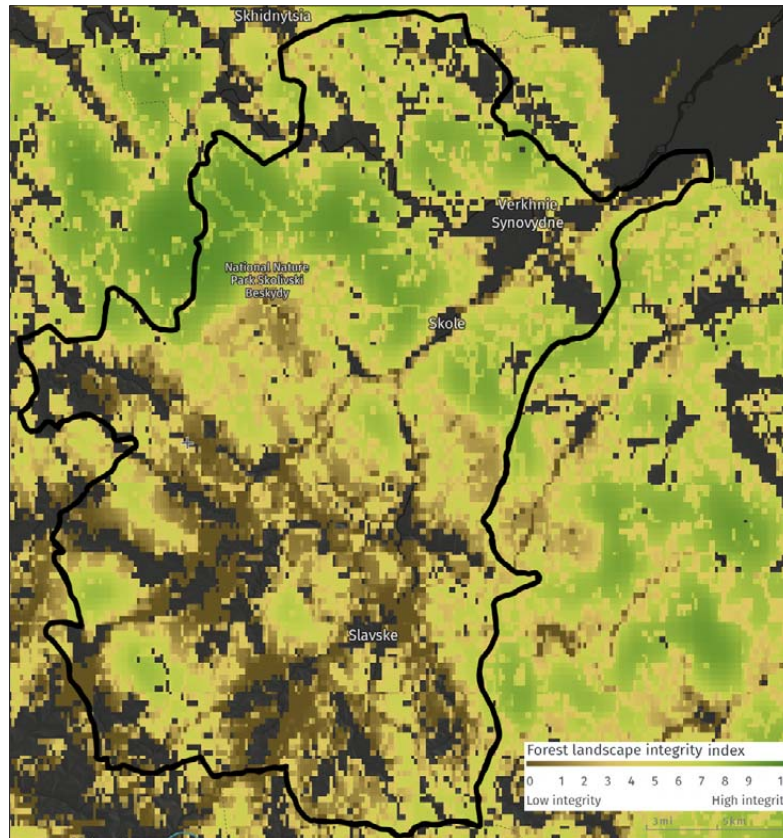


Рис. 2. Відображення значення індексу цілісності лісового ландшафту (*Forest Landscape Integrity Index*) досліджуваної території станом на 2022 рік

Fig. 2. Representation of the Forest Landscape Integrity Index value of the study area as of 2022

Лісовий покрив становить 104 тис. га (майже 71% від загальної площі), представлений переважно високопродуктивними насадженнями бука лісового (*Fagus sylvatica* L.), ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karst.) та ялиці білої (*Abies alba* Mill.) (Малик, 2012; Black Sea wood trading, 2023). До категорії експлуатаційних лісів віднесено 60% від загальної площі лісів, 21% – до лісів різних категорій зон захисту, решта – до захисних та рекреаційних лісів. Середній запас деревини в лісах становить $300 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ з річним приростом $6,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1} / \text{рік}$ (Голубець та ін., 2007). На досліджуваній території функціонують шість лісокористувачів: філії ДП «Ліси України» «Сколівське лісове господарство» та «Славське лісове господарство», комунальні лісгосподарські підприємства Сколівське та Славське ДЛГП «Гал-

сільліс», ДП «Сколівський військовий лісгосп», а також Національний природний парк «Сколівські Бескиди».

На досліджуваній території знаходиться 42 школи комунальної форми власності, в яких 1034 вчителів навчають 5658 учнів. Середня загальна фінансова підтримка шкіл становить 4997,2 тис. грн/рік (ЛОДА, 2022) (рис. 3).

Найбільше фінансування отримували Славський заклад загальної середньої освіти (ЗЗСО) I-III ступенів (18637 тис. грн/рік), а найменше – Кальненський ЗЗСО I ступенів та Ямельницька початкова школа (по 550 тис. грн/рік кожна). Найбільше фінансування на одного учня отримували учні Козівської (42102 грн/рік), а найменше – учні Сколівської територіальних громад (34990 грн/рік).

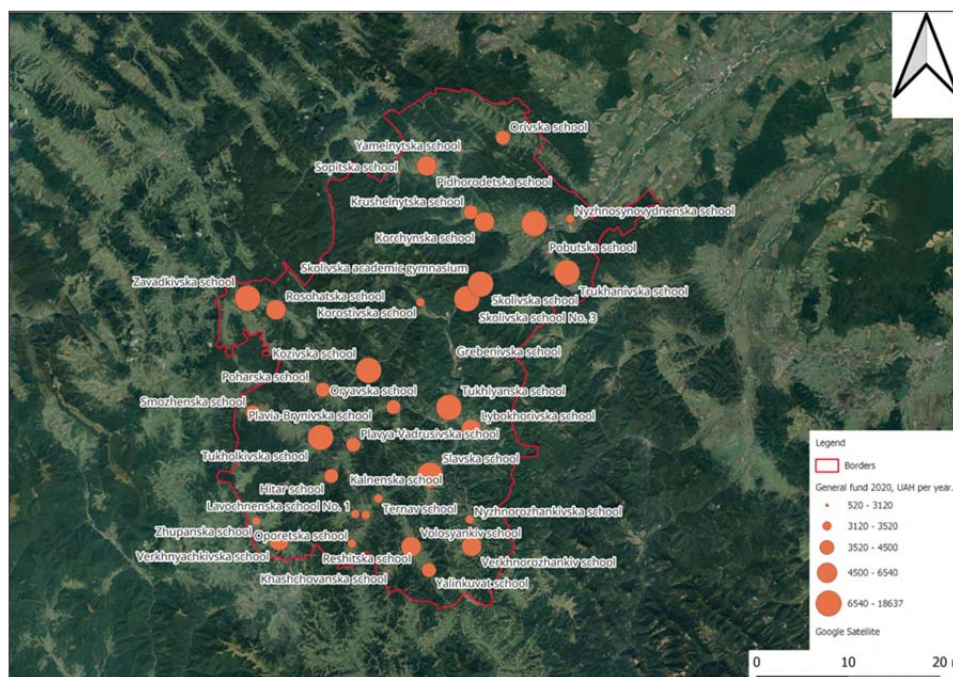


Рис. 3. Розподіл фінансування шкіл (тис. грн/рік) на досліджуваній території станом на 2020 рік

Fig. 3. Distribution of school funding (thousand UAH/year) in the study area as of 2020

Результати (Results).

У межах дослідження було опитано 107 респондентів. Рівень участі становив майже 100%, оскільки лише один потенційний учасник відмовився від проходження інтерв'ю. У гендерному розподілі вибірки 42% становлять чоловіки, а 58% – жінки (табл. 1). Вікова структура респондентів свідчить,

що більшість з них (66%) перебувають у віковій категорії від 36 до 55 років.

Щодо рівня освіти, то 80,3% опитаних мають повну вищу освіту (диплом магістра або спеціаліста). Переважна частина респондентів проживає у сільській місцевості (83%), тоді як мешканці міських територій становлять 17%.

Таблиця 1. Соціально-демографічна характеристика респондентів регіону дослідження

Table 1. Socio-demographic characteristics of respondents in the study region

Характеристики		Територіальні громади:						Загально	
		Сколівська		Славська		Козівська			
		n	%	n	%	n	%	n	%
Стать:		44	100,0	30	100,0	33	100,0	107	100,0
	чоловік	22	50,0	15	50,0	8	24,0	45	42,0
	жінка	22	50,0	15	50,0	25	76,0	62	58,0
Вік:		44	100,0	30	100,0	33	100,0	107	100,0
	18-35 років	1	2,3	1	3,3	5	15,2	7	7,0
	36-55 років	31	70,5	20	66,7	20	60,6	71	66,0
	56-75 років	12	27,3	9	30,0	8	24,2	29	27,0
	>75 років	0	0,0	0	0,0	0	0,0	0	0,0
Рівень освіти:		44	100,0	30	100,0	33	100,0	107	100,0
	молодший бакалавр	13	29,5	1	3,3	3	9,1	17	15,9
	бакалавр	1	2,3	0	0,0	0	0,0	1	0,9
	спеціаліст	15	34,1	16	53,3	19	57,6	50	46,7
	магістр	15	34,1	11	36,7	10	30,3	36	33,6
	кандидат наук/доктор філософії	0	0,0	2	6,7	1	3,0	3	2,8
Місце проживання:		44	100,0	30	100,0	33	100,0	107	100,0
	міська місцевість	18	40,0	0	0,0	0	0,0	18	17,0
	сільська місцевість	26	60,0	30	100,0	33	100,0	89	83,0

Структура вибірки за професійною ознакою охоплює представників різних категорій учасників освітнього процесу, зокрема: керівників закладів освіти – 48,7%, педагогічних працівників – 23,1%, батьків учнів – 11,5%, представників місцевих органів управління освітою – 7,7%, завідувачів господарськими підрозділами шкіл – 5,1%, а також технічного персоналу (опалювачі та обслуговуючий персонал) – 2,6%. Середній стаж професійної діяльності на займаній посаді серед респондентів становить 17,5 років.

Перехід шкіл Славської громади до енергетичної автономії: бачення стейкхолдерів. Респонденти Славської громади відзначили декілька сильних сторін, які сприяють переходу шкіл до енергетичної автономії. По-перше, у регіоні є значна кількість лісових ресурсів, що дає можливість використовувати тріску та брикети як альтернативні джерела енергії. *«Ми витрачаємо багато коштів на оплату праці персоналу, який розрізає деревину на дрова. Ми могли б зекономити, якби закупляли у лісгоспів уже готові дрова, паливні брикети чи тріску. Окрім дров, ми готові закупляти для опалення шкіл тріску і брикети, але потрібно щоб лісгоспи їх виготовляли»*, зазначали представники громади. По-друге, територіальні органи влади готові вирішувати енергетичні проблеми шкіл, що підтверджується виділенням достатнього фінансування та розбудовою надійних взаємовідносин між школами та лісовими господарствами.

Незважаючи на наявність низки сильних сторін, існують і певні вразливі аспекти. Однією з ключових проблем є обмеженість інвестиційних ресурсів, а також висока вартість реалізації проєктів, зумовлена існуючими інфраструктурними бар'єрами. На думку респондентів, *«...проблемою шкіл є те, що переважна їхня більшість – це старі приміщення, які потрібно утеплювати, а в подальшому – проводити капітальний ремонт»*. Незадовільний матеріально-технічний стан шкільної інфраструктури, значне зношення мереж тепловодопостачання та водовідведення також створюють певні труднощі. Більша кількість шкіл має пічний тип опалення, що потребує частого ремонту: *«У середньому реконструкцію опалювальних печей у школах здійснюємо кожні 2-3 роки. В окремих випадках, за умови залучення некваліфікованих виконавців, експлуатаційний ресурс печей суттєво скорочується – іноді до одного року, після чого виникає потреба в повторному виконанні робіт»*.

Серед можливостей, які можуть сприяти переходу до енергетичної автономії, представники громади відзначили розвиток виробництва паливних брикетів і тріски, залучення малого та середнього бізнесу до вирішення соціальних проблем, а також участь у грантових програмах для модернізації систем опалення у всіх закладах освіти комплексно. *«Щодо можливостей використання альтернативних джерел енергії, зокрема сонячної енергії, то у нашій громаді немає достатньої кількості*

сонячних днів і місця для розміщення сонячних панелей. Вітрова енергетика також не є оптимальною для нашої громади». Проте існує можливість модернізації існуючої системи опалення шляхом впровадження централізованого опалення на дровах або брикетах.

Однак існують загрози, які можуть перешкоджати реалізації планів щодо енергетичної автономії шкіл. Серед них – інфляційні процеси, погіршення інвестиційного клімату, природні катаклізми, активізація військових дій та погіршення демографічних показників. Представники громади зазначають, що вирішення енергетичних проблем освітніх закладів є лише питанням часу: *«Розроблені проєкти реконструкції шкіл, є спеціалісти на виконання запланованих робіт, і кошти є. Але у зв'язку із війною усі роботи заморожено»*. Також серед загроз потрібно відзначити недостатнє бюджетне фінансування, яке може ускладнити реалізацію запланованих проєктів.

Попри наявні проблеми, респонденти Славської територіальної громади демонструють усвідомлення важливості модернізації шкільної інфраструктури як одного із ключових чинників підтримки та сталого розвитку сільських і гірських територій. Вони наголошують на тому, що теперішні проблеми з опаленням шкіл можуть бути вирішені за наявності часу та додаткових ресурсів: *«Ми усе робимо своїми силами. Нам насправді потрібна допомога, чи то матеріальна, чи інтелектуальна»*.

Перехід шкіл Козівської громади до енергетичної автономії: бачення стейкхолдерів. Респонденти Козівської територіальної громади, як і Славської, відзначили, що *«...наявність значної кількості лісових ресурсів та готовність міської влади вирішувати енергетичні проблеми шкіл є нашими основними сильними сторонами»*. Однак, проблеми з інфраструктурою та фінансуванням залишаються серйозними перешкодами для покращення системи опалення. *«Основними перешкодами для вдосконалення системи опалення шкіл є фінансування. У громади немає достатньої кількості фінансових ресурсів, і доводиться залучати кошти з обласного або державного бюджетів»*, зазначають респонденти. Школи, що використовують електричне опалення, зазнають значних фінансових витрат на електроенергію, тоді як школи, забезпечені газовим опаленням, потребують реконструкції внутрішньої інженерної інфраструктури. *«Школи дуже великі, а світло дороге. Школа, яка опалюється газом, потребує реконструкції внутрішньої комунікації (труби, батареї)»*, підкреслюють респонденти. Крім того, низька тепловіддача та незадовільна ізоляція сприяють значній тепловтраті, особливо у школах з котельнями. Представники громади зазначають, що *«...основними проблемами, пов'язаними із опаленням будівель шкіл, є низька тепловіддача, високі витрати. Також наявна погана термоізоляція. Особливо у школах, які мають свої котельні»*.

Багата тепла втрачається у теплотрасі між котельнею та школою. Самі ж котли потрібно ремонтувати або міняти».

Існують можливості для покращення ситуації завдяки залученню фінансування з обласного і державного бюджетів, а також через грантові програми. За твердженням представників громади *«... з державного бюджету дуже складно отримати кошти. Основна надія на повне фінансування з обласного рівня. Бо навіть якщо говорити про співфінансування, то для нас вже і це проблематично. Якщо йдеться про грантові кошти, то цим займається сільська рада, оскільки там є окремий відділ економічного розвитку. Але якби ми брали участь у конкурсах, то грантодавці зважають на кількість осіб, які отримають вигоду від проєкту. Оскільки у нас низька кількість школярів, то ми не отримуємо фінансування».* Розвиток виробництва паливних брикетів і тріски може значно знизити витрати на опалення. Важливу роль може відіграти розвиток вітроенергетики у регіоні, що також сприятиме енергетичній автономії.

Серед загроз виділяють фінансову і цінову нестабільність, інфляційні процеси та погіршення інвестиційного клімату. Військові дії та можливі перебої зі світлом також створюють значні ризики для забезпечення стабільного опалення шкіл. Респонденти акцентують увагу, що *«...зараз, в час війни, найкраща ситуація з опаленням у школах, які мають пічну систему опалення. Вони ні від кого не залежать, на противагу школам, які опалюються газом, чи потребують електроенергії».* Проблеми з інфраструктурою, насамперед – низька якість доріг та часті поломки шкільних автобусів роблять оптимізацію шкільної мережі практично неможливою: *«Дороги в поганому стані, гірська місцевість, шкільні автобуси ламаються десь посеред дороги й школярам нікуди діватись, доводиться йти пішки».*

Перехід шкіл Сколівської громади до енергетичної автономії: бачення стейкхолдерів. Окрім наявності значної кількості лісових ресурсів та готовності органів територіальної влади вирішувати енергетичні проблеми шкіл, респонденти вказали, що керівники освітніх закладів проявляють себе як добрі господарі, активно розробляючи пропозиції щодо покращення ситуації. Вони пропонують інноваційні ідеї та дієві рішення щодо покращення енергетичної ефективності шкіл. Також налагоджено добру комунікацію між школами, місцевою владою та іншими стейкхолдерами, що сприяє ефективному вирішенню проблем, забезпечуючи злагоджену співпрацю та швидке реагування на виклики сьогодення.

Основними слабкими сторонами є брак інвестиційних ресурсів та недостатнє фінансування з державного бюджету. *«Брак інвестиційних ресурсів і недостатнє фінансування з державного бюджету значно обмежують наші можливості для удосконалення систем опалення»*, зазначають стейк-

холдери. Значне зношення основних мереж тепло-, водопостачання та водовідведення також створює серйозні проблеми. Відсутність відкритих донорських і грантових конкурсів, слабо розвинений малий та середній бізнес, який міг би підтримати ініціативи з вирішення енергетичних проблем, поповнюють список слабких сторін.

Існують можливості для покращення ситуації шляхом розвитку виробництва паливних брикетів і тріски в громаді. Представники громади зазначають, що *«...розвиток виробництва паливних брикетів і тріски може значно знизити витрати на опалення та підвищити енергоефективність шкіл».* До покращення системи опалення шкіл можуть бути залучені лісгоспи, малі і середні підприємства, проєкти місцевих ініціатив, громадські та міжнародні організації.

Серед загроз стейкхолдери також виділяються відсутність спеціалістів у сфері енергетики та підвищення цін на електроенергію: *«Відсутність спеціалістів у сфері енергетики є серйозною загрозою для нашої громади».* Фінансова і цінова нестабільність, інфляційні процеси та погіршення інвестиційного клімату також створюють значні ризики. Природні катаклізми та активізація військових дій можуть додатково ускладнити забезпечення стабільного опалення шкіл. Погіршення демографічних показників і недостатнє бюджетне фінансування поповнюють список загроз, з якими стикається громада.

Підсумовуючи бачення респондентів щодо переходу шкіл до енергетичної автономії у регіоні дослідження, встановлено основні сильні і слабкі сторони, можливості та загрози (рис. 4).

На думку 55,9% респондентів, ідеальним і реальним енергетичним ресурсом для шкіл в умовах сьогодення є деревина. Респонденти, які представляють школи, що обладнані пічним опаленням, твердопаливними котлами або опалюються комунальними котельнями, наголошують на важливому значенні місцевої енергетичної деревини як на сьогодні, так і в майбутньому. Акцентуючи на важливому значенні місцевої деревини, один з респондентів зазначив: *«Місцеві жителі залежать від деревини. Вони працюють у лісгосподарських підприємствах, місцевих деревообробних підприємствах. Діти відвідують школи, які опалюються дровами, заготовленими їхніми батьками. Усе наше життя пов'язане з лісом».*

Переваги використання місцевої енергетичної деревини для опалення шкіл полягають у наявності цього ресурсу в значній кількості, логістиці, економічності, можливості забезпечення автономії шкіл, екологічності (табл. 2). Недоліки включають можливість зрубування лісів за допустимим межу та підвищену ймовірність незаконних рубок.

Частина респондентів (13,5%) вказали, що за опалення шкіл відповідальні дирекція шкіл і громади; більш відповідальне за опалення керівництво шкіл (54,1%), меншою мірою – громада (32,4%).

На думку респондентів, покращенням системи опалення шкіл в основному займалися директори шкіл (83,3%), громади (23,8%), батьки (9,5%), вчителі (7,1%), місцеві асоціації (2,4%). На думку респондентів, до процесу покращення системи

опалення шкіл мають бути залучені місцеве самоврядування, відділи освіти громад, батьки школярів, національні та міжнародні донори, меценати, спеціалісти в галузі теплопостачання, науковці, громадські та неурядові організації (рис. 5).



Рис. 4. SWOT-аналіз переходу шкіл до енергетичної автономії у регіоні дослідження

Fig. 4. SWOT analysis of the transition to energy autonomy of schools in the study region

Таблиця 2. Твердження респондентів щодо переваг і недоліків використання місцевої енергетичної деревини для опалення шкіл на території дослідження

Table 2. Respondents' statements on the advantages and disadvantages of using local energy wood for heating schools in the study area

Переваги	Недоліки
Наявність і якість ресурсу	
«Наявність великої кількості твердих порід дерев»	«Іноді привозять не достатньо суху деревину, що впливає на її тепловіддачу»
«Лісів у нас достатньо. Окрім цього ми можемо обирати для опалення певні пропорції з твердолистяних і хвойних порід дерев»	«Неякісна, недостатньо суха, забруднена землею деревина»
«У нас в громадах деревини багато, тож лише постає питання щодо ефективного її використання»	«Низька якість деревини (трухлявість, надмірна сухуватість)»
«Деревина має високу якість і її є багато у нашій громаді»	«Недостатній обсяг твердих порід деревини»
«Логістика і доступність цього ресурсу»	

Переваги	Недоліки
Логістика і перероблення деревини	
«Деревина місцева, близько знаходиться» «Транспортування деревини коштує дешевше, ніж інших енергоносіїв» «Деревину везуть із довколишніх лісогосподарських підприємств, тож є економія витрат на транспортування»	«Було б добре запровадити глибшу переробку деревини (пелети, тріска)» «Добре було би, якби лісгосп переробляв деревину у гранули чи тріску» «Необхідно самому здійснювати розрізання дров» «Проблеми з розрізанням дров» «Великі затрати на оброблення деревини до спалювання у котлах» «Лісгоспи продають не порізану деревину, тобто колоди дерев»
Економність	
«Використовувати деревину в наших умовах дешевше, ніж газу і світла» «Не потрібно багато коштів на закупівлю і доставлення» «Ціна на деревину порівняно не висока» «Можна обігріти школу навіть за відсутності електроенергії» «Це найкращий варіант для нас – використовувати цей локальний ресурс»	«Висока ціна деревини та доставлення» «Останнім часом збільшилась ціна на дрова» «Дороге транспортування з верхнього складу» «Лісгоспи іноді не вчасно привозять деревину, тож у школі не встигають її висушити» «Було б добре, якби деревину завозили у травні, щоб під час літа була б можливість її висушити»
Екологічність	
«Деревина – екологічний вид палива» «У наших умовах немає альтернативних джерел енергії, якими можна було б замінити деревину, не завдаючи при цьому шкоди довкіллю» «Екологічність використання»	«Значну частину лісів вже зрубали, тому місцевої деревини у майбутньому буде недостатньо» «Інтенсивне зрубання лісів»



Рис. 5. Стейкхолдери та їхня роль у контексті покращення системи опалення шкіл на території дослідження

Fig. 5. Stakeholders and their roles in the context of improving the school heating system in the study area

Дискусія (Discussion).

Результати дослідження підтверджують наявність сильних сторін, які можуть сприяти переходу шкіл до енергетичної автономії, зокрема готовність органів місцевого самоврядування вирішувати енергетичні проблеми закладів освіти. До воєнного періоду були розроблені проекти щодо економії та ефективного використання енергоресурсів для Орівського ЗЗСО I-III ступенів та Лавочненського ЗЗСО I-II ступенів. У 2019 р. у Лавочненському ЗЗСО I-II ступенів реалізували проєкт з капітального ремонту, зокрема утеплення фасаду, на суму 265 тис. грн (Prozogo, 2018). Для Козівської школи у 2016 р. підготували проєкт реконструкції енергосистем на суму 8,3 млн грн. У межах проєкту заплановано такі заходи: заміна газової котельні на теплову акумулюючу систему, модернізація системи опалення з автоматизацією процесів, утеплення фасаду та перехід на LED-освітлення.

На думку респондентів, необхідна екстраполяція подібних ініціатив в інших школах через залучення грантових програм, малого та середнього бізнесу. Петрусь, Панкевич (2016) також наголошують на важливості підвищення енергоефективності у навчальних закладах, оцінюючи результати окремих заходів та їх окупність. Встановлено, що освітлення, температура та якість повітря в будівлі складають половину всіх факторів, які визначають якість та ефективність освітнього процесу. Водночас існування загроз, серед яких інфляційні процеси, погіршення інвестиційного клімату та можливі військові дії, призвели до призупинення реалізації інфраструктурних проєктів у школах на території дослідження (наприклад, у с. Коростів Сколівської територіальної громади), і загрожують ініційованню нових проєктів.

Респондентами відзначено значну кількість та якість лісових ресурсів як основного енергетичного ресурсу на досліджуваній території. Використання місцевої деревини має низку переваг, включаючи доступність ресурсу, економічність та екологічність. Однак існують і недоліки, серед яких потенційна можливість зрубів лісів за межами розрахункової лісосіки та підвищена ймовірність незаконних рубок. Респонденти характеризують деревину як найкращий варіант для опалення шкіл у сучасних умовах, проте наголошують на важливості забезпечення ефективності її оброблення та використання. Як альтернативу, респонденти розглядають розвиток виробництва паливних брикетів і тріски із деревини.

Згідно з інформацією від органів місцевого самоврядування (Сколівська міська територіальна громада, 2022), основними проблемами шкільної інфраструктури на досліджуваній території є незадовільний стан приміщень, недостатня потужність електропостачання, відсутність централізованого опалення, відсутність енергозберігаючих технологій та необхідність ремонту даху будівель

через протікання. Результати нашого дослідження підтверджують наявність цих проблем, ідентифікуючи незадовільний матеріально-технічний стан шкільної інфраструктури, значний знос основних тепломереж та ін.

Хоча адміністрації шкіл, мешканці громад, вчителі та школярі розуміють необхідність зменшення використання викопного палива, модернізація систем опалення шкіл в Україні відбувається повільно. Однією з головних причин є обмежені бюджети шкіл та місцевих органів влади. Окрім того вважається, що реалізація великих інфраструктурних проєктів із виробництва енергії з альтернативних джерел пов'язана зі значними фінансовими витратами. Проте це не завжди вірно, оскільки впровадження таких об'єктів може призвести до щорічної економії в бюджеті громади та слугувати прикладом успішного використання енергії з місцевих ресурсів, що означає економію на її транспортуванні.

На основі обґрунтування економічної ефективності використання альтернативних джерел енергії, Пудичева (2019) запропонувала розробити державну програму використання альтернативних джерел енергії в навчальних закладах у рамках енергетичної стратегії, в якій посилити вимоги до охорони довкілля, а також передбачити механізм фінансового стимулювання шляхом надання субсидій і пільг для впровадження об'єктів альтернативної енергетики; створити сприятливі умови для залучення приватного капіталу в цю галузь на державному та регіональному рівнях; встановити оптимальну частку державних інвестицій, які будуть спрямовані на впровадження заходів з переходу на використання відновлюваних джерел енергії.

Крім цього, для успішного переходу шкіл в Українських Карпатах до енергетичної автономії перспективним є застосування партисипативного підходу (Balest et al. 2016). Цей підхід включає ідентифікацію та визначення ролей стейкхолдерів і спрямований на врахування різноманітних інтересів та думок стейкхолдерів, що сприяє підвищенню соціальної стійкості та зменшенню конфліктів. Результати дослідження підтверджують необхідність залучення представників органів місцевого самоврядування, відділів освіти, батьків школярів, національних і міжнародних донорів, меценатів, фахівців у галузі теплопостачання, науковців, громадських та неурядових організацій до процесу управлінського прийняття рішень щодо покращення систем опалення шкіл на досліджуваній території, відтак переходу шкіл до енергетичної автономії.

Висновки (Conclusion).

1. Результати дослідження демонструють сильні та слабкі сторони, можливості і загрози, з якими стикаються школи в процесі досягнення енергетичної автономії. Серед сильних сторін визначено

значну кількість лісових ресурсів у регіоні та готовність місцевих органів влади вирішувати енергетичні проблеми шкіл. Ці чинники створюють сприятливі умови для запуску проєктів, орієнтованих на енергоефективність та автономність.

2. Основною виявленою слабкою стороною є дефіцит фінансових ресурсів та інвестицій, що суттєво ускладнює реалізацію проєктів з енергетичної модернізації. Крім того, інфраструктурні обмеження, зокрема зношеність шкільних будівель, систем опалення (особливо півного типу), а також мереж теплопостачання, водопостачання та водовідведення становлять істотні бар'єри для впровадження сучасних енергоефективних технологій.

3. Встановлено можливості, які можуть сприяти переходу до енергетичної автономії, зокрема розвиток виробництва паливних брикетів і тріски. Важливою перспективою є залучення малого та середнього бізнесу до вирішення енергетичних проблем. Крім того, залучення грантових програм та підтримка з боку національних і міжнародних донорів відкривають додаткові фінансові можливості для реалізації енергетичних проєктів.

4. Серед загроз, які можуть вплинути на процес переходу до енергетичної автономії, визначено інфляційні процеси, погіршення інвестиційного клімату, природні катаклізми та можливі військові дії. Значними ризиками також залишаються недостатнє бюджетне фінансування та відсутність кваліфікованих спеціалістів у сфері енергетики, що обмежує технічні можливості для втілення проєктів.

5. Важливою умовою успішної реалізації енергетичних проєктів є співпраця між школами, органами місцевого самоврядування та іншими стейкхолдерами (національними і міжнародними донорами, меценатами, спеціалістами у галузі теплопостачання, науковцями, громадськими та неурядовими організаціями, батьками школярів).

6. Результати дослідження є цінним ресурсом для представників шкіл, місцевих влад, а також політиків, які прагнуть приймати обґрунтовані рішення щодо покращення систем опалення та енергоефективності навчальних закладів.

Подяка (Acknowledgement).

Дослідження проведено в рамках проєкту «Challenges and prospects of schools moving towards energy autonomy» (основний проєкт: Cooperation in Forest Research Ukraine-Switzerland 2021-2024: Capacity building for improved forest conservation and management) під керівництвом Швейцарського федерального інституту снігу, лісу та ландшафтів (WSL) за фінансової підтримки Державного секретаріату з досліджень, освіти та інновацій (Swiss Secretariat for Research, Education and Innovation (SBFI)). Автори висловлюють подяку респондентам опитування у трьох громадах Українських Карпат.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Arkhypova, L., Mandryk, O., Moskalchuk, N., Prykhodko, M., & Radlovska, K. (2021). Renewable energy resources in the system of sustainable development of Carpathian region of Ukraine. *Journal of Physics: Conference Series*, 1781, 1, 012010. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1781/1/012010>
- Balest, J., Hrib, M., Dobsinska, Z., & Paletto, A. (2016). Analysis of the effective stakeholders' involvement in the development of National Forest Programmes in Europe. *International Forestry Review*, 18(1), 13-28. Retrieved from <https://www.jstor.org/stable/44132618>
- Black Sea wood trading (2023). Wood, Wood and more Wood. Retrieved from <http://www.blackseawood.com>
- Chernyavskyy, M., Soloviy, I., Henyk, Y., Kaspruk, O., Henyk, O., Melnykovych, M., Herasym, H., Savka, V. (2011). *Problems of local population legal assess to forest resources and illegal logging in forests of the Carpathians and the West Polissia*. Lviv: Green Cross Society, Liga-Press. [Чернявський, М., Соловій, І., Генік, Я., Каспрук, О., Генік, О., Мельникович, М., Герасим, Г., Савка, В. (2011). *Проблеми доступу місцевого населення до лісових ресурсів та незаконні рубки в лісах Карпат і Західного Полісся*. Львів: Зелений Хрест, Ліра Прес, 256 с.] (in Ukrainian)
- Dashboard of communities of Lviv region (2022). *Demographic situation and gender structure of the population of communities of Lviv region*. Retrieved from <https://apl.loda.gov.ua/portal/apps/sites/#/site/apps/7ba8df57a9b24076b7b4f36a93c498f9/explore> [Дашборд громад Львівської області (2022). *Демографічна ситуація і гендерна структура*] (in Ukrainian)
- Global Forest Watch (2024). *Interactive forest map of Skole region that includes the area of Kozivska, Skolivska and Slavaska territorial communities*. Retrieved from <http://surl.li/tsujqu>
- Golubets, M., Hnativ, P., Kozlovsky, M., Maryskovych, O., Bashta, A.-T., Shpakivska, I., Krok, B., ... & Puka, Ye. (2007) *Conceptual principles of sustainable development of the mountain region* / Ed. M.A. Golubets. Lviv: Polly, pp. 271-286. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis64r_81/cgiirbis_64.exe [Голубець, М., Гнатів, П., Козловський, М., Марушкевич, О., Башта, А.-Т., Шпаківська, І. ... Пука, Є. (2007). *Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону*. Інститут екології Карпат НАН України. Львів, Поллі. 271-286] (in Ukrainian)

- Harnaga, V., & Drachuk, V. (2013). The need for energy-efficient measures in school buildings. *Urban planning and territorial planning*, 49, 110-112. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/MTP_2013_49_14 [Гарнага, В., Драчук, В. (2013). Необхідність проведення енергоефективних заходів у будівлях шкіл. *Містобудування та територіальне планування*, 49, 110-112] (in Ukrainian)
- Henyk, O., Melnykovych, M., Henyl, Ya., & Kaspruk, O. (2011). Socio-economic causes and consequences of unauthorized forest cuts and their impact on welfare of local communities. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 21(19), 113-117. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_19/index.htm [Геник, О., Мельникович, М., Генік, Я., Каспрук, О. (2011). Соціально-економічні причини і наслідки самовільних рубань лісу та їх вплив на добробут місцевих громад. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(19), 113-117] (in Ukrainian)
- Karmazina, O.O. (2017). *State Statistics Service of Ukraine*. Secondary educational institutions of Ukraine at the beginning of the 2016/17 academic year. Statistical bulletin. Retrieved from <https://www.ukrstat.gov.ua> [Кармазіна, О. (2017). *Державна служба статистики України*. Загальноосвітні навчальні заклади України на початок 2016/17 н.р. Статистичний бюлетень.] (in Ukrainian)
- Kholod, N., Denysenko, A., Evans, M., & Roshchanka, V. (2018). Improving Ukraine's Energy Security: the Role of Energy Efficiency (No. PNNL-27447). Pacific Northwest National Lab. (PNNL), Richland, WA (United States). Retrieved from <https://doi.org/10.2172/1566786>
- Khrushch, V. (2017). Project "Mountain school" answers at the time clock. *Mountain school of the Ukrainian Carpathians*, 17, 6-12. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/gsuk_2017_17_4 [Хрущ, В. (2017). Проект «гірська школа» – відповідь на виклики часу. *Гірська школа Українських Карпат*, 17, 6-12] (in Ukrainian)
- Lenevych, O., & Pankiv, Z. (2022). Landuse features in a mountain area and their effects on the process of sylvatisation (Stryi district Lviv region). *Problems of geomorphology and paleogeography*, 1(14), 189-202. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.30970/gpc.2022.1.3861> [Леневич, О., Паньків, З. (2022). Особливості землекористування в гірському районі та їх вплив на процеси сільватизації (на прикладі Стрийського району Львівської області). *Проблеми геоморфології і палеології Українських Карпат і прилеглих територій*, 1(14), 189-202] (in Ukrainian)
- LODA (2022). *The effectiveness of the use of funds in schools of the Lviv region*. Retrieved from https://public.tableau.com/app/profile/orestmyshchyshyn/viz/LODA_MAP_4/Dashboard1 [ЛОДА (2022). Ефективність використання коштів в школах Львівщини] (in Ukrainian)
- Malyk, L. (2012) *Management of organizations in the forest sector*. Kyiv: Condor [Малик, Л. (2012). *Менеджмент організацій у лісовій сфері*. Київ: Кондор, 408 с.] (in Ukrainian)
- Mandryka, A., Romas, A., & Sapozhnikov, S. (2017). The rational energy consumption for the secondary school. Sumy: Sumy State University. Retrieved from <https://essuir.sumdu.edu.ua/bitstream-download/123456789/5523/1/Mandryka.pdf;jsessionid=6E2FBE3256AB85BD2373214D9C594BF6> [Мандрика, А., Ромась, А., Сапожніков, С. (2017). Аналіз ефективності споживання енергоносіїв загальноосвітньою школою] (in Ukrainian)
- Melnykova, O., Prakhovnyk, A., Hoistad, D., Inshekov, Y., Deshko, V., & Konechenkov, A. (2004). *Energy saving*. Manual on the rational use of resources and energy for secondary school students. Second edition corrected and supplemented. Kyiv: Kyiv Publishing and Information Center. 104 p. Retrieved from <https://wwfeu.awsassets.panda.org/downloads/energyefficiency.pdf> [Мельникова, О., Праховник, А., Даг Арне Хойстад, Іншеков, Є.М., Дешко, В.І., Конеченков, А.Є. (2004). *Енергозбереження*. Посібник з раціонального використання ресурсів та енергії для учнів загальноосвітньої школи, 104 с.] (in Ukrainian)
- Melnykovych, M., & Soloviy, I. (2014). Contribution of forestry to wellbeing of mountain forest dependent communities' in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 233-241. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/164>
- Omelchenko, O. (2022). *Ukraine's renewable energy sector before, during and after the war*. Razumkov center. Retrieved from <https://razumkov.org.ua/en/articles/ukraines-renewable-energy-sector-before-during-and-after-the-war> [Омельченко, В. (2022). *Як повернути під контроль України Запорізьку АЕС й до чого тут транзит газу?* Разумков центр] (in Ukrainian)
- Passport of the region (2021). Skole region. Population and migration. Retrieved from http://database.ukrcensus.gov.ua/regionalstatistics/regiontree.files/asp_tables_uk/245.htm [Паспорт регіону (2021). Сколівський район. Населення та міграція] (in Ukrainian)
- Petrus, V. & Pankevych, O. (2016). *Evaluation of measures to increase the energy efficiency of educational institutions*. Vinnytsia: Vinnytsia National Technical University. Retrieved from <http://ir.lib.vntu.edu.ua/bitstream/handle/123456789/31066/71068.pdf?sequence=2> [Петрусь, В., Панкевич, О. (2016). *Оцінка заходів з підвищення енергоефективності закладів освіти*. Вінниця: Вінницький національний технічний університет] (in Ukrainian)
- Prozorro (2018) Information about the tender "Capital repair (energy saving measures) of the Lavochenska school No. 1". Retrieved from <https://prozorro.gov.ua/tender/UA-2018-11-21-001842-c> [Prozorro (2018).

- Інформація про тендер «Капітальний ремонт (заходи з енергозбереження). Лавоченської ЗОШ І-ІІ ст. №1»] (in Ukrainian)
- Pudychева, G. (2019). Justification of the effectiveness of the use of renewable energy sources in secondary schools. *Problems of education*, 1, 6 p. Retrieved from <https://surl.li/bumlyb> [Пудичева, Г. (2019). Обґрунтування ефективності застосування відновлюваних джерел енергії в загальноосвітніх школах України. *Проблеми освіти*, 1, 6 с.] (in Ukrainian)
- Reliefweb (2022). *Ukraine: More than half of children missing out on education due to blackouts – Survey*. Retrieved from <https://reliefweb.int/report/ukraine/ukraine-more-half-children-missing-out-education-due-blackouts-survey>
- Resolution of the CMU (2021). *On the approval of the National Economic Strategy for the period until 2030*. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/179-2021-%D0%BF#Text> [Постанова КМУ (2021). *Про затвердження Національної економічної стратегії на період до 2030 року*] (in Ukrainian)
- Shuldan, L., Gladyshev, D., & Shtendera, A. (2013). Educational buildings and complexes. Education requirements and energy efficiency. *Building Constructions*, 77, 95-102. Retrieved from <https://surl.li/sxjklh> [Шулдан, Л., Гладішев, Д., Штендера, А. (2013). Навчальні будівлі і комплекси. Вимоги освіти та енергоефективність. *Будівельні конструкції*, 77, 95-102] (in Ukrainian)
- Skolivska urban territorial community (2022). Socio-economic analysis for the development of the Strategy project of the Skolivska city territorial community of Lviv region. 68 p. Retrieved from https://rada.info/upload/users_files/04056262/c09f5bfcbd4939c78c38563729ec0340.doc [Сколівська міська територіальна громада (2022). Соціально-економічний аналіз для розробки проекту Стратегії Сколівської міської територіальної громади Львівської області. 68 с.] (in Ukrainian)
- Soloviy, I., Melnykovych, M., Gurung, A.B., Hewitt, R.J., Ustych, R., Maksymiv, L., ... & Kaflyk, M. (2019). Innovation in the use of wood energy in the Ukrainian Carpathians: Opportunities and threats for rural communities. *Forest Policy and Economics*, 104, 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.001>
- State Agency on Energy Efficiency and Energy Saving of Ukraine (2024). *Legislation*. Retrieved from <https://sae.gov.ua/npas> [Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України (2024). *Нормативно-правові акти*] (in Ukrainian)
- Zhuk, P., & Bashynska, Yu. (2016). Evaluation of renewable energy capacity of Ukraine's Carpathian region and its exploitation. *Socio-economic problems of the modern period of Ukraine*, 6(122), 33-36. Retrieved from <http://nbuv.gov.ua/UJRN/>

sepsru_2016_6_9 [Жук, П., Башинська, Ю. (2016). Оцінка потенціалу відновлюваної енергетики Карпатського регіону України та його використання. *Соціально-економічні проблеми сучасного періоду України*, 6(122), 33-36] (in Ukrainian)

Transition to energy autonomy of schools in the Carpathians region: analysis of stakeholders' opinions

O. Pelyukh¹, I. Seidl², A. Björnsen³

The relevance of this study lies in the need to ensure energy autonomy for schools in the Carpathian region, a crucial task given current energy challenge. This is particularly important in view of the fact that many Ukrainian school buildings are old and energy-intensive, consuming significant amounts of energy – a situation that has been further complicated by the war. Despite national efforts to promote energy efficiency and renewable energy sources, Ukraine remains highly energy-intensive. Rising tariffs and electricity deficits caused by military attacks highlight the importance of energy autonomy for educational institutions.

This article aims to identify the strengths, weaknesses, opportunities and threats, as well as stakeholders and their roles in the transition of schools to energy autonomy. To achieve this aim, a questionnaire was developed, and face-to-face semi-structured interviews were conducted with 107 respondents in three communities of the Ukrainian Carpathians: Kozivska, Skolivska and Slavka. These communities are located in the southern part of Lviv oblast which is characterized by fragmented terrain and a population of nearly 46,000, predominantly rural (71.7%). All the 57 settlements of this area are considered mountainous and are heavily reliant on forest resources. The survey covered 42 schools and their branches. The respondents included school administrators (48.7%), teachers (23.1%), parents (11.5%), representatives of the education department (7.7%) and school

¹ Oksana Pelyukh – PhD, senior lecturer at the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Irmi Seidl – Professor, Dr., Head of Research Unit Economics and Social Sciences, Swiss Federal Research Institute WSL, 111 Zürcherstrasse, Birmensdorf, 8903, Switzerland. E-mail: irmi.seidl@wsl.ch ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7740-7875>

³ Astrid Björnsen – Dr., Co-Programme Manager Extremes Stab, Swiss Federal Research Institute WSL, 111 Zürcherstrasse, Birmensdorf, 8903, Switzerland. E-mail: astrid.bjoernsen@wsl.ch ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2534-0875>

maintenance staff (7.7%). The majority of respondents (66%) were aged 36-55, with 80.3% holding higher education degrees.

Several strengths were identified, including a sufficient amount of forest resources and the willingness of local authorities to address schools' energy issues. The main weakness is the lack of financial resources and investments, which complicates the implementation of energy modernisation projects. Infrastructure constraints, such as the layout of school buildings and heating systems, also pose significant obstacles. Many buildings are old and require insulation and repairs. There is substantial wear and tear on the heating, water and sewage networks.

Opportunities that can facilitate the transition to energy autonomy include developing the production of wood briquette, pellets and chips using local wood. Another opportunity is involving small and medium-sized businesses in solving energy issues. Participation in grant programmes can provide additional funding for modernising heating systems. Attracting financing from regional/state budgets and leveraging local and international initiatives are also opportunities.

The identified threats include inflationary processes, a deteriorating investment climate, and the significant risk associated with potential military action, which has already resulted in the suspension of planned projects. Insufficient budget funding also poses a significant threat. Other risks include financial/price instability, natural disasters, worsening demographic indicators and a lack of energy sector specialists. Infrastructure problems such as poor road networks hinder the optimisation of the school network.

The transition to energy autonomy for schools in the region is possible with adequate funding and infrastructure improvements. Collaboration between schools, local authorities and other stakeholders is essential to ensure a stable and efficient energy supply. Leveraging grant programmes and fostering local business development are key to solving the complex problems associated with school heating systems. These findings provide a valuable insight for policy-makers and local decision-makers.

Key words: mountain communities; survey; local energy resources; SWOT analysis; school infrastructure.

6. ДЕРЕВООБРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ



Наукові праці Лісівничої академії наук України
Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412517>
Article received 2025.01.23
Article revised 2025.02.03
Article accepted 2025.06.09
Article published 2025.08.29

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Huber
yuriy.huber@nltu.edu.ua

103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674.047

Дослідження якісних характеристик дубових заготовок висушених у різного типу сушильних камерах

Ю. М. Губер¹, З. П. Копинець², О. І. Олійчук³, Ж. Я. Гуменюк⁴, Ю. В. Рубінський⁵

Сушіння деревини займає важливе місце у виробництві продукції деревообробної галузі, оскільки якісні показники пиломатеріалів чи заготовок після камерного сушіння мають вирішальне значення для естетичних та експлуатаційних показників готових виробів.

Об'єктом дослідження були заготовки пиляні з деревини дуба звичайного (*Quercus robur* L.) розміром 50×50×1000 мм. Їхнє сушіння проводили у конвективній сушильній камері фірми *Katres tyny KAD-1×6S* та вакуумно-конвективній сушильній камері фірми *Hildebrand-Brunner* місткістю приблизно 50 м³ висушуваних сортиментів.

Встановлено вплив способу сушіння на якісні показники заготовок пиляних з деревини дуба звичайного. Задана кінцева вологість партії ($W_{к.зад.}$) становила 8%. Зокрема, мінімальний і максимальний показники вологості з вибірки після сушіння у конвективній сушильній камері становили: $W_{к.мін} = 4,7\%$, $W_{к.мах} = 8,8\%$; після сушіння у вакуумно-конвективній сушильній камері – $W_{к.мін} = 5,0\%$, $W_{к.мах} = 10,6\%$. Фактична середня кінцева вологість ($W_{к.факт.}$) у штабелі після сушіння у конвективній сушильній камері становила 7,0%, після сушіння у вакуумно-конвективній сушильній камері – 7,6%. Середньоквадратичне відхилення кінцевої вологості заготовок після сушіння у конвективній сушильній камері становило 0,799%, після сушіння у вакуумно-конвективній сушильній камері – 0,958%.

¹ Губер Юрій Мирославович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2678-511X>

² Копинець Зоя Павлівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: zoya.kopynets@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8977-6953>

³ Олійчук Оксана Ігорівна – магістр, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lan@nltu.edu.ua

⁴ Гуменюк Жанна Ярославівна – старший викладач кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини та безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: zhanna.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9453-5812>

⁵ Рубінський Юрій Валерійович – аспірант, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: yuriy.rubinskyi@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-3111-7989>

Отримані значення показників якості сушіння дубових заготовок у конвективній та конвективно-вакуумній сушильних камерах засвідчили, що за досліджуваних умов у конвективній сушильній камері процес сушіння відбувається рівномірніше.

Ключові слова: конвективна сушильна камера; вакуумно-конвективна сушильна камера; дуб звичайний; пиломатеріал; кінцева вологість; залишкові напруження; сушіння.

Вступ (Introduction).

Сушіння деревини займає важливе місце у виробництві продукції деревообробної галузі. Якісні показники пиломатеріалів чи заготовок після камерного сушіння мають вагомe значення для естетичних та експлуатаційних показників готових виробів. Вони у найширшому сенсі відносяться до параметрів, заданих нормативними документами або індивідуальним замовленням, які найкращим чином описують придатність деревини для подальшого застосування у процесах деревообробки та в меблевому виробництві (Андрашек, Гуменюк, 2003; Білей, Копинець, Лабай, 2010; Пінчевська, Чаусов, 2008).

У деревообробній промисловості України для виготовлення клеєних щитів широко використовують деревину дуба звичайного (Маєвський та ін., 2024; Маєвський, Копинець, Мороз, 2024). Оскільки дуб відносять до порід, які важко піддаються процесу висушування, у результаті якого досить складно досягти заданих якісних показників пилопродукції, дослідження процесів сушіння дубових пиломатеріалів чи заготовок залишається доволі актуальним (Білей, Копинець, Лабай, 2010; Câmprean, Lazarescu, 2016; Brunner-Hildebrand, 1987).

Якість сушіння визначають за певною кількістю пиломатеріалів (заготовок), відібраних з висушеної партії на основі конкретних показників. Кількість пиломатеріалів (заготовок), відібраних з висушеної партії, залежить від обсягу завантаження сушильної камери і становить від 20 до 200 зразків (ДСТУ 4921:2008). За цим державним стандартом, до показників якості сушіння деревини належать: відповідність середньої вологості висушених пиломатеріалів (заготовок) в партії заданій кінцевій вологості – $W_{\text{к}}$, %; величина відхилень середньої кінцевої вологості партії пиломатеріалів (заготовок) від заданої кінцевої вологості – $\Delta W_{\text{к}}$, %; відхилення кінцевої вологості окремих пиломатеріалів (заготовок) в партії від їхньої заданої кінцевої вологості – $\pm 2\sigma_{W_{\text{к}}}$, %; величина залишкових напружень у висушених пиломатеріалах (заготовках) – f_{σ} , %.

Згідно з положеннями «Керівних технічних матеріалів з технології камерного сушіння пиломатеріалів» (Білей та ін., 2010), до показників якості сушіння деревини, окрім зазначених вище, віднесено також перепад вологості за товщиною пиломатеріалів (заготовок) – ΔW_s , % та допустимі дефекти сушіння.

Встановлення вологості пиломатеріалів (заготовок) і, відповідно, таких показників якості сушіння як середня вологість висушених пиломатеріа-

лів (заготовок) в штабелі, відхилення кінцевої вологості окремих пиломатеріалів (заготовок) в партії від заданої їхньої кінцевої вологості на сучасному етапі розвитку вимірювальних приладів, не є складним. Для цього використовують діелектричні (ємнісні) та кондуктометричні вологоміри, які з достатньою точністю дають змогу встановити вологість пилопродукції.

Конвективне та вакуумно-конвективне сушіння є промисловими способами сушіння деревини (Білей, Приставський, 2012; Espinoza, Bond, 2016; Korynets, Shchupakivsky, 2014; Teischinger et al., 2023). Порівняльний аналіз якості висушених різними способами пиломатеріалів чи заготовок у виробничих умовах є доволі актуальним, оскільки дасть змогу знайти шляхи удосконалення процесів сушіння деревини з погляду отримання високоякісних напівфабрикатів для подальшої обробки.

Мета дослідження полягає у встановленні впливу способу сушіння на якісні показники заготовок пиляних з деревини дуба звичайного. Для досягнення поставленої мети дослідження здійснено дослідні сушіння пиляних заготовок з деревини дуба звичайного у виробничих умовах у конвективній та вакуумно-конвективній сушильних камерах; експериментально встановлено якісні показники пиляних дубових заготовок після сушіння у цих типах сушильних камер.

Об'єкти та методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процес сушіння заготовок пиляних з деревини дуба звичайного (*Quercus robur*) у сушильних камерах різного типу. Предмет дослідження – якісні показники заготовок пиляних з деревини дуба звичайного після завершення сушіння.

Якість сушіння сортиментів визначатимемо за такими показниками: середня кінцева вологість заготовок в штабелі $W_{\text{к.факт.}}$, %; середньоквадратичне відхилення вологості S , %; відхилення вологості окремих заготовок від середнього значення в штабелі; значення перепаду вологості за товщиною заготовок ΔW , %; умовний показник залишкових напружень (відносна деформація зубців силової секції f_s , %); кількість заготовок з вибірки з торцевими та пластевими тріщинами; кількість заготовок з жолобленням та його величина; кількість заготовок зі зміненими колірними характеристиками.

З метою визначення показників якості процесу сушіння дубових заготовок різними способами було проведено два дослідні висушування: у конвективній сушильній камері фірми Katres типу KAD-1×6S та вакуумно-конвективній сушильній

камері фірми Hildebrand-Brunner місткістю приблизно 50 м³ висушуваних сортиментів.

Дослідному сушінню підлягали заготовки пиляні з деревини дуба розміром 50×50×1000 мм. Початкова абсолютна вологість заготовок W_p , які підлягали сушінню, становила 65-75%. Її визначали за допомогою кондуктометричного вологоміра Logica LG-43.

Заготовки укладали у штабелі розміром 1200×1200×1000 мм на прокладках завтовшки 22 мм. Після цього штабелі автотранспортом завантажували безпосередньо у сушильну камеру KAD-1×6S та на рейковій візці вакуумно-конвективної сушильної камери Hildebrand-Brunner. В обидві камери було завантажено однакову кількість штабелів – по 72 шт. Сушіння заготовок відбувалося до заданої кінцевої вологості $W_k = 8\%$.

Заготовки у подальшому використовують для виготовлення клеєних щитів, тому їх висушували з використанням режиму, що забезпечує отримання пилопродукції другої категорії якості сушіння. Застосовували багатоступеневі режими сушіння, які передбачали операції початкового прогрівання, сушіння, кінцевої тепловологообробки (кондиціювання) та охолодження. У конвективній сушильній камері температура агента сушіння на першому ступені режиму становила $t_c = 33^\circ\text{C}$, рівноважна вологість – $W_p = 16\%$; на останньому ступені режиму сушіння температура агента сушіння становила $t_c = 60^\circ\text{C}$, а градієнт сушіння – $TG = 2,4$.

У вакуумно-конвективній сушильній камері температура агента сушіння на першому ступені режиму становила $t_c = 40^\circ\text{C}$, рівноважна вологість – $W_p = 14\%$; на останньому ступені режиму сушіння

температура агента сушіння становила $t_c = 63^\circ\text{C}$, а рівноважна вологість – $W_p = 5,4\%$.

Відхилення кінцевої абсолютної вологості від заданої є одним із визначальних чинників, який впливає на якість сушіння деревини. Вологість деревини визначали згідно з ДСТУ 4922:2008.

Вологість дубових заготовок після вивантаження з сушильної камери та витримування на складі з контрольованим мікрокліматом впродовж 48 год вимірювали з використанням ємнісного вологоміра MERLIN HM9 WS-25. Вимірювання проводили у трьох місцях заготовки (10 см від торців та посередині) у партії із 228 шт., які висушували у конвективній камері та у 200 шт. – після вакуумно-конвективного сушіння.

Важливим показником якості висушених заготовок є перепад вологості за товщиною, оскільки його високі значення можуть свідчити про наявність вологісних напружень та коротку тривалість кінцевої тепловологообробки.

З метою визначення перепаду кінцевої вологості за товщиною відібрано десять заготовок, висушених у вакуумно-конвективній та десять – у конвективній сушильних камерах. З кожної відібраної заготовки посередині їхньої довжини випилювали по дві секції вологості завтовшки 8 мм та одну секцію – для встановлення відносної деформації зубців силової секції. У подальшому одну із секцій вологості використовували для встановлення кінцевої вологості відібраних заготовок (рис. 1 а, б), а іншу розпилювали за товщиною на шість шарів завтовшки 8-9 мм (рис. 1 с). Кінцеву вологість відібраних заготовок і вологість кожного шару визначали ваговим методом згідно з ДСТУ 4922:2008.

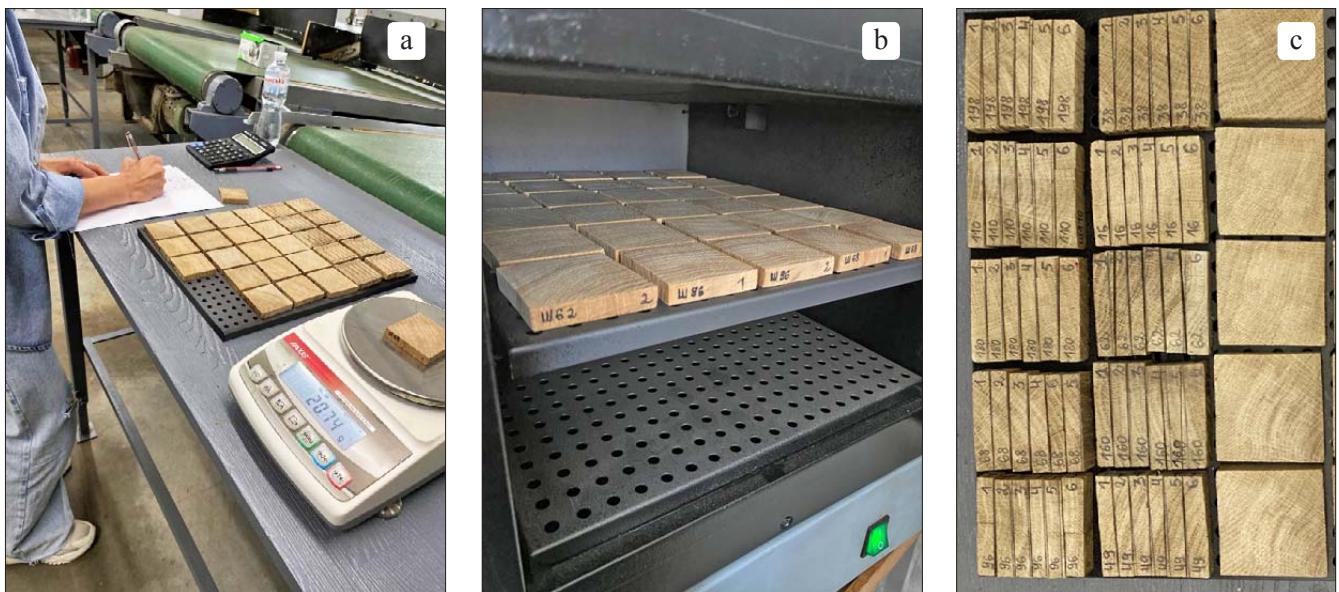


Рис. 1. Визначення пошарової вологості заготовок з деревини дуба звичайного ваговим методом: а – зважування секцій вологості; б – розміщення секцій вологості в сушильній шафі; с – секції для визначення пошарової вологості дубових заготовок

Fig. 1. Determination of layer-by-layer moisture content of European oak wood blanks using the weight method: а – weighing of moisture sections; б – Arranging moisture sections in a drying chamber; с – sections for determining the layer-by-layer moisture content of oak blanks

Секції зважували на цифровій вазі AXIS з точністю $\pm 0,001$ г та завантажували у сушильну шафу СНОЛ 58/350. Температуру у сушильній шафі підтримували на рівні $103 \pm 1^\circ\text{C}$. Через 16 год зразки виймали та зважували, після чого повторно поміщали у сушильну шафу на дві години. Після чергового зважування порівнювали масу зразків з попереднім значенням. Якщо маса секції не відрізнялася від попереднього значення більше ніж на 0,001 г, то її приймали як масу деревини в абсолютно сухому стані.

Для визначення показника внутрішніх напружень висушених заготовок за відносною деформацією зубців силових секцій використовували методу згідно з положеннями ДСТУ 4921:2008.

Для проведення дослідження, поряд зі секціями для визначення пошарової вологості, вирізали секції для встановлення відносної деформації зуб-

ців силової секції. Секції висушували у сушильній шафі протягом 16 год за температури $103 \pm 1^\circ\text{C}$. Після сушіння до абсолютно сухого стану випилювали силові секції (рис. 2, а), згідно схеми (рис. 2, б). Відразу після розкрою зубці секції можуть вигнутися назовні або всередину. Для кожної секції штангенциркулем вимірювали товщину T і віддаль T_1 між зовнішніми гранями зубців секції з точністю до 0,1 мм. За умови рівності величин T і T_1 напруження в заготовках майже відсутні.

Відносну деформацію зубців секції розраховували за формулою (Білей та ін., 2010; ДСТУ 4921:2008):

$$f_s = (T - T_1) / (2 \cdot l) \cdot 100, \% \quad (1)$$

За кінцевий результат приймали середнє арифметичне значення відхилення зубців усіх контрольних секцій.

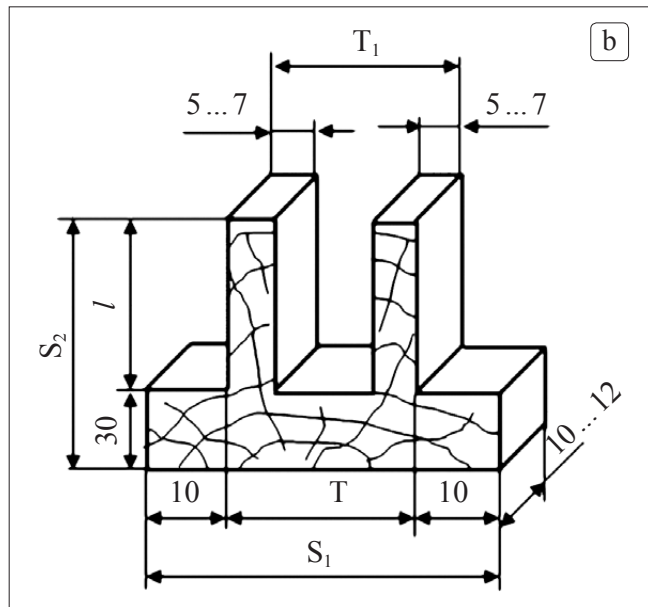


Рис. 2. Секція для дослідження умовного показника залишкових напружень: а – випилювана секція; б – схема розкрою секцій напружень для пиломатеріалів (заготовок) за товщини більше 40 мм:

S_1 – товщина пиломатеріалів (заготовок), мм; S_2 – ширина пиломатеріалів (заготовок), мм; T – товщина секції, мм; T_1 – віддаль між зовнішніми гранями зубців, мм; l – довжина зубця, мм

Fig. 2. Section for studying the conditional residual stress index: а – sawn section; б – diagram of cutting sections of stress for sawn timber (blanks) with a thickness of more than 40 mm:

S_1 – thickness of sawn timber (blanks), mm; S_2 – width of sawn timber (blanks), mm; T – section thickness, mm; T_1 – distance between the outer edges of prongs, mm; l – prong length, mm

Наявність тріщин і зміни кольору визначали візуально. Поздовжнє жолоблення (y %) визначали співвідношенням максимальної стріли прогину до довжини заготовки. З партії заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері з вибірки 200 шт. виявлено лише п'ять зразків з жолобленням, а з конвективної сушильної камери – чотири зразки. Вимірювання стріли прогину здійснювали з використанням плоскої поверхні та штангенциркуля (рис. 3).

Результати дослідження (Results).

За результатами вимірювань ємнісним вологоміром MERLIN HM9 WS-25 вологості у 228 шт. заготовок з деревини дуба, висушених у конвективній сушильній камері, вологість (W_k) коливалася від 4,7 до 8,8%. Середня кінцева вологість становила 7,0%.

За результатами статистичної обробки експериментальних даних кінцевої вологості заготовок побудовано гістограму та полігон розподілу (рис. 4).



Рис. 3. Вимірювання стріли прогину заготовки
Fig. 3. Measuring the deflection of the blank

У результаті вимірювань вологості 200 шт. заготовок з деревини дуба, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, встановлено, що вологість W_k змінювалася від 5,0 до 10,6%. Середня кінцева вологість становила 7,6%. За результатами статистичної обробки експериментальних даних кінцевої вологості заготовок W_k побудовано гістограму та полігон розподілу (рис. 5).

Задана кінцева вологість заготовок W_k у штабелі становить 8%. Фактична середня кінцева вологість дубових заготовок у штабелі після процесу сушіння у конвективній сушильній камері становила 7,0, у вакуумно-конвективній – 7,6%. Цей показник відповідає заданому за II категорією якості ($\Delta W = \pm 1,5\%$).

Середньоквадратичне відхилення S кінцевої вологості заготовок після сушіння у конвективній сушильній камері рівне 0,799 і є меншим, ніж значення цього показника після сушіння заготовок у вакуумно-конвективній камері ($S = 0,958$). Отже, після сушіння у конвективній сушильній камері спостережено менші відхилення від середньої вологості.

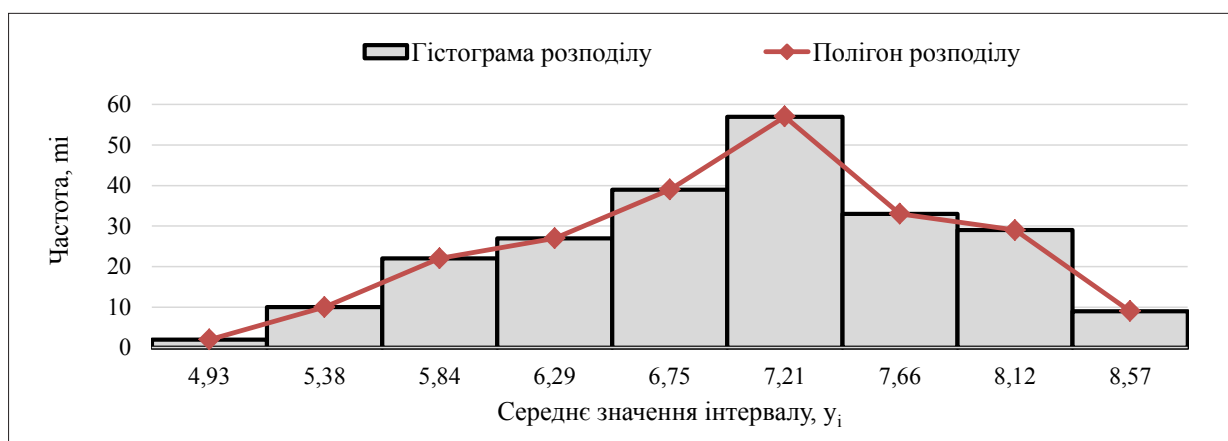


Рис. 4. Полігон розподілу кінцевої вологості заготовок з деревини дуба висушених у конвективній сушильній камері
Fig. 4. Distribution polygon of the final moisture content of oak wood blanks dried in a convection drying chamber

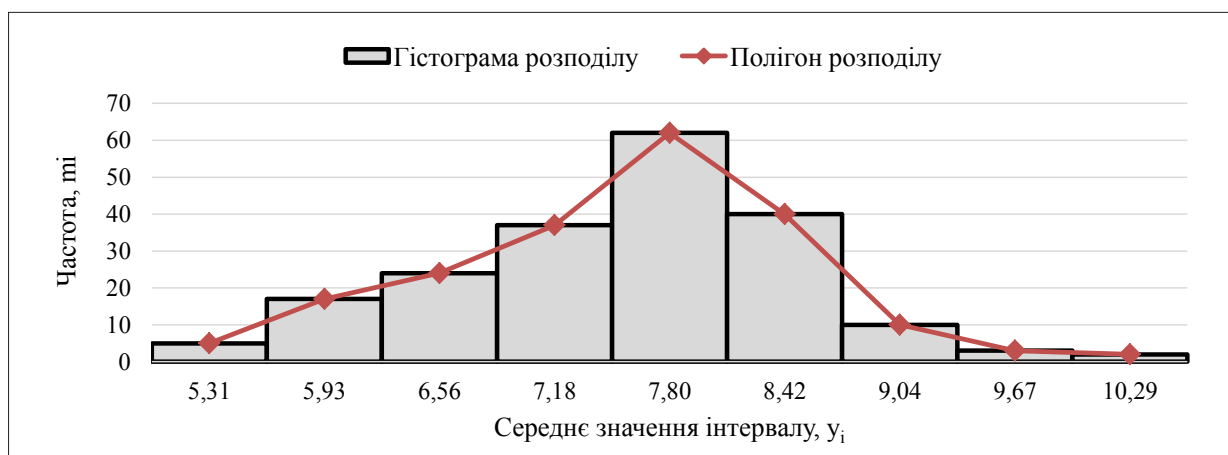


Рис. 5. Полігон розподілу кінцевої вологості заготовок з деревини дуба висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері

Fig. 5. Distribution polygon of the final moisture content of oak wood blanks dried in a vacuum-convection drying chamber

Нормативний показник відхилення вологості окремих заготовок для II категорії якості від заданої кінцевої вологості $W_{к.зад.} = 8\%$ становить $\Delta W_{к.зад.} = \pm 1,5\%$. Однак, у конвективній сушильній камері 56 заготовок з вибірки у 228 шт. мають вологість нижчу $W_{к.зад.} \leq 6,4\%$, що не відповідає нормативному показнику за II категорією якості. Заготовок з вологістю $W_{к.зад.} \geq 9,6\%$ виявлено не було. У вакуумно-конвективній сушильній камері також частина заготовок не відповідають вимогам II категорії якості сушіння: 30 заготовок мали вологість нижчу $W_{к.зад.} \leq 6,4\%$ і п'ять заготовок мали вологість вищу $W_{к.зад.} \geq 9,6\%$.

Нормативний показник відхилення вологості окремих заготовок для II категорії якості від середнього по партії за кінцевої вологості $W_{к.факт.} = 6 \dots 8\%$

становить $\pm 1,5\%$. Однак, у конвективній сушильній камері шість заготовок з вибірки у 228 шт. мали вологість нижчу $W_{к.факт.} \leq 5,4\%$ і дві заготовки мали вологість вищу ($W_{к.факт.} \geq 8,6\%$), що не відповідає нормативному показнику за II категорією якості. У вакуумно-конвективній сушильній камері також частина заготовок не відповідає вимогам II категорії якості сушіння: 13 заготовок мали вологість нижчу ($W_{к.факт.} \leq 6,0\%$) і шість заготовок мали вологість вищу ($W_{к.факт.} \geq 9,2\%$).

Величина перепаду вологості за товщиною заготовок не перевищує $1,2\%$ після сушіння дубових заготовок у конвективній камері (рис. 6, а), а максимальний перепад вологості в заготовках, висушених у вакуумно-конвективній камері становить $2,6\%$ (рис. 6, б).

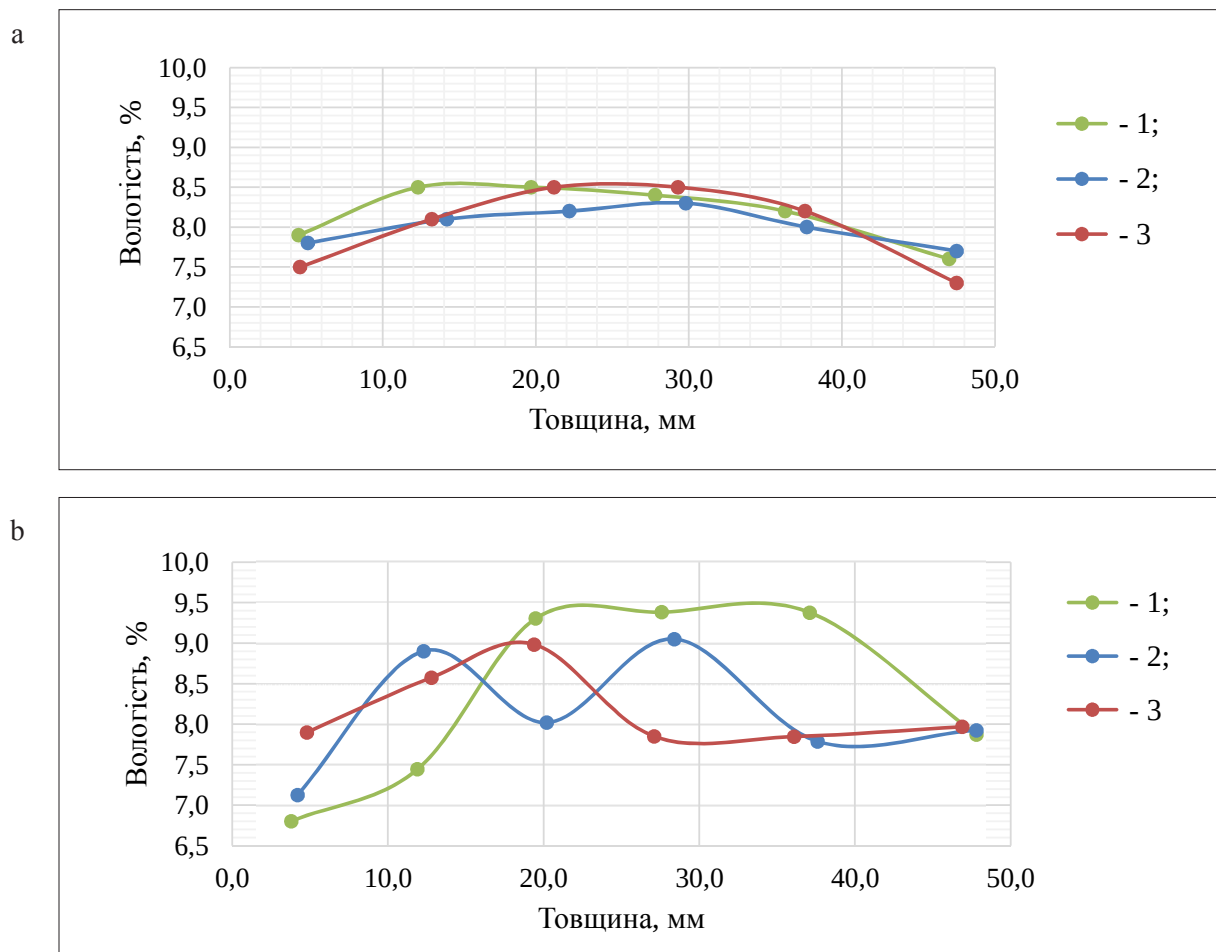


Рис. 6. Розподіл пошарової вологості в заготовках: а – після сушіння в конвективній сушильній камері (1 – зразок №199; 2 – зразок №132; 3 – зразок №145); б – після сушіння в вакуумно-конвективній сушильній камері (1 – зразок №180; 2 – зразок №110; 3 – зразок №62)

Fig. 6. Distribution of layer-by-layer moisture content in the blanks: a – after drying in a convection drying chamber (1 – specimen No. 199; 2 – specimen No. 132; 3 – specimen No. 145); b – after drying in a vacuum convection drying chamber (1 – specimen No. 180; 2 – specimen No. 110; 3 – specimen No. 62)

Додатне значення показника відносної деформації свідчить про стискаючі напруження, від'ємне – про розтягуючі напруження у зразку. Умовний показник залишкових напружень (від-

носна деформація зубців силових секцій) f_s для зразків, висушених у конвективній сушильній камері, не перевищує $2,00\%$, що відповідає II категорії якості сушіння. Усереднене значення за

модулем умовного показника залишкових напружень для зразків, висушених у конвективній сушильній камері, становить 0,66%. Умовний показник залишкових напружень (відносна деформація зубців силових секцій) f_{σ} для зразків висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері для дев'яти зразків не перевищує 2,00%, що відповідає II категорії якості сушіння, а одного зразка становить 2,66%, що відповідає III категорії якості сушіння. Однак, усереднене значення за модулем

умовного показника залишкових напружень для зразків, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, становить 1,20%. Отримані результати показують, що в процесі сушіння заготовок за даних умов дослідження у вакуумно-конвективній сушильній камері залишкові напруження більші, ніж у конвективній сушильній камері (рис. 7).

Отже, отримано такі значення показників якості сушіння дубових заготовок у конвективній та конвективно-вакуумній сушильних камерах (табл.).

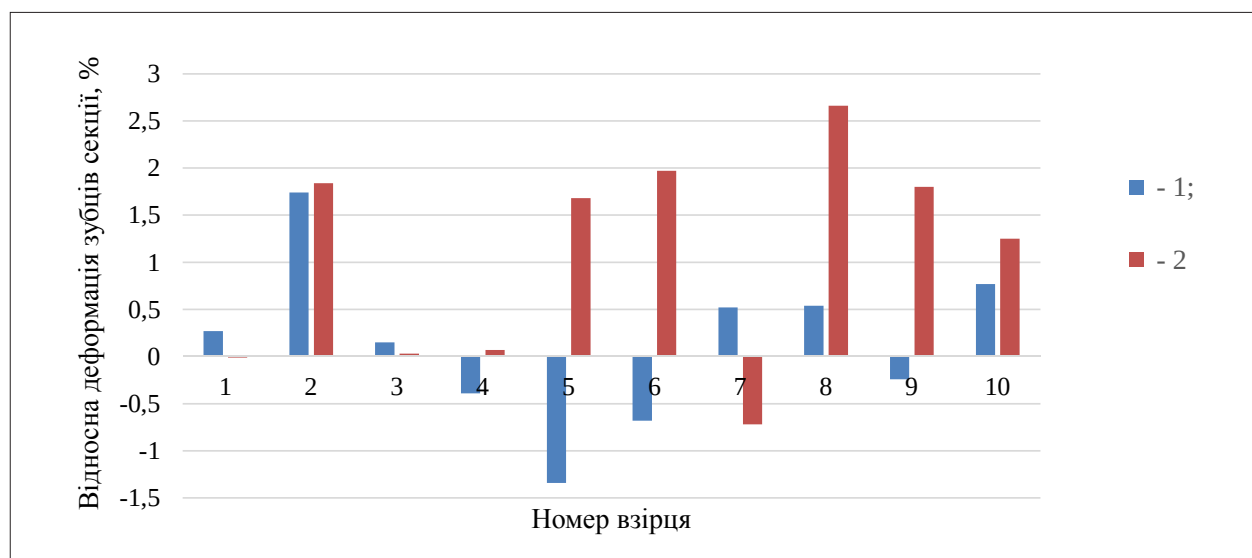


Рис. 7. Відносна деформація зубців силової секції: 1 – зразки, висушені у конвективній сушильній камері; 2 – зразки, висушені у вакуумно-конвективній сушильній камері

Fig. 7. Relative deformation of the prongs of the stress section: 1 – specimens dried in a convection drying chamber; 2 – specimens dried in a vacuum convection drying chamber

Таблиця. Показники якості заготовок з деревини дуба звичайного розміром 50×50×1000 мм після процесу сушіння

Table. Quality indicators for oak wood blanks measuring 50×50×1,000 mm after the drying process

Показники	У конвективній сушильній камері		У вакуумно-ковективній сушильній камері	
	min	max	min	max
Задана кінцева вологість партії, $W_{\text{к.зад.}}$, %	8,0		8,0	
Мінімальний ($W_{\text{к.мін}}$, %) та максимальний ($W_{\text{к.макс}}$, %) показники вологості з вибірки	4,7	8,8	5,0	10,6
Фактична середня кінцева вологість у штабелі, $W_{\text{к.факт.}}$, %	7,0		7,6	
Кількість зразків в партії, що не відповідають нормативному значенню за показником $\Delta W_{\text{к.зад.}}$ для II категорії якості сушіння ($\Delta W_{\text{к.зад.}} = \pm 1,5\%$), шт.	$\leq 6,4\%$	$\geq 9,6\%$	$\leq 6,4\%$	$\geq 9,6\%$
	56	0	30	5
Кількість зразків в партії, що не відповідають нормативному значенню за показником $\Delta W_{\text{к.факт.}}$ для II категорії якості сушіння ($\Delta W_{\text{к.факт.}} = \pm 1,5\%$), шт.	$\leq 5,4\%$	$\geq 8,6\%$	$\leq 6,0\%$	$\geq 9,2\%$
	6	2	13	6
Середньоквадратичне відхилення кінцевої вологості, S, %	0,799		0,958	
Умовний показник залишкових напружень – f_{σ} , %	0,66		1,20	

Після візуального огляду заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, на наявність у них тріщин у партії з 228 шт. виявлено сім заготовок з торцевими тріщинами. Після візуального огляду заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, на наявність в них тріщин у партії з 200 шт. виявлено 40 заготовок з торцевими тріщинами (рис. 8). Допустима глибина торцевої тріщини в умовах виробництва не повинна перевищувати 10 мм. Усі торцеві тріщини в заготовках були в межах допустимої норми, поверхневих тріщин виявлено не було.



Рис. 8. Торцеві тріщини в заготовках з дерева дуба

Fig. 8. End check in oak wood blanks

Результати експериментальних досліджень показали, що поздовжнє жолоблення заготовок після сушіння в конвективній камері становило від 0,79 до 1,44%, тоді як після сушіння у вакуумно-конвективній камері – від 0,53 до 1,99%. Кількість пожолоблених заготовок після процесу сушіння не перевищила 2,50%, що можна прийняти як задовільний результат, оскільки в подальшому їх торцюють і використовують у виробництві клеєних щитів.

Одним із дефектів сушіння деревини листяних порід є темні ділянки на висушених і в подальшому – на струганих заготовках. Зазвичай плям не видно на необробленій поверхні, вони стають помітними лише після калібрування. У цьому дослідженні після сушіння заготовок з деревини дуба звичайного у конвективній та вакуумно-конвективній камерах візуально суттєвих змін кольору не спостерігалось.

Дискусія (Discussion).

Внутрішні напруження в деревині як у процесі сушіння, так і після його завершення є визначальним чинником, який впливає на якість висушеного матеріалу. Величину внутрішніх напружень під час сушіння пиломатеріалів (заготовок) в літературних джерелах рекомендовано встановлювати за щільною, що виникла між двома пластинками розколотої напіл силової секції (Yin, & Liu, 2021) або за відносною деформацією зубців силової секції (Білей та ін., 2010; ДСТУ 4921:2008; Simpson, 1991). Застосування зубчастих силових секцій дає змогу визначити навіть незначні напруження та встановити їхній вид (Пінчевська, Чаусов, 2008). Згин зубців назовні вказує на наявність розтягуючих, а згин всередину – стискаючих напружень у поверхневих шарах сортименту (Simpson, 1991).

Перепад вологості за товщиною вказує на різницю у рівнях вологості у поверхневих і внутрішніх шарах сортименту і покаже наскільки рівномірно відбувається процес сушіння в його середині. Якщо перепад вологості великий, то це свідчить про нерівномірність сушіння сортименту і може призвести до деформацій, появи тріщин або інших дефектів (Шостак, Ацбергер, Копинець, 2005).

У процесі сушіння також виникають напруження. Крім того, градієнти вологості, деформації та напруження існують і за товщиною. Цим можна пояснити викривлення зрізів, що спостерігається під час випробування на зубцях силових секцій або під час методу зрізів, які використовують у промисловості для оцінювання рівня напружень.

У ДСТУ 4921:2008 та EN 14298:2004 передбачено, що допустимість дефектів сушіння визначається специфікацією на продукцію. Однак, допустимі дефекти сушіння, такі як тріщини, жолоблення, зміна кольору тощо регламентуються «Керівними технічними матеріалами з технології камерного сушіння пиломатеріалів» (Білей та ін., 2010). На якість висушуваних пиломатеріалів (заготовок) мають вплив анатомічна будова деревини різних порід, якість сировини і продукції лісопиляння, стан обладнання і технологія сушіння.

Беручи до уваги анізотропію деревини та значний перепад вологості у висушуваних сортиментах, як наслідок нерівномірного всихання, може виникати розтріскування деревини (Озарків та ін., 2018; Шостак, Ацбергер, Копинець, 2005; Udovytska et al., 2024). У процесі сушіння можуть утворюватися поверхневі, торцеві та внутрішні тріщини. Поверхневі (пластові) тріщини найчастіше утворюються на початку процесу сушіння на пласті сортиментів (Wood Handbook..., 2010). Для уникнення поверхневих тріщин рекомендується застосування на початковій стадії процесу режимів, які забезпечуватимуть повільне висихання поверхні сортиментів.

Торцеві тріщини утворюються внаслідок швидкого висихання торців сортиментів, оскільки деревина висихає у напрямку вздовж волокон швидше, ніж поперек. Розміщення прокладок ближче до торця пиломатеріалів (заготовок), встановлення ефективних перегородок у сушильній камері або герметизація поперечного перерізу, зокрема, клей ПВА + тирса (Deaconu, Georgescu, & Camrean, 2023) дають змогу зменшити або запобігти утворенню торцевих тріщин.

Внутрішні тріщини можуть утворитися, коли вологість внутрішніх шарів стає нижчою від точки насичення волокна, і, відповідно, починається їхнє всихання. На цьому етапі висушені в розтягнутому стані зовнішні шари сортиментів перешкоджають вільному всиханню внутрішніх. Для запобігання виникненню внутрішніх тріщин проводять проміжну вологотеплообробку.

Також через нерівномірне висихання у різних напрямках унаслідок сушіння сортиментів може виникати їхнє жолоблення, яке може бути поздовжнім по пласті, поздовжнім по крайці, поперечним та криловатим (поздовжнє спіральне викривлення сортименту) (Ormarsson, 1999; Teischinger et al., 2023). Цих дефектів сушіння можна уникати за рахунок правильного формування штабеля та забезпечення притискання верхніх шарів штабеля, оскільки нижні шари фіксуються масою самих висушуваних сортиментів (Konopka et al., 2017; Teischinger et al., 2023).

Колір деревини також є важливим критерієм її якості. Вплив на колір деревини мають: умови зберігання сировини, вологість деревини, температура та тривалість її впливу на деревину. Колірні характеристики висушених сортиментів визначають їхні споживчі якості і, відповідно, ціну (Губер та ін., 2023). Зміна природного забарвлення, спричинена процесом сушіння, проявляється у різних формах, зокрема, у вигляді смуг, плям тощо. Найпоширенішими дефектами зміни природного забарвлення внаслідок сушіння деревини дуба є жовті забарвлення на поверхні сортименту внаслідок діяльності грибів та коричневе забарвлення зовнішніх шарів (іноді смугасте вглиб). Температура, відносна вологість агента сушіння або градієнт вологості та час їхнього впливу є найважливішими параметрами процесу сушіння, які можуть спричинити зміну кольору висушуваного матеріалу. Тому для уникнення цього потрібно підбирати низькотемпературні режими сушіння, адаптовані до конкретної породи деревини.

Висновки (Conclusions).

1. Фактична середня кінцева вологість партії заготовок з деревини дуба після процесу сушіння у конвективній камері становила 7,0%, у вакуумно-конвективній – 7,6%. Відхилення від заданої кінцевої вологості для заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, є більшим, ніж у вакуумно-конвективній.

2. Середньоквадратичне відхилення вологості окремих заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, від середнього значення становить 0,799 і є меншим від середньоквадратичного відхилення вологості окремих заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері (0,958). Отже, у конвективній сушильній камері процес сушіння відбувається рівномірніше.

3. Усереднене значення за модулем умовного показника перепаду вологості за товщиною для заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, становить $f_s=1,20\%$, а для заготовок, висушених у конвективній сушильній камері – $f_s=0,66\%$. Отже, умовний показник залишкових напружень f_s (відносна деформація зубців силових секцій) не перевищує 1,50% і в обох випадках відповідає I категорії якості сушіння. Залишкові напруження після вакуумно-конвективного сушіння у два рази більші, ніж після конвективного.

4. У вибірці з 228 шт. заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, було виявлено 7 шт. з торцевими тріщинами, у вибірці з 200 шт. заготовок, висушених у вакуумно-конвективній – 40 шт. Усі торцеві тріщини в заготовках були в межах допустимої норми, тобто не перевищували 10 мм. Поверхневих тріщин виявлено не було.

5. Кількість пожолоблених заготовок у процесі сушіння не перевищує 2,5%, що можна прийняти як задовільний результат, оскільки ці заготовки після операції торцювання можна використати у виробництві клеєних щитів.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність конфлікту інтересів.

Список літератури (References)

- Andrashek, Yo.V., & Humeniuk, Zh.Ya. (2003). Standardization and quality of the drying lumber. *Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 13(2), 122-124. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_2/122_Andrashek_13_2.pdf [Андрашек, Й.В., Гуменюк, Ж.Я. (2003). Стандартизація та якість сушіння деревини. *Науковий вісник УкрДЛТУ*, 13(2), 122-124] (in Ukrainian)
- Biley, P.V., Kopynets, Z.P., & Labaj, V. Yo. (2010). Principles of the rational modes of thin lumber drying. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 20(15), 75-78. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_15/75_Bil.pdf [Білей, П.В., Копинець, З.П., Лабай, В.Й. (2010). Принципи побудови раціональних режимів сушіння тонких пиломатеріалів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 20(15), 75-78] (in Ukrainian)
- Bilej, P.V., & Pristavskyy, B.I. (2012). Efficiency analysis of convective wooddrying. *Scientific*

- Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 22(10), 116-119. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_10/116_Bil.pdf [Білей, П.В., Приставський, Б.І. (2012). Аналіз ефективності конвективного сушіння деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(10), 116-119] (in Ukrainian)
- Biley, P.V., Sokolovskiy, I.A., Pavlyust, V.M., & Kunynets, Ye.P. (2010). *Technical guidelines on the technology of chamber drying of lumber*. Uzhhorod: Karpaty. [Білей, П.В., Соколовський, І.А., Павлюст, В.М., Кунинець, Є.П. (2010). *Керівні технічні матеріали з технології камерного сушіння пиломатеріалів*. Ужгород: Карпати, 140 с.] (in Ukrainian)
- Brunner-Hildebrand (1987). *Drying lumber*. Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Hannover. [Brunner-Hildebrand (1987). *Die Schnittholztrocknung*. Buchdruckwerkstätten Hannover GmbH, Hannover. 322 s.] (in German)
- Câmpean, M., & Lazarescu, C. (2016). Considerations upon the drying of oak lumber. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 9(58), No. 1, 37-42. Retrieved from: https://webbut.unitbv.ro/index.php/Series_II/article/view/830
- Deaconu, I.-T., Georgescu, S.-V., & Campean, M. (2023). Drying Behaviour of 50 mm Thick Turkey Oak Lumber. *Applied Sciences*, 13, 10676. <https://doi.org/10.3390/app131910676>
- DSTU 4921:2008 *Sawn timber. Assessment of drying quality*. Edition is official. Kyiv: State standard of Ukraine. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=86996 [ДСТУ 4921:2008 *Пилопродукція. Оцінювання якості сушіння*. Видання офіційне. Київ: Держстандарт України] (in Ukrainian)
- DSTU 4922:2002 *Timber and sawn wood. Determination methods damp*s. Kyiv: State standard of Ukraine. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52795 [ДСТУ 4922:2002 *Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості*. Видання офіційне. Київ: Держстандарт України] (in Ukrainian)
- EN 14298:2004 *Sawn timber – Assessment of drying quality*. Retrieved from <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/aa69f719-6a33-442c-95a0-bbd7dd3c679f/en-14298-2004?srsltid=AfmBOory6btIbQWK1ko3qhuPeDwaGIw5KZbB4pOhOuXy0XNULCqTCDJw>
- Espinoza, O., & Bond, B. (2016). Vacuum Drying of Wood – State of the Art. *Current Forestry Reports*, 2, 223-235. <https://doi.org/10.1007/s40725-016-0045-9>
- Huber, Yu., Kopynets, Z., Humeniuk, Zh., Shchupakivskyy, R., & Partyka, V. (2023). Evaluation of color variability of sliced oak veneer in the process of its manufacture. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 178-186. <https://doi.org/10.15421/412315> [Губер, Ю.М., Копинець, З.П., Гуменюк, Ж.Я., Щупаківський, Р.Б., Партика, В.П. (2023). Дослідження колірних характеристик струганого шпону з деревини дуба звичайного в процесі його виготовлення. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 178-186] (in Ukrainian)
- Konopka, A., Barański, J.A., Vilkovská, T., & Klement, I. (2017). The impact of the drying process on the deformation of the beech and oak wood samples. *Forestry and Wood Technology*, 99, 168-173. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/321192035_The_impact_of_the_drying_process_on_the_deformation_of_the_beech_and_oak_wood_samples
- Kopynets, Z.P., & Shchupakivskyy, R.B. (2014). Investigation of beech lumber drying process by the low temperature multi-stage regimes. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 40, 59-62. Retrieved from <https://forestwoodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/122/309>
- Mayevskyy, V.O., Kopynets, S.V., & Moroz, R.O. (2024). Research on the consumption of raw unedged oak lumber for the production of rough blanks for glued panels. In *Forestry education and science: current challenges and development prospects: proceedings of the International scientific and practical Conference*. Lviv, October 23-25. Lviv, Ukraine. <https://doi.org/10.36930/conf150.3.6> [Маєвський, В.О., Копинець, С.В., Мороз, Р.О. (2024). Дослідження витрати дубових сирих необрізних пиломатеріалів на вихід чорнових заготовок для клеєних щитів. *Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., м. Львів, 23-25 жовтня 2024 р. Львів: НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Mayevskyy, V.O., Moroz, R.O., Kopynets, S.V., Ferents, O.B., Shchupakivskyy, R.B., & Myskiv, Ye.M. (2024) Determining of dry oak lumber consumption due the production of solid edge glued panels. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 181-188. <https://doi.org/10.15421/412425> [Маєвський, В.О., Мороз, Р.О., Копинець, С.В., Ференц, О.Б., Щупаківський, Р.Б., Миськів, Є.М. (2024). Визначення витрати дубових сухих обрізних пиломатеріалів на виготовлення клеєних щитів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 181-188] (in Ukrainian)
- Ormarsson, S. (1999). *Numerical Analysis of Moisture-Related Distortion in Sawn Timber*. Doctoral thesis, monograph. Göteborg: Chalmers University of Technology, Dep. of Structural Mech. Retrieved from: https://www.researchgate.net/publication/341877999_Numerical_Analysis_of_Moisture-Related_Distortions_in_Sawn_Timber
- Ozarkiv, I.M., Kobrynovuch, M.S., Humeniuk, Z.H., & Petryshak, I.V. (2018). Control of tense-deformed state and moisture of wood in heat and mass transfer during drying process. *Scientific Bulletin of the*

Ukrainian National Forestry University, 28(10), 81-84. <https://doi.org/10.15421/40281017> [Озарків, І. М., Кобриневич, М. С., Гуменюк, Ж. Я., Петришак, І. В. (2018). Контроль напружено-деформованого стану і вологості деревини в тепломасообмінних процесах сушіння. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(10), 81-84] (in Ukrainian)

Pinchevska, O. O., & Chaurov, M. G. (2008). The quaschins of the assessment of sawn timber drying quality. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 18(4), 85-91. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_4/85_Pinczewska_18_4.pdf [Пінчевська, О. О., Чаусов, М. Г. (2008). Оцінка якості сушіння пиломатеріалів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18(4), 85-91] (in Ukrainian)

Simpson, W. T. (1991). Dry kiln operator's manual. In *Agriculture Handbook*; U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory: Madison, WI, USA. Retrieved from: https://www.woodweb.com/knowledge_base/Dry_kiln_operators_manual.html?fb_locale=fr_FR

SIST-TS CEN/TS 14464:2010 *Sawn timber – Method for assessment of case-hardening*. Retrieved from <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/sist/81983382-51e7-4547-a2b0-f3c94ec5265a/sist-ts-cen-ts-14464-2010?srsltid=AfmBOor09TgRShIjL5Q8u6tJO4lcHFK25eFkLIWwIG34hCs71THPnCRM>

Shostak, V. V., Acberher, Yo. L., & Kopynets, Z. P. (2005). Influence of drying regimes on cracks formation in wood. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 15(4), 109-114. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2005/15_4/index.htm [Шостак, В. В., Ацбергер, Й. Л., Копинець, З. П. (2005). Вплив режиму сушіння на тріщиноутворення деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 15(4), 109-114] (in Ukrainian)

Teischinger, A., Avramidis, S., Hansmann, Ch., & Mayrhofer, A. (2023). Sawn Timber Steaming and Drying. In P. Niemz, A. Teischinger, D. Sandberg (Eds.), *Springer Handbook of Wood Science and Technology* (pp. 1167-1210). https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4_23

Yin, Q., & Liu, H.-H. (2021). Drying Stress and Strain of Wood: A Review. *Applied Sciences*, 11, 5023. <https://doi.org/10.3390/app11115023>

Udovytska, M., Mayevskyy, V., Udovytskyi, O., Kopynets, Z., & Manzyuk, A. (2024). Development of mathematical model for predicting the cupping of lumber. *Bulletin of the Transilvania University of Braşov. Series II: Forestry. Wood Industry. Agricultural Food Engineering*, 17(66), No 2, 111-126. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.2.7>

Wood Handbook – Wood as an Engineering Material (2010). Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, 508 p.

Investigation of the qualitative characteristics of oak-wood blanks dried in different types of drying chamber

Yu. Huber¹, Z. Kopynets², O. Oliichuk³, Zh. Humeniuk⁴, Yu. Rubinsky⁵

Wood drying plays an important role in the wood-working industry, as the quality of sawn timber or blanks after chamber drying is crucial for the aesthetic and operational characteristics of final products.

The object of the study was blanks sawn from wood of common oak (*Quercus robur*) measuring 50×50×1,000 mm. They were dried in a Kates KAD-1×6S convection drying chamber and in a Hildebrand-Brunner vacuum-convection drying chamber with a capacity of approximately 50 m³ of assortments being dried. The blanks are subsequently used for the manufacture of glued panels, therefore they were dried in a mode that will ensure obtaining lumber products of category II of drying quality. Multi-stage drying modes were used, which included the operations of initial heating, drying, final heat-moisture treatment (conditioning), and cooling. In the convection drying chamber, the temperature of the drying agent at the first stage of the mode was $t_{dr}=33^{\circ}\text{C}$, the equilibrium moisture content was $W_e=16\%$, at the last stage of the drying mode the temperature of the drying agent was $t_{dr}=60^{\circ}\text{C}$, the drying gradient was $TG=2.4$. In the vacuum-convection drying chamber, the temperature of the drying agent at the first stage of the mode was $t_{dr}=40^{\circ}\text{C}$, the equilibrium moisture content was $W_e=14\%$, at the last stage of the drying mode, the temperature of the drying agent was $t_{dr}=63^{\circ}\text{C}$, the equilibrium moisture content was $W_e=5.4\%$.

¹ Yuriy Huber – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Environmental and Wood Protection Technologies and Life Safety. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-2678-511X>

² Zoya Kopynets – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: zoya.kopynets@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8977-6953>

³ Oksana Oliichuk – master sciences, Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lan@nltu.edu.ua

⁴ Zhanna Humeniuk – senior lecturer of Department of Environmental and Wood Protection Technologies and Life Safety. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: zhanna.humeniuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9453-5812>

⁵ Yuriy Rubinsky – PhD student, Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: yuriy.rubinsky@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0009-0004-3111-7989>

The test samples consisted of 228 pieces of blanks which were dried in a convection chamber and 200 pieces dried in a vacuum-convection chamber.

The influence of the drying method on the quality indicators of oak lumber blanks was determined. The specified final moisture content of the batch was $W_{f.set}=8\%$. In particular, the minimum and maximum moisture content values of the sample after drying in a convection drying chamber were as follows: $W_{c.min}=4.7\%$, $W_{c.max}=8.8\%$, after drying in a vacuum-convection drying chamber – $W_{vc.min}=5.0\%$, $W_{vc.max}=10.6\%$. The actual average final moisture content in the stack after drying in a convection drying chamber was $W_{c.act.}=7.0\%$, after drying in a vacuum-convection drying chamber – $W_{vc.act.}=7.6\%$. Mean-square deviation of the final moisture content after drying in a convection drying chamber is $S=0.799\%$, and after drying in a vacuum-convection drying chamber it is $S=0.958\%$. The conditional residual stress index after drying in a convection drying chamber is $f_{\sigma}=0.66\%$, and after drying in a vacuum-convection drying chamber it is $f_{\sigma}=1.20\%$.

The regulatory indicator of deviation of the moisture content of individual blanks for quality category II from the specified final moisture content $W_{f.set}=8\%$ is $\Delta W_{f.set.}=\pm 1.5$. However, in the convection drying chamber, 56 blanks from a sample of 228 pieces have a moisture content lower than $W_{f.set.}\leq 6.4\%$, which does not meet the regulatory indicator for quality category II. No blanks with moisture content $W_{f.set.}\geq 9.6\%$ were found. In the vacuum-convection drying chamber, some of the blanks also did not meet the requirements of drying quality category II: 30 blanks had a moisture content lower than $W_{f.set.}\leq 6.4\%$ and 5 blanks had a moisture content higher than $W_{f.set.}\geq 9.6\%$.

Thus, the obtained values of the quality indicators for drying oak-wood blanks in convection and convection-vacuum drying chambers showed that under the study conditions, the drying process occurs more evenly in the convection drying chamber.

Key words: convection drying chamber; vacuum-convection drying chamber; oak; lumber; final moisture content; residual stresses; drying.

7. РЕЦЕНЗІЇ, ВІДГУКИ ТА ВІТАННЯ

УДК 630.5

У ГАРМОНІЇ З ПРИРОДОЮ: БІОПРОДУКТИВНІСТЬ ТА ЕКОСИТЕМНІ ФУНКЦІЇ ЛІСІВ УКРАЇНИ (до 70-річчя від дня народження академіка та Першого віце-президента Лісівничої академії наук України, професора П. І. Лакиди)

Р. Д. Васишин¹, Г. Т. Криницький²



Лакида Петро Іванович – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Лісівничої академії наук України, член-кореспондент Національної академії аграрних наук України, заслужений діяч науки і техніки України. Народився у селі Вітоніж на Волині. У 1975 р. закінчив Шацький лісовий технікум, після чого працював у Добрянському держлісгоспі на посаді помічника лісничого. У 1980 р. здобув диплом інженера лісового господарства в Українській сільськогосподарській академії (нині – НУБіП України). У 1986 р. захистив кандидатську дисертацію на тему: «Моделі росту і продуктивності штучних деревостанів сосни Полісся УРСР». Докторську дисертацію на тему «Біологічна продуктивність лісів України» захистив у 1997 році.

Працював асистентом, доцентом, професором, завідувачем кафедри лісового менеджменту НУБіП України, проректором із роботи з ВНЗ I–III рівнів акредитації, директором Навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства. З вересня 2023 р. очолює сектор наукового забезпечення Державного спеціалізованого підприємства «Ліси України».

¹ Васишин Роман Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, керівник Центрального відділення ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна. E-mail: R.Vasylyshyn@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

² Криницький Григорій Томкович – академік Лісівничої академії аграрних наук України, Президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, Заслужений діяч науки і техніки, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

Брав участь у міжнародних програмах IIASA, COST ACTION, FP7, HORIZON 2020. Автор понад 550 наукових праць, зокрема понад 80 монографій, довідників та нормативних документів. Під його керівництвом захищено 47 дисертацій. Ініціював участь України в міжнародній магістерській програмі EUROFORESTER (Швеція). Наукові інтереси охоплюють питання біотичної продуктивності лісів, моделювання фітомаси та вуглецевих запасів.

За вагомі наукові досягнення відзначений численними нагородами, зокрема знаком «Відмінник освіти України», званням «Заслужений діяч науки і техніки України», орденом «За заслуги» III ступеня та відзнакою Лісівничої академії наук України «Видатний вчений-лісівник України».

Для української лісівничої спільноти червень 2025 року був особливим. В цей період відзначали 70-річний ювілей Петра Івановича Лакиди – поста-ті, що уособлює цілу епоху лісівничої науки. Його життєвий і науковий шлях – це історія людини, яка все своє життя присвятила служінню лісу, освіті й науці.

Народжений у мальовничому лісистому краї Волині (с. Вітоніж), Петро Іванович змалку відчув живий зв'язок із природою. Саме там, серед гомону волинських лісів і шепоту поліських озер, визріло його покликання – бути лісівником. На початку 1970-х років доля приводить юнака до Шацького лісового технікуму, де він уперше відкриває для себе велич і складність лісу та лісівничої справи. Вже тоді його вирізняли працелюбність, допитливість і глибоке бажання пізнати науку про ліс.

Після закінчення технікуму з відзнакою у 1975 р. майбутній учений розпочав трудову діяльність в Олександрівському лісництві Добрянського держлісгоспу на посаді помічника лісничого. Однак потяг до знань спонукав його продовжити освіту – цього разу у стінах Української сільськогосподарської академії (нині – НУБіП України), де він здобув фундаментальні знання, що стали основою його майбутніх наукових звершень.

Вирішальною подією у житті молодого студента стала зустріч із доцентом Анатолієм Зіновійовичем Швиденком, знаним ученим і наставником, який став для нього духовним провідником у світ великої науки. Саме під його керівництвом Петро Іванович виконав перші серйозні дослідження, що завершилися захистом у 1986 р. кандидатської дисертації «Моделі росту і продуктивності штучних деревостанів сосни Полісся УРСР».

З 1980-х років він активно поєднує наукову та педагогічну діяльність. Працює на посадах асистента, старшого викладача кафедри лісової таксації УСГА, а впродовж 1993-1996 рр. навчається в докторантурі на цій же кафедрі. Бере участь у польових експедиціях, створює нормативи для лісового господарства, формує підхід до оцінювання біологічної продуктивності лісів. Під час навчання в докторантурі у 1994 р. проходить тримісячне стажування під керівництвом А. З. Швиденка у Літній програмі для молодих науковців (YSSP) Міжнародного інституту прикладного системного аналізу (IIASA) у містечку Лаксембург неподалік Відня.

У цей період закладаються основи майбутньої наукової школи, яка згодом наповниться цілою плеядою його учнів – молодих науковців-таксаторів.

Після блискучого захисту докторської дисертації у 1997 р. П. І. Лакида обіймає посаду професора, а згодом очолює кафедру лісового менеджменту. Його управлінський талант проявляється повною мірою: він стає завідувачем відділу регіональних закладів освіти I–II рівнів акредитації, що входять у структуру управління університету, з 2001 р. – проректором по роботі з ВНЗ I–III рівнів акредитації, а в березні 2002 р. очолює Навчально-науковий інститут лісового і садово-паркового господарства. Завдяки своєму авторитету та відданості справі, П. І. Лакида здобув довіру колективу, який неодноразово обирав його на посаду директора.

З вересня 2023 р. П. І. Лакида очолює сектор наукового забезпечення новоствореного державного спеціалізованого підприємства «Ліси України». На цій посаді вчений активно впроваджує досягнення вітчизняної лісівничої науки у практичну діяльність підприємства.

Ім'я професора П. І. Лакиди добре знає міжнародному науковому середовищі. Він брав участь у програмах IIASA (Австрія), проектах COST ACTION, FP7, HORIZON 2020, виступав на конференціях у провідних університетах світу – Єльському, Пенсільванському, Вроцлавському, Фрайбурзькому, Варшавському. Його праці опубліковані у престижних наукових виданнях, серед яких – «Biomass and Bioenergy», «Sustainability», «Scientific data», «Forests».

Завдяки ініціативі вченого, університет долучився до міжнародної магістерської програми EUROFORESTER (Швеція), а десятки українських студентів отримали можливість навчатися в європейських лісових школах. Саме його діяльність забезпечила інтеграцію української лісівничої науки у світовий науковий простір.

Як перший заступник Президента Лісівничої академії наук України, академік П. І. Лакида значну увагу приділяє діяльності цієї громадської лісівничої організації. В її рамках координує наукові дослідження, сприяє переходу лісового господарства на вибірккову наближену до природи систему лісогосподарювання, опрацьовує питання лісовідновлення, збільшення лісистості держави,

невиснажливого використання лісових ресурсів, удосконалення нормативно-правової бази лісогосподарського виробництва.

За видатний внесок у розвиток лісівничої науки професора П.І. Лакида обрано також академіком Міжнародної академії інформатизації, удостоєно звання «Заслужений діяч науки і техніки України». Його нагороджено численними відзнаками – від «Відмінника освіти України» до ордену «За заслуги» III ступеня, а також відзнакою Лісівничої академії наук України – «Видатний вчений-лісівник України». Наразі вчений є членом-кореспондентом Національної аграрної академії наук України та Головою громадської ради при Держлісагентстві України.

Сьогодні професор Петро Іванович Лакида – визнаний авторитет у галузі оцінювання біотичної продуктивності лісів, моделювання фітомаси та вуглецевих запасів. Його доробок налічує понад 550 наукових і навчально-методичних праць, серед яких понад 80 монографій, довідників та нормативних документів. Під його науковим керівництвом захищено 13 докторських і 34 кандидатських дисертацій.

Поряд із науковими здобутками, Петро Іванович завжди залишається людиною – щирою, уважною, здатною надихати. Його людяність і мудрість створюють атмосферу довіри, в якій виростають нові покоління науковців. Він не просто передає знання – він виховує мислення, формує професійну культуру, плекану на любові до лісу та науки.

Нехай Ваша життєва дорога, Петре Івановичу, буде довгою та щедро усіяною добром, сонячними промінчиками, творчим натхненням і життєдайним шумом лісу.

На завершення хочемо навести характеристику нашого ювіляра, надану його науковим керівником, наставником і провідником у світ науки – професора Анатолія Зіновійовича Швиденка: *«Що треба мати людині, щоб сказати своє особисте слово в науці, залишити слід, який не здатні замести вітри політичних катаклізмів, суспільної моди і нових наукових парадигм, який слугує дороговказом наукового прогресу, і свідоцтво найвищих здобутків – це коли слід цей перетворюється в живу дорогу, якою йдуть нові покоління професіоналів та науковців, розходяться різними дорогами, щоб краще зрозуміти, куди і навіщо йдемо, і сходяться знов, приносячи оновлене розуміння світу й нове знання, і цим збільшують кількість добра, що так потрібне сьогоднішньому дуже не простому світові. Звичайно, треба мати талант, природні здібності. Але, як кажуть математики, це необхідна, але недостатня передумова. Треба багато іншого. Треба вірити в сувору потребу науки, як безумовної запоруки розвитку і достойного життя нації; уміти жертвувати багатьма “дрібними радіощами” сьогодення; жити наукою; бути приреченим на працю, яка може не принести*

ні швидкого життєвого успіху, ні суспільного визнання, ні навіть забезпечення більш-менш достойного буття.

П.І. Лакида – один із небагатьох, в кому щасливо переплелися риси справжнього науковця, і, як-то кажуть, цей життєвий і професійний шлях йому від Бога. Я мав можливість спостерігати за його входженням в науку ще зі студентської лави та діяльністю на навчально-науковій ниві протягом десятиліть. Його відчуття нових шляхів у лісовій науці, цілеспрямованість справжнього лідера, вражаюча працездатність, неабиякий хист організатора, уміння повести за собою молодих і знаходити спільну мову з різними верствами лісівників-практиків на всіх рівнях лісоуправління, стратегічність мислення і щира, якась особиста зверненість до студента й аспіранта – це та основа, яка допомогла Петру Івановичу стати провідним лісовим вченим України і фундатором важливого й перспективного напрямку в українській екологічній науці. Сьогодні існує справжня наукова школа професора П.І. Лакиди, відома далеко за межами України.

Він завжди залишається самим собою – і в сонячні дні, і в тяжкі, по-справжньому, часи, які щось зачистили в Україну. І є в ньому глибинна українська сутність – ні, це не про націоналізм чи шовінізм, просто душу народу формує той згусток тисячоліть становлення і розвитку нації, надміцний сплав історії й буття, людського розуму й мудрості, достоїнства й мужності сотень поколінь, втрат і здобутків, героїзму і величчя, де немає історичного місця зраді й ниці, і, мабуть, саме існування таких людей в Україні і є найвірнішою запорукою її гідного майбутнього».

Від усього серця бажаємо шановному Петру Івановичу міцного здоров'я, невичерпної енергії та життєвої наснаги. Нехай Ваша праця й надалі приносить вагомі результати, надихає колег і виховує гідних продовжувачів наукових лісівничих традицій. Бажаємо миру, добробуту, нових звершень та щирої вдячності від учнів і колег!

Основні наукові праці

- Биченко В.Б., Миронюк В.В., Лакида П.І., Бурячук М.М. (2021). Моделювання якісної структури стовбурів сосни звичайної за допомогою випадкового процесу. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 2021, 12(3), С. 6–20.
- Лакида, П.І. Фітомаса лісів України: монографія. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.
- Лакида, П.І., Білоус, А.М., Василишин, Р.Д., Матушевич, Л.М., Макаруч, Я.І. Біопродуктивність та енергетичний потенціал м'яколистяних деревостанів Українського Полісся: монографія. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В.М., 2012. 454 с.

- Лакида, П.І., Бокоч, В.В., Василишин, Р.Д., Терентьев, А.Ю. Біопродуктивність лісових фітоценозів Карпатського національного природного парку: монографія. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В.М., 2015. 154 с.
- Лакида, П.І., Василишин, Р.Д., Лашченко, А.Г., Терентьев, А.Ю. та ін. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісовтвірних порід України: довідник (нормативно-виробниче видання). Київ: Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2011. 192 с.
- Лакида, П.І., Мельник, О.М., Василишин, Р.Д. Біопродуктивність лісових фітоценозів Національного природного парку «Прип'ять-Стохід»: монографія. Консунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.В., 2019. 182 с.
- Лакида П.І., Ситник С.А., Кравченко О.О. Функціональна діяльність лісгосподарських підприємств Північного степу України за критеріями сталого розвитку. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. 2020. Vol. 11, № 4. P. 32-46.
- Лакида, П.І., Шевчук, О.В., Василишин, Р.Д. Енергетичний потенціал лісів Київського Полісся та його стале використання: монографія. Консунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І.В., 2020. 168 с.
- Мельник, О.М., Лакида, П.І., Карпук, А.І., Василишин, Р.Д., Бокоч, В.В., Лакида, М.О., Сахарук, Г.А., Гоцик, О.С., Дубровець, Б.В., Гоцик, О.С. Екосистемні функції лісів природно-заповідного фонду Полісся України: монографія. Київ: ТОВ «ЦП “Компринт”», 2024. 309 с.
- Швиденко, А.З., Лакида, П.І., Щепашенко, Д.Г., Василишин, Р.Д., Марчук, Ю.М. Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор: монографія. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гаврищенко В.М., 2017. 268 с.
- Bidolakh D., Lakyda P., Myroniuk V., Hayda Yu., Pidkhovna S. Assessment and representation of Urban Trees Ecosystem Services: a case study in Pryzhamkovyi park. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 2023, Vol. 65 (2). P. 104–116. DOI: 10.2478/ffp-2023-0011
- Kharytonov, M., Lakyda, P., Matushevych, L., Andreiev, A., Kozlova, A., & Stankevich, S. (2025). Drought and airborne emissions in Dnipropetrovsk region, Ukraine. *International Journal of Environmental Studies*, 1–11. <https://doi.org/10.1080/00207233.2025.2557141>
- Lakyda, P., Bilous, A., Shvidenko, A., Myroniuk, V., Matsala, M., Vasylyshyn, R., Holiaka, D., Lakyda, I. Ecosystem services of Ukrainian forests: a case study for the Polissya region. Monograph. Kyiv: NULES of Ukraine, 2018. 188 p.
- Lakyda, P., Matushevych, L., Sakharuk, H., Lovynska, V., Holoborodko, K., & Sytnyk, S. The influence of Robinia pseudoacacia plantations on soil in the park areas of Dnipro city contaminated with heavy metals. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 2025, 16(2), 115-135. <https://doi.org/10.31548/forest/2.2025.115>
- Lakyda, P., Myroniuk, V., Bilous, A., & Boiko, S. Estimation of forest cover in Ukrainian Polissia using classification of seasonal composite Landsat 8 OLI images. *Sylvan* 2019, 163(9), p. 754-764.
- Lakyda, P., Vasylyshyn, R., Blyshchyk, V., Lakyda, I., Terentyev, A., Domashvets, H., Volodymyrenko, V., Bilous, A., Matushevych, L., Melnyk, O., Lakyda, M., Alekseyuk, I., Lovynska, V., Stratiy, N. Experimental data on live biomass of Ukrainian coniferous forests. Monograph. Kyiv: LLC “PC “Komprynt”, 2018. 453 p.
- Lakyda, P., Vasylyshyn, R., Blyshchyk, V., Lakyda, I., Bilous, A., Matushevych, L., Lashchenko, A., Bala, O., Mateyko, I., Morozyuk, O., Kovalevskyi, S., Khan, Ye., Sytnyk, S., Bokoch, V., Blyshchyk, I., Prylipko, I., Melnyk, O., Dubrovets, B. Experimental data on live biomass of Ukrainian deciduous forests. Monograph. Kyiv : LLC “PC “Komprynt”, 2020. 488 p.
- Lakyda, P., Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, I. Gritsan, Y. Crown biomass of Scots pine and black locust in Northern Steppe of Ukraine *Forestry Ideas*. 2020. № 26 (2). P. 471-484.
- Lakyda, P., Shvidenko, A., Bilous, A., Myroniuk, V., Matsala, M., Zibtsev, S., Schepaschenko, D., Holiaka, D., Vasylyshyn, R., Lakyda, I., Diachuk, P., Kraxner, F. Impact of Disturbances on the Carbon Cycle of Forest Ecosystems in Ukrainian Polissya. *Forests*. 2019. № 10 (4). P. 337. <https://doi.org/10.3390/f10040337>
- Lakida, P., Nilsson, S., Shvidenko, A. Estimation of forest phytomass for selected countries of the former European U.S.S.R. *Biomass and Bioenergy*. 1996. Vol. 11, Iss. 5. P. 371-382.
- Lakyda, P., Sytnyk, S., Lovynska, V., Lakyda, I., Gritsan, Y. Crown biomass of scots pine and black locust in Northern Steppe of Ukraine. *Forestry Ideas*. 2020. Vol. 26 (2). P. 471-484.
- Lovynska V., Buchavyyi Yu., Lakyda P., Sytnyk S., Gritzan Yu., & Sendziuk R. Assessment of pine aboveground biomass within Northern Steppe of Ukraine using Sentinel-2 data. *Journal of Forestry Sciences*, 2020, 66, 339-348. <https://doi.org/10.17221/28/2020-JFS>
- Lovynska V., Terentiev A., Lakyda P., Sytnyk S., Bala O., & Gritsan Yu. Comparison of Scots pine growth dynamics in Polissya and Steppe zone of Ukraine. *Journal of Forest Science*, 2021, 67(11), 533-543. <https://doi.org/10.17221/93/2021-JFS>
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., Lakyda, P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*. 2017. № 9 (7), P. 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- Terentiev, A., Bala, O., Lakyda, P., & Bondar, H. (2023). Current state and productivity of Scots pine modal stands of the Forest Steppe of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 14(1), 105-123. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.105>

**IN HARMONY WITH NATURE:
BIOPRODUCTIVITY AND ECOSYSTEM
FUNCTIONS OF UKRAINIAN FORESTS
(to the 70th anniversary of birth
of Professor P. I. Lakyda, Full Member
and First Vice President of the Forestry
Academy of Sciences of Ukraine)**

R. Vasylyshyn¹, H. Krynytskyy²

Petro Ivanovych Lakyda – Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Academician of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, and Honoured Worker of Science and Technology of Ukraine.

He was born in the village of Vintonizh in Volyn region. In 1975, he graduated from the Shatsk Forestry College, after which he worked at the Dobrianka State Forestry Enterprise as an assistant forester. In 1981, he obtained an engineer's degree in forestry from

the Ukrainian Agricultural Academy (now – the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, NULES of Ukraine). In 1986, he defended his PhD dissertation on the topic: “*Growth and Productivity Models of Artificial Pine Stands in the Polissya Region of the Ukrainian SSR*”. His Senior Doctorate Dissertation, “*Biological Productivity of Forests of Ukraine*,” was defended in 1997.

He worked as an assistant lecturer, associate professor, professor, Head of the Department of Forest Management at NULES of Ukraine, Vice-Rector for Cooperation with Institutions of Higher Education of Levels I–III of Accreditation, and Director of the Educational and Research Institute of Forestry and Landscape Gardening. Since September 2023, he has headed the Scientific Support Sector of the State Specialized Enterprise “Forests of Ukraine.”

He participated in international programs such as IIASA, COST ACTION, FP7, and HORIZON 2020. He is the author of more than 450 scientific works, including over 50 monographs, reference books, and regulatory documents. Under his supervision, more than 40 dissertations have been defended. He initiated Ukraine's participation in the international Master's program EUROFORESTER (Sweden). His scientific interests include issues of forest biotic productivity, modelling of phytomass, and carbon stock assessment.

For his significant scientific achievements, he has been awarded numerous honors, including the badge “Excellent Educator of Ukraine”, “Honored Worker of Science and Technology of Ukraine,” the Order of Merit (3rd degree), and the Award from the Forestry Academy of Sciences of Ukraine “Outstanding Forest Scientist”.

¹ *Roman Vasylyshyn* – Full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Central Division of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: R.Vasylyshyn@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

² *Hryhoriy Krynytskyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, President of FAS of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry at Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: krynytsk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

**ФАХІВЕЦЬ З ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ, ЛІСОВОЇ ТАКСАЦІЇ,
ЛІСОЗНАВСТВА І ЛІСІВНИЦТВА**
**(до 60-річчя від дня народження академіка Лісівничої академії
наук України, професора В. П. Пастернака)**

В. Л. Мешкова¹



Пастернак Володимир Петрович – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Лісівничої академії наук України. У 1987 р. одержав диплом інженера лісового господарства в Українській сільськогосподарській академії (нині – НУБІП України). Після закінчення аспірантури у 1990 р. захистив кандидатську дисертацію на тему: «Регулювання продуктивності штучних смеречників Карпат». Докторську дисертацію на тему «Біопродуктивність лісів Північного Сходу України в контексті змін клімату» захистив у 2011 році. У 2015 р. отримав вчене звання професора, а з 2017 р. є академіком Лісівничої академії наук України. В Українському науково-дослідному інституті лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДІЛГА) працює з 2000 року.

Наразі є головним науковим співробітником відділу інвентаризації лісів, моніторингу, сертифікації та лісовпорядкування УкрНДІЛГА і за сумісництвом – професором кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства Державного біотехнологічного університету, де викладає навчальні дисципліни, пов'язані з моніторингом і сертифікацією лісів, лісовою типологією, світовими лісовими ресурсами. Наукові інтереси ювіляра охоплюють питання моніторингу стану лісів, оцінювання вуглецевого циклу та поглинання лісами парникових газів, уразливості лісів та можливостей адаптації до змін клімату, розроблення стратегій реагування лісового сектору на зміни клімату, проблеми сталого лісокористування та управління лісами. В. Пастернак є автором і співавтором понад 200 публікацій, зокрема п'яти монографій, двох навчальних посібників і декількох галузевих нормативних документів. Під його керівництвом захистили дисертації три аспіранти і здобувачі. Він є членом редколегій видань «Лісівництво і агролісомеліорація» та *Folia Forestalia Polonica*. За вагомі наукові досягнення В. Пастернака нагороджено нагрудними знаками «Відмінник лісового господарства України» та «Видатний вчений-лісівник України».

¹ Мешкова Валентина Львівна – академік Лісівничої академії наук України, керівник Східного відділення ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

Серед учених України, що присвятили своє життя вивченню питань, пов'язаних із лісом, значне місце посідає Володимир Петрович Пастернак, доктор сільськогосподарських наук, професор, дійсний член Лісівничої академії наук України. У цій статті приділено увагу основним віхам життя й напрямам досліджень вченого.

22 січня 1965 року в сім'ї науковців на прізвище Пастернак народився другий син – Володимир. Він мав усі умови для всебічного розвитку, насамперед злагоду в родині та навчання у 27-й фізико-математичній школі м. Харкова, яка славилася вже багато років. Неабияку роль у виборі професії відіграли наукові інтереси батьків. Батько ювіляра, професор Петро Степанович Пастернак, був знаним вченим-лісознавцем, лісівником та екологом, очолював УкрНДЛГА впродовж 1968-1989 рр., виховав близько 30 аспірантів і здобувачів, їздив в експедиції і часто брав із собою синів. Мати ювіляра, Галина Михайлівна, кандидат біологічних наук, працювала в лабораторії фізіології УкрНДЛГА понад 20 років. Її стопами пішов старший син – Тарас, фахівець у галузі біотехнології та фізіології рослин, а молодший вибрав науковий напрям батька, хоча й цікавився у молодші шкільні роки метеликами...

В. Пастернак у 1987 р. отримав диплом інженера лісового господарства на факультеті лісового господарства Української сільськогосподарської академії (УСГА), тепер – Національний університет біоресурсів і природокористування України (НУБП України). Досвід виробничої діяльності ювіляр одержав, працюючи на посаді помічника лісничого Харківського лісництва Жовтневого лісгоспу Харківської області, але все-таки потяг до наукової творчості переміг...

Навчання в аспірантурі на кафедрі лісової таксації УСГА відбувалося під керівництвом відомого вченого А.З. Швиденка – професора, академіка міжнародної академії інформатизації. Дисертацію В. Пастернака «Регулювання продуктивності штучних смеречників Карпат» було вчасно виконано та успішно захищено у 1990 році.

Після захисту дисертації В. Пастернак повертається до Харкова і працює в Харківському державному аграрному університеті імені В.В. Докучаєва (нині ДБТУ), спочатку асистентом кафедри лісівництва, агролісомеліорації та охорони природи, після реорганізації – доцентом кафедри лісівництва, меліорації та екології на відновленому після тривалої перерви лісгосподарському факультеті під керівництвом проф. Б.Ф. Остапенка. Зв'язок із цим ЗВО Володимир Пастернак не припиняє й досі, викладаючи лісівничі дисципліни за сумісництвом, хоча основним місцем роботи з 2000 р. є лабораторія моніторингу і сертифікації лісів УкрНДЛГА.

За цей період В. Пастернак, пройшовши у 2006-2009 рр. навчання в докторантурі НУБП України під керівництвом професора П.І. Лакиди, підготу-

вав і успішно захистив докторську дисертацію на тему «Біопродуктивність лісів Північного Сходу України в контексті змін клімату» й отримав науковий ступінь доктора сільськогосподарських наук за двома спеціальностями: 06.03.02 – лісовпорядкування та лісова таксація та 06.03.03 – лісознавство і лісівництво.

Проведені дослідження дали змогу В. Пастернаку розробити моделі динаміки продуктивності, депонованого вуглецю та стану лісових насаджень північного сходу України з використанням міжнародної практики моніторингу лісів (ФНМ та ІСР). Ним проаналізовано динаміку вуглецю у різних компонентах лісових насаджень і закономірності поглинання фотосинтетично активної радіації (ФАР), структуру та динаміку модальних штучних соснових деревостанів (Яроцький та ін., 2016; Pasternak et al., 2020; Пастернак та ін., 2023), розраховано запаси та динаміку детриту (опад, підстилки, відмерлої деревини) у лісових насадженнях (Yarotskiy, Pasternak, Nazarenko, 2019) і його роль у динаміці вуглецю. Ученим розроблено нормативно-інформаційне забезпечення оцінювання динаміки вуглецю в основних типах лісу (Пастернак та ін., 2025). Також В. Пастернак удосконалив методику складання кадастру парникових газів у підсекторі лісового господарства з урахуванням особливостей ведення господарства та природних умов України, здійснив оцінювання уразливості лісових екосистем до зміни клімату та спрогнозував їхню динаміку (Букша та ін., 2021; Buksha et al., 2021, 2023, Приходько та ін., 2022). Застосування ГІС-технологій (Field-Map) і методів вибірково-статистичної інвентаризації лісів дало змогу оцінити динаміку продуктивності насаджень та поглинання вуглецю (Pasternak et al., 2020). Було обґрунтовано пропозиції до нормативів лісокористування у лісах північного сходу України (Назаренко, Пастернак, Яроцький, 2011), зокрема віків стиглості паростевих дубових деревостанів (Tkach et al., 2021). Запропоновані методики впроваджуються у лісовій галузі, зокрема під час формування національної звітності за рамковою конвенцією ООН про зміну клімату (РКЗК) і Кіотським протоколом, а також у навчальному процесі.

У 2015 р. В. Пастернак отримав наукове звання професора, а з 2017 р. є академіком Лісівничої академії наук України. Впродовж 2016-2021 рр. за сумісництвом працював завідувачем кафедри лісоуправління, лісоексплуатації та безпеки життєдіяльності Харківського національного аграрного університету імені В.В. Докучаєва.

На сьогодні, після різноманітних реорганізацій установ, Володимир Петрович Пастернак є головним науковим співробітником відділу інвентаризації лісів, моніторингу, сертифікації та лісовпорядкування УкрНДЛГА і за сумісництвом – професором кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства Державного біотехнологічного університету, де викладає навчальні

дисципліни, пов'язані з моніторингом і сертифікацією лісів, лісовою типологією, світовими лісовими ресурсами.

Основні напрями досліджень ученого: моніторинг стану лісів, вивчення вуглецевого циклу в лісах, оцінювання поглинання лісами парникових газів, дослідження уразливості лісів та їхніх адаптаційних можливостей до зміни клімату, розроблення стратегій реагування лісового сектору на зміни клімату, проблеми сталого лісокористування та управління лісами.

За понад 30 років праці у лісовій науці В. Пастернак був керівником і відповідальним виконавцем декількох бюджетних і госпдоговірних науково-дослідних робіт, присвячених оцінюванню соціально-економічних і природоохоронних чинників системи лісоуправління та лісоексплуатації в ринкових умовах, стану і продуктивності деревостанів, удосконаленню методики Національної інвентаризації та моніторингу, прогнозуванню динаміки стану лісів. Зокрема учений керував темами «Розвиток соціально-економічних і природоохоронних чинників системи лісоуправління та лісоексплуатації в ринкових умовах» (2017-2021 рр.), «Вивчити стан і продуктивність м'яколистяних деревостанів у ДП “Зміївське лісове господарство” та розробити рекомендації щодо ведення господарства в них» (2020-2021 рр.), був відповідальним виконавцем теми «Удосконалити науково-методичні засади Національної інвентаризації та моніторингу і розробити прогнозні оцінки динаміки стану лісів (2020-2024 рр.).

В. Пастернак є автором і співавтором декількох галузевих нормативних документів, зокрема «Інструкції з проведення національної інвентаризації лісів», «Концепції розбудови національної системи моніторингу та інвентаризації лісів», «Прогнозних оцінок динаміки стану та продуктивності лісів України на період до 2050 року за різними сценаріями з урахуванням зміни клімату».

Починаючи з 2025 р., В. Пастернак бере участь у виконанні теми «Удосконалити методи збору і аналізу даних національної інвентаризації лісів відповідно до сучасних європейських вимог та з урахуванням наслідків воєнних дій». Серед завдань теми – оцінювання впливу воєнних дій на збір даних національної інвентаризації лісів, дослідження сучасних європейських практик збору та аналізу даних національної інвентаризації лісів і вдосконалення методів збору та аналізу відповідних даних. Підсумком досліджень має бути розроблення «Рекомендацій щодо збору та аналізу даних національної інвентаризації лісів з урахуванням сучасних європейських вимог і наслідків впливу воєнних дій». Їхнє впровадження дасть змогу оперативно оцінювати стан лісів, порівнювати його показники за різні періоди та у різних регіонах, формулювати тактичні і стратегічні рекомендації.

Публікації В. Пастернака, яких понад 200, зокрема п'ять монографій і два навчальні посібники, присвячені методичним питанням моніторингу лісів і результатам оцінювання вуглецевого циклу в лісах, поглинання ними парникових газів, уразливості та адаптаційних можливостей лісів до зміни клімату, сталого лісокористування та управління лісами.

Під керівництвом В. Пастернака захищено три кандидатські дисертації, присвячені питанням лісової типології (В. Назаренко, 2014), формування та росту вільхових насаджень (С. Бугайов, 2018), оцінювання розмірно-якісної структури запасу дубових деревостанів (О. Слиш, 2021).

Учений є членом редколегії наукових видань «Лісівництво і агролісомеліорація», «Folia Forestalia Polonica», рецензує монографії, посібники, статті в багатьох вітчизняних і зарубіжних журналах.

Володимир Пастернак ефективно виконує як польові дослідження, так і статистичний аналіз результатів, він добре володіє технологією Field-Map. Учений є інтелігентною, скромною і безвідмовною, працездатною і чуйною людиною. Він мав дуже добрих вчителів, починаючи з батьків, та унаслідував їхні найкращі риси.

За вагомі наукові досягнення Володимира Петровича Пастернака нагороджено відзнакою Держлісагентства – нагрудним знаком «Відмінник лісового господарства України» та нагрудним знаком «Видатний вчений-лісівник України».

Побажаємо ювіляру подальшої плідної праці, здоров'я та натхнення!

Основні наукові праці

- Buksha, I.F., Pyvovar, T.S., Bondaruk, M.A., Pasternak, V.P., Krakovska, S.V. (2023). Vulnerability assessment of Ukrainian forests as the basis of nature-based solutions for mitigation and adaptation to climate change. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Вип. 25. С. 138-145.
- Buksha, I.F., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., Pasternak, V.P., Buksha, T.I. (2021). Modelling and forecasting the impact of climate change on forests of Ukraine for 21st century time horizon. *Forestry Ideas*. Vol. 27, No 2 (62). P. 470-482.
- Nazarenko, V.V., Garmash, A.V., Buhaiiov, S.M., Pasternak, V.P., Pyvovar, T.S. (2021). State and dynamics of forest fund indicators in SE “Skrypaivske educational and research forestry” (Forest-Steppe, Ukraine). *Ukrainian Journal of Ecology*. № 11 (8). P. 71-78.
- Pasternak, V.P., Prihodko, O.B., Pyvovar, T.S., Yarovitsky, V.Yu. (2020). Dynamics of pine stands condition in SE “Lymanske Forest Economy”. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Вип. 21. С. 68-76.

- Pasternak, V., Pyvovar, T., Yarotsky, V. (2020). Forest carbon stock in Left-bank Forest-Steppe of Ukraine according to intensive forest monitoring data. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Вип. 20. С. 120-130.
- Tkach, V., Buksha, I., Slysh, O. and Pasternak, V. (2021). Optimization of maturity age for cop-pice oak forests within Left-Bank Forest-Steppe in Ukraine. *Central European Forestry Journal*. Vol. 67. National Forest Centre. Forest Research Institute Zvolen. NFC.P. 181-186.
- Yarotskiy, V. Yu., Pasternak, V. P. and Nazarenko, V. V. (2019). Deadwood in the oak forests of the Left Bank Forest-steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Po-lonica*. Vol. 61: Issue 4. P. 247-254.
- Zibtsev, S., Pasternak, V., Vasylyshyn, R., Myro-niuk, V., Sydorenko, S., & Soshenskyi, O. (2024). Assessment of carbon emissions due to landscape fires in Ukraine during war in 2022. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*. Vol. 15(1). P. 126-139.
- Бугайов, С.М., Гірс, О.А., Пастернак, В.П. (2021). Закономірності розподілу дерев за діаметром та динаміка товарної структури вільхових дерево-станів Слобожанського лісотипологічного райо-ну. *Український журнал лісівництва та дереви-нознавства*. Вип. 12 (1). С. 17-24.
- Бугайов, С.М., Пастернак, В.П. (2020). Вільхові ліси Лівобережного Лісостепу України: стан та продуктивність: монографія. Харків: Планета-Прінт. 180 с.
- Букша, І.Ф., Пивовар, Т.С., Пастернак, В.П., Букша, М.І., Лялін, О.І., Букша, Т.І. (2020). Застосування моделі Патерсона для оцінювання впливу зміни клімату на потенційну продуктив-ність лісів України. *Лісівництво і агролісомеліо-рація*. Вип. 137. С. 62-71.
- Гірс, О.А., Пастернак, В.П., Слиш, О.А. (2021). Динаміка товарної структури дубових дерево-станів вегетативного походження Слобожансько-го лісотипологічного району. *Лісівництво і агро-лісомеліорація*. Вип. 138. С. 3-8.
- Назаренко, В.В., Пастернак, В.П. (2016). Законо-мірності формування типів лісу Лісостепу Хар-ківщини: монографія. Харків: Планета-Прінт. 190 с.
- Назаренко, В.В., Пастернак, В.П., Яроцький, В.Ю. (2014). Удосконалення нормативів лісоуправ-ління у рекреаційних дубових лісах північного сходу України. *Вісник ХНАУ. Серія «Ґрунтознав-ство, агрохімія, землеробство, лісове господар-ство»*, 2, 162-167.
- Пастернак, В.П., Гірс, О.А., Гармаш, А.В. (2023). Динаміка товарної структури штучних сосно-вих деревостанів Слобожанського лісотиполо-гічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 142. С. 15-21.
- Пастернак, В.П., Гірс, О.А., Скляров, В.О. (2022). Dynamics of dimensional structure and merchantability of aspen stands in the Slobozhansky forest typological district. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Вип. 24. С. 136-142.
- Пастернак, В.П., Назаренко, В.В., Скляров, В.О. (2024). Динаміка показників лісового фонду філії «Зміївське ЛГ». *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 145. С. 3-12.
- Пастернак, В.П., Пивовар, Т.С., Букша, І.Ф., Букша, Т.І. (2025). Підходи до організації сис-теми моніторингу накопичення вуглецю в лісах НПП «Кременецькі Гори». *Лісівництво і агро-лісомеліорація*. Вип. 146. С. 75-82.
- Пастернак, В.П., Слиш, О.А., Назаренко, В.В. (2021). Розмірно-якісна структура стовбурів *Quercus robur* L. у деревостанах вегетативного походження Лівобережного Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Вип. 22. С. 165-172.
- Приходько, О.Б., Пастернак, В.П., Пивовар, Т.С., Яроцький, В.Ю., Лялін, О.І. (2022). Особливос-ті динаміки таксаційних показників і стану лісів у Придонецькому Степу в контексті змін кліма-ту. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 141. С. 23-32.
- Ткач, В.П., Висоцька, Н.Ю., Торосов, А.С., Букша, І.Ф., Пастернак, В.П., Лось, С.А. (2023). Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України. Наукове видання. Харків: Мачулін. 27 с.
- Яроцький, В.Ю., Пивовар, Т.С., Пастернак, В.П., Гармаш, А.В. (2016). Структура лісових наса-джень сосни звичайної Лівобережного Лісо-степу України. *Науковий вісник НЛТУ України*. Вип. 26.4. С. 53-59.

**AN AUTHORITY IN FOREST REGULATION,
FOREST INVENTORY, FOREST SCIENCE,
AND FOREST MANAGEMENT
(to the 60th anniversary of birth
of Professor V. P. Pasternak,
Full Member of the Forestry Academy
of Sciences of Ukraine)**

V.L. Meshkova¹

The paper aims to highlight the main aspects of the scientific research of Volodymyr Pasternak, who turned 60 on January 22, 2025, and his scientific school. Volodymyr Pasternak is a Doctor Habil., Professor, Full Member of the Forestry Academy of

¹ Valentyna L. Meshkova – Full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (Agricultural Sciences), professor, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriia Skovorody st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

Sciences of Ukraine. In 1987, he received a degree in forestry engineering from the Ukrainian Agricultural Academy (now the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine). After postgraduate studies, in 1990 he defended his PhD thesis ("Regulation of the productivity of artificial spruce forests in the Carpathians"), and in 2011, his Doctoral habilitation thesis ("Forest bioproductivity of the North-East of Ukraine in the context of climate change"). In 2015, V. Pasternak became a Professor, and in 2017, a Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. V. Pasternak has worked at the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry (URIFFM) since 2000. He is currently a senior researcher at the Department of Forest Inventory, Monitoring, Certification and Forest Management of the URIFFM and a part-time professor at the Department of forest plantations, land reclamation and horticulture-and-park management of the State Biotechnological University, where he teaches forest monitoring and certification, forest typology, and information technologies in horticulture-and-park management.

V. Pasternak's scientific interests include forest health monitoring, carbon cycle and absorption of greenhouse gases by forests, vulnerability of forests and their adaptation to climate change, developing strategies for the forest sector to respond to climate change, and issues of sustainable forest use and management. Volodymyr Pasternak has developed models of forest productivity dynamics, carbon sequestration, and forest health trends in northeastern Ukraine. He analyzed the dynamics of carbon in various com-

ponents of forest stands and the patterns of absorption of photosynthetically active radiation (PAR), built models and tables of the growth and phytomass of modal artificial pine stands, calculated the reserves and dynamics of detritus in forest stands and its role in carbon dynamics, and generally developed regulatory and information support for assessing carbon dynamics in the main forest types. He has improved the methodology for compiling a greenhouse gas inventory in the forestry subsector, considering the management types and natural conditions of Ukraine, assessed the vulnerability of forest ecosystems to climate change, and predicted their dynamics. GIS technologies and methods of selective and statistical forest inventory (Field-Map) made it possible to assess the dynamics of stand productivity and carbon sequestration. Proposals on the ages of forest maturity were substantiated for forest use standards. The proposed methods are being implemented in national reporting under the United Nations Framework Convention on Climate Change (UNFCCC) and the Kyoto Protocol, and in the educational process.

V. Pasternak is the author and co-author of more than 200 works, including 5 monographs, 2 textbooks, and several regulatory documents. Under his supervision, 3 postgraduate students and external doctoral candidates defended their PhD Theses. He is a member of the editorial boards of the journals "Forestry and Forest Melioration" and "Folia Forestalia Polonica". For significant scientific achievements, V. Pasternak was awarded the badges "Excellent Forester of Ukraine" and "Outstanding Forestry Scientist of Ukraine."

СТОРІНКИ ВІТЧИЗНЯНОЇ ЛІСОВОЇ СЕЛЕКЦІЇ (до 60-річчя від дня народження С. А. Лось, члена-кореспондента Лісівничої академії наук України, члена Президії ЛАН України)

Л. І. Терещенко¹, В. Г. Григор'єва²



Висвітлено основні аспекти теоретичної і практичної діяльності **Світлани Анатоліївни Лось**, спрямованої на отримання нових знань та їх застосування для вирішення завдань лісової селекції, інтродукції і насінництва. Життя Світлани Лось нерозривно пов'язане з Харковом, а трудова діяльність – із Українським науково-дослідним інститутом лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДІЛГА), де вона є завідувачем відділу селекції, генетики та біотехнології. Кандидатську дисертацію захищено в УкрНДІЛГА у 1992 р. з особливостей біології плодоношення фундука. На сьогодні Світлана Лось – провідний фахівець із селекції, насінництва та інтродукції видів і гібридів роду *Quercus* в Україні. Нею запропоновані методичні підходи до вивчення мінливості морфологічних ознак *Quercus robur* L., оцінювання об'єктів збереження генофонду листяних деревних видів *in situ*, комплексного оцінювання селекційних об'єктів.

Вченою опубліковано понад 180 робіт, із яких кожна третя публікація присвячена хвойним та листяним інтродуцентам та їх перспективності для лісового господарства. С. Лось також бере активну участь у створенні та дослідженні науково-дослідних об'єктів різних видів деревних рослин, гібридів, сортів, форм, збагаченню колекцій деревних видів. З 2010 р. С. Лось як національний координатор із збереження лісових генетичних ресурсів в Україні, очолювала роботу з підготування звітів країни для ФАО, та приймала участь у роботі EUFORGEN. Член редколегії збірника «Лісівництво і агролісомеліорація». З 2016 р. С. Лось – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, з 2025 р. – член Міжвідомчої робочої групи щодо розробки Національної стратегії з біорізноманіття. Учена є представником УкрНДІЛГА та доповідачем на численних конференціях і нарадах національного й міжнародного рівня. З 2012 р. – керівник низки науково-дослідних тем за державним замовленням. За цей період розроблено та затверджено на НТР Держлісагентства дев'ять вихідних документів, серед яких настанови, рекомендації, методики. Під керівництвом ученої захищено три кандидатські дисертації, ще три науковці готуються до захисту.

¹ Терещенко Лариса Іванівна – кандидат сільськогосподарських наук, провідний науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: larisa_tereshchenko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5203-518X>

² Григор'єва Вікторія Георгіївна – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник ДП «Харківська ЛНДС», с. Черкаська Лозова, Дергачівський район, Харківська область, 62300, Україна. E-mail: grygorye@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9367-4612>

Понад 10 років викладала дисципліни «Дендрологія» та «Озеленення населених місць» у Харківській зооветеринарній академії. Завдяки особистим якостям – працьовитості, творчому підходу до роботи, вмінню згуртовувати навколо себе людей, широкому світогляду С. Лось отримала визнання як фахівець-селекціонер, дендролог, педагог і талановита людина.

Світлана Анатоліївна Лось – завідувач відділу селекції, генетики та біотехнології Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького (УкрНДІЛГА), кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, член-кореспондент Лісівничої академії наук України. Визнаний спеціаліст із проблем лісової селекції, генетики, інтродукції та насінництва.

Життєвий шлях ученої нерозривно пов'язаний з Харковом. Вона народилася 27 травня 1964 року. Відразу після закінчення школи розпочала трудову діяльність на посаді лаборанта в лабораторії фізіології та біохімії рослин в УкрНДІЛГА. З відривом від виробництва закінчила Харківський сільськогосподарський інститут ім. В.В. Докучаєва (тепер – Державний біотехнологічний університет) та вступила у 1988 р. до очної аспірантури кафедри лісівництва цього закладу освіти.

У 1992 р. С.А. Лось захистила в УкрНДІЛГА кандидатську дисертацію на тему «Особливості біології плодоношення фундука в умовах північно-східних районів України», виконану під керівництвом проф. Б.П. Остапенка. Фахова зацікавленість у дослідженні фундука, як перспективного для України промислового виду, залишається в ученої й донині. Гібриди фундука, отримані нею від схрещувань та вільного запилення сортів селекції Ф.А. Павленка, у 1992 р. були висаджені у дендропарку УкрНДІЛГА (ДП «Харківська ЛНДС»). За результатами досліджень їхнього росту та розвитку виділено найбільш зимостійкі форми (Лось, 2007), а за результатами оцінювання урожайності та морфології плодів – найбільш перспективні для отримання горіхів (Лось, Колчанова, 2013). Також учена запропонувала методологічний підхід до оцінювання продуктивності пилку сортів фундука (Los, 2019).

Робота з селекції дуба звичайного в лабораторії селекції, насінництва та інтродукції УкрНДІЛГА на посаді молодшого наукового співробітника розпочалася під керівництвом к.с.-г.н. Н.І. Давидової. Надія Іванівна та завідувач лабораторії – Петро Іванович Молотков стали її наставниками у галузі лісової селекції. З роками С.А. Лось стала провідним фахівцем із селекції, насінництва та інтродукції видів і гібридів *Quercus*.

Станом на 2025 р. близько 30% публікацій ученої присвячено дубу звичайному та його гібридам. Частина матеріалів стосується плантаційного насінництва дуба звичайного, зокрема вивченню фенологічного розвитку та репродукційних процесів,

особливостей розвитку крон клонів дуба звичайного на КНП, особливостей створення плантацій (Лось, 2008; Лось, 2018; Лось, Годований, 2019). Покращення насінництва *Quercus robur* неможливе без інвентаризації, розширення та оновлення об'єктів постійної лісонасінної бази (Лось та ін., 2013). У публікаціях, присвячених популяційним дослідженням дуба звичайного, висвітлені питання збереження генофонду як старовікових дерев (Лось, 2015), так і генетичних резерватів і плюсових насаджень; флористичного різноманіття у таких деревостанах; відбору нових об'єктів збереження генофонду (Лось та ін., 2018).

Окремий напрям досліджень С.А. Лось – вивчення потомств плюсових і кращих дерев дуба у випробних культурах (Лось та ін., 2012, 2020а; Лось та ін., 2009). За ініціативою ученої та її безпосередньої участі досліджено найстаріші випробні культури *Quercus robur* в Україні, створені у 1958 р. під керівництвом Н.І. Давидової у ДП «Харківська ЛНДС», оцінено сучасний стан кандидатів у плюсові дерева, відібраних у цих культурах. Встановлено, що серед 53 представлених потомств 27 (51%) є швидкорослими. Серед потомства плюсових дерев, які включені до чинного Державного реєстру, 70% є швидкорослими, а 45% – із високою якістю стовбура. Рекомендовано під час відбору плюсових дерев на продуктивність відбирати екземпляри, у яких безгілкова частина стовбура становить не менше 40% (Los, 2016).

Особлива цікавість до міжвидових гібридів дуба селекції С.С. П'ятницького була зумовлена перспективністю деяких із них для створення посухостійких насаджень у жорстких кліматичних умовах Лісостепу й Степу. За результатами досліджень, учена разом із колегами довела відносну перспективність потомств гібридів другого покоління для створення лісових культур і, водночас, їх перспективність для створення захисних насаджень (Лось та ін., 2010; Лось, Сидоренко, Григор'єва, 2022). За попередніми результатами, третє покоління гібридів *Quercus robur* в умовах Лівобережного Лісостепу виявило переваги над контролем, зокрема за інтенсивністю росту, часткою дерев з яскраво вираженим моноподіальним типом галузнення, стійкістю до борошнистої роси та раннім початком репродуктивної фази (Лось, Грицайчук, Тарасенко, 2010; Лось, 2011; Програма..., 2020). За розробленою шкалою декоративності (Los, Gritsaychuk, 2016) запропоновано декілька гібридів дуба селекції С.С. П'ятницького для використання у ландшафтній архітектурі.

Аналізуючи прояв морфологічного різноманіття листя, квіток, плодоніжок, плодів дуба звичайного, С.А. Лось запропонувала методичні підходи до вивчення мінливості цього виду (Лось, Борисова, 2002; Лось, 2009; Los, 2021; Los, Smashnuk, 2020), а також до оцінювання об'єктів збереження генофонду листяних деревних видів *in situ* (Волосянчук, Лось, Торосова, 2003; Лось та ін., 2018). За ініціативою вченої створено базу даних для обліку плюсових дерев у семи областях України із застосуванням ГІС-технологій (Zhadan et al., 2023). С.А. Лось бере активну участь у створенні та дослідженні науково-дослідних об'єктів різних видів гібридів, сортів, форм деревних рослин, зокрема сортів тополь і верб (Лось, Золотих, 2014; Нестеренко та ін., 2020).

Учена багато сил і часу присвятила дослідженню інтродуцентів. Понад 60 публікацій присвячені хвойним і листяним інтродуцентам та їх перспективності для лісового господарства. З-поміж хвойних видів дослідження стосуються сосен жовтої, Веймутової, чорної, псевдотсуги Мензіса, різних видів модрина, ялівцю віргінського, ялини колючої (Лось, Висоцька, 2009; Лось, Григор'єва та ін., 2018; Терещенко та ін., 2019; Плотнікова та ін., 2023). Перелік листяних інтродуцентів охоплює дуб червоний, бук лісовий, горіхи (волоський, чорний, сірий, ведмежий), карію, клен цукровий, клен-явір, березу карельську, робінію звичайну, гледичію колючу та інші менш розповсюджені види (Лось, Самодай та ін., 2020b; Риженко, Лось, 2021; Лось, Терещенко та ін., 2023; Лось, Гайда, Терещенко, 2024; Лось, Терещенко та ін., 2024). Дослідженнями охоплено як лісові насадження, так і дендрологічні парки Харківської, Полтавської, Сумської, Вінницької, Кіровоградської, Черкаської, Тернопільської, Київської, Хмельницької областей (Лось, Марчук та ін., 2004; Gribovich, Halimon, Los, 2018; Риженко, Лось, 2021; Терещенко, Лось та ін., 2023). За участю вченої здійснено відбір кращих нормальних і плюсових дерев інтродуцентів у різних регіонах для створення або розширення постійної лісонасінної бази.

Починаючи з 2015 р., учена разом із колегами бере активну участь у реконструкції старої частини дендропарку УкрНДІЛГА (ДП «Харківська ЛНДС»). За час реконструкції створено 21 композицію зі 129 видів, 32 форм і п'яти масивів впродовж 2015-2021 рр. У 2021 р. за участю С.А. Лось розпочато реконструкцію південної ділянки парку (Лось, Григор'єва, 2022). Дендропарк УкрНДІЛГА – науковий об'єкт, де результати вивчення росту, розвитку та адаптивності інтродуцентів використано в процесі розроблення «Рекомендацій щодо асортименту деревних порід за цільовим призначенням для Лівобережного лісостепу України» (2000), «Рекомендацій зі створення лісонасінної бази найперспективніших інтродуцентів деревних рослин» (2008) і «Рекомендацій щодо засто-

сування інтродукованих деревних видів для створення насаджень різного цільового призначення в Україні та запобігання прояву їхньої інвазійної активності» (2023).

На території садиби УкрНДІЛГА С.А. Лось є ініціатором висаджування цікавих декоративних видів і форм деревних рослин. Під час викладання у Державній зооветеринарній академії вчена також проектувала та брала участь у створенні дендропарку навчального закладу.

У 2024 р. приймала участь у роботі Міжвідомчої робочої групи щодо інвазійних чужорідних видів тваринного й рослинного світу, а з 2025 р. – Міжвідомчої робочої групи щодо розробки Національної стратегії з біорізноманіття при Міністерстві захисту довкілля та природних ресурсів України.

У 1997-1999 рр. С.А. Лось задіяна у складанні національних звітів для EUFORGEN (міжнародна мережа, яка сприяє збереженню і сталому використанню лісових генетичних ресурсів в Європі) (Patlaj et al., 1999). Брала активну участь в організації та проведенні інвентаризації об'єктів збереження генофонду листяних деревних видів. З 2010 р. С.А. Лось, як національний координатор із збереження лісових генетичних ресурсів в Україні, очолювала роботу з підготування звітів країни для ФАО, та приймала участь у роботі EUFORGEN. Робочою групою, до складу якої увійшли представники 12 установ та організацій, під керівництвом С.А. Лось узагальнено матеріали для Звіту про стан світових генетичних ресурсів в Україні (State of forest genetic resources, 2014). У 2025 р. опубліковано другу доповідь ФАО (Україна. Моніторинг реалізації Глобального плану дій щодо збереження, сталого використання та розвитку лісових генетичних ресурсів) (The Second Report, 2025). Неодноразово С.А. Лось безпосередньо брала участь у робочих нарадах EUFORGEN.

За участю С.А. Лось підготовлено та опубліковано важливі наукові розробки – «Концепція збереження і сталого використання лісових генетичних ресурсів в Україні» (Krynytskyi et al., 2017), «Стан лісових генетичних ресурсів у світі й Україні» (Ткач та ін., 2019), «Економічна оцінка екосистемних послуг лісів України» (Ткач та ін., 2023).

З 2016 р. С.А. Лось є член-кореспондентом Лісівничої академії наук України. Тематика її статей у збірнику «Наукові праці Лісівничої академії наук України» різнопланова – від результатів дослідження мінливості морфолого-біометричних показників та особливостей репродукції дуба звичайного (Лось, 2018; Лось, Годований, 2019; Los, Smashnuk, 2020; Los, 2021) до комплексного оцінювання перспективності видів і гібридів модрина (Лось, Григор'єва та ін., 2018) та методичних підходів до оцінювання інвазійної активності і селекційної цінності робінії звичайної (Los, Tereshchenko, Petrenko, 2022). Учена є членом ред-

колегії наукового фахового збірника УкрНДІЛГА «Лісівництво і агролісомеліорація».

Науковий доробок С.А. Лось включає понад 180 наукових праць, серед яких монографії, посібники, статті у фахових наукових виданнях України та Європи, матеріали конференцій. У 2003 р. проходила наукове стажування у Нідерландах.

Учена є керівником низки науково-дослідних тем за державним замовленням, починаючи з 2012 року. За цей період, окрім щорічних звітів, у відділі селекції, генетики та біотехнології (до січня 2022 р. – лабораторії селекції), розроблено низку документів: «Настанови з лісового насінництва» (нова редакція), «Перспективні генотипи і популяції деревних порід для створення високопродуктивних та стійких лісових насаджень, біоенергетичних плантацій», «Програма сортовипробування лісових деревних порід в Україні», «Методика сортовипробування лісових деревних порід», «Методичні вказівки щодо проведення інвентаризації селекційних об'єктів», «Сорти-популяції синтетичні сосни і дуба», «Пропозиції щодо уточнення лісонасіннєвого районування», «Методичні рекомендації із відбору та оцінювання селекційного матеріалу аборигенних та інтродукованих деревних рослин».

Під керівництвом ученої захищено три кандидатські дисертації (П.П. Михайлов, 2010; Н.Ю. Висоцька, 2017; О.М. Плотнікова, 2021), ще три науковці працюють над своїми науковими роботами. С.А. Лось охоче передає досвід і знання молодшому поколінню. Її лекції як на курсах підвищення кваліфікації для фахівців лісового господарства, так і для аспірантів УкрНДІЛГА, чи то студентів освітніх закладів вирізняються логічною послідовністю, наочністю, науковою достовірністю. Понад 10 років С.А. Лось викладала дисципліни «Дендрологія» та «Озеленення населених місць» у Державній зооветеринарній академії. У співавторстві із С.П. Позняковою видано навчальні посібники з дендрології голонасінних (2015 і 2024 рр.).

За вагомі наукові здобутки С.А. Лось нагороджено численними відзнаками, грамотами та подяками Держлісагентства, Національної Академії наук, Товариства лісівників України, Обласної державної адміністрації тощо. У 2024 р. вона отримала державну нагороду – орден княгині Ольги III ступеня, якою відзначають жінок за визначні заслуги у державній, виробничій, громадській, науковій, освітянській, культурній, благодійницькій та інших сферах суспільної діяльності.

У повсякденному житті Світлана Анатоліївна Лось – відповідальна, чуйна, доброзичлива людина. Як висококваліфікований спеціаліст із енциклопедичними знаннями, вона помічає й обґрунтовує необхідність розв'язання конкретних наукових проблем, передає свій багатий досвід молодому поколінню науковців.

Завдяки наполегливій праці, відданості науці та щирій любові до своєї справи, Світлана Анатоліївна Лось зробила вагомий внесок у розвиток лісівничої науки України. Її діяльність є яскравим прикладом професіоналізму, людяності та служіння науковій спільноті й суспільству.

Основні наукові праці

- Hayda, Yu., Los, S., Yatsyk, R., Tereshchenko, L., Shlonchak, G., Mytrochenko, V., Neyko, I., Samodai, V., Smashnyuk, L., Klisz, M., Mohytych, V. (2019). Seed orchards in Ukraine: past, present and prospects for the future. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 61 (4), 284-298.
- Krynytskyi, H.T., Hayda, Yu.I., Yatsyk, R.M., Papan, V.I., Los, S.A. (2017). Concept for the conservation and sustainable use of forest genetic resources in Ukraine. *Науковий вісник НЛТУ України*. Львів. Т. 27, № 8. С. 37-44.
- Los, S.A. (2019). Methodological approach to the assessment of hazelnut cultivars pollen productivity. *Agrobiodiversity for Improve the nutrition, health and quality of human and bees life*. Nitra. P. 113.
- Los, S.A. (2016). Results of 50-year testing of progenies of English Oak plus-trees and best trees. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 128. С. 3-11.
- Los, S.A. Gritsaychuk, V.V. (2016). The prospects for the use of oak hybrids in landscape architecture of Ukraine. *Formation of urban green areas*, 1(13), 209-216.
- Los, S., Smashnuk, L. (2020). Morphological variability of *Quercus robur* L. plus trees and clones in Podillia. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. № 20. С. 107-119.
- Los, S., Tereshchenko, L., Petrenko, M. (2022). Approbation of the method for assessing the invasive activity and selection value of *Robinia pseudoacacia* L. in Kirovohrad region conditions. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. Вип. 24. С. 24-35.
- State of forest genetic resources in Ukraine. (2014). / S.A. Los, L.I. Tereshchenko, Yu. I. Gayda, P.M. Ushtimenko, and other Kharkiv: PLANETA-PRINT. 138 p.
- The Second Report on the State of the World's Forest Genetic Resources. (2025). Country report. Ukraine. *FAO Commission on Genetic Resources for Food and Agriculture Assessments*. Rome. 65 p.
- Zhadan, I.B., Los, S.A., Torosova, L.O., Plotnikova, O.M., Grygoryeva, V.G. (2023). Application of GIS technologies for accounting plus tree. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 143. С. 50-60. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.143.2023.50>
- Волосянчук, Р.Т., Лось, С.А., Торосова, Л.О. (2003). Методичні підходи до оцінки об'єктів

- збереження генофонду листяних деревних порід *in situ* та їх сучасний стан у Лівобережному лісостепу України. *Лісівництво та агролісомеліорація*. Вип. 104. С. 50-57.
- Лось, С.А. (2018). Динаміка репродуктивних процесів на клонівих насінних плантаціях дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у Лівобережному Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. Вип. 15. С. 64-72.
- Лось, С.А. (2015). Збереження генофонду старовікових дерев дуба звичайного в умовах *ex situ*. *Науковий вісник Національного ун-ту біоресурсів і природокористування України*. Вип. 229. С. 265-271.
- Лось, С.А. (2006). Історія та перспективи селекції дуба в Україні. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 110. С. 170-178.
- Лось, С.А. (2009). Методичні підходи до вивчення індивідуальної мінливості дуба звичайного (*Quercus robur* L.) за морфологічними ознаками жіночих репродуктивних структур. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 115. С. 20-27.
- Лось, С.А. (1992). Особенности биологии плодоношения фундука в условиях северо-восточных районов Украины: автореф. дис... канд. с.-х. наук : спец. 06.03.01. – лесные культуры, селекция и озеленение городов. Харьков, УкрНДІЛГА. 21 с.
- Лось, С.А. (2021). Популяційна мінливість морфологічних ознак жіночих репродуктивних органів *Quercus robur* L. у Лісостепу та Степу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. № 22. С. 108-120. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/648>
- Лось, С.А., Годованій, О.М. (2019). Особливості розвитку крон дуба звичайного (*Quercus robur* L.) на клонівих насінних плантаціях у Харківській області. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. Вип. 18. С. 76-84.
- Лось, С.А., Григор'єва, В.Г., Самодай, В.П., Нейко, І.С. (2018). Комплексне оцінювання перспективності видів і гібридів модрини для умов Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. Львів: ЛАНУ. Вип. 16. С. 62-79.
- Лось, С.А., Григор'єва, В.Г., Сماشнюк, Л.В., Нейко, І.С., Ваколюк, В.Д. (2009). Особливості росту та фенологічного розвитку напівсибсових потомств плюсових дерев дуба звичайного у випробних культурах 26-33-річного віку на Вінниччині. *Науковий Вісник НЛТУ: збірник науково-технічних праць*. Львів : РВВ НЛТУ України. Вип. 19.10. С. 58-64.
- Лось, С.А., Самодай, В.П., Терещенко, Л.І., Бірченко, Д.Є. (2020b). Бук в дослідних культурах і дендропарках Північного Сходу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 136. С. 46-58.
- Лось, С.А., Сидоренко, С.В., Григор'єва, В.Г. (2022). Комплексне оцінювання гібридів дуба другого покоління селекції С.С. П'ятницького на Харківщині. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 141. С. 59-66.
- Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Висоцька, Н.Ю., Григор'єва, В.Г. (2013). Відбір об'єктів постійної лісонасінної бази дуба звичайного на Полтавщині. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 123. С. 21-26.
- Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Григор'єва, В.Г., Грибович, Є.С. (2024). Особливості росту клена-явора у насадженнях Лівобережного Лісостепу. *Лісівництво, перероблення деревини та землевпорядкування: здобутки, стан і перспективи*. Харків: ДБТУ. С. 79-81.
- Плотнікова, О.М., Григор'єва, В.Г., Лось, С.А., Губін, Є.А. (2023). Комплексне оцінювання географічних кліматипів сосни жовтої в умовах північного сходу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*. Вип. 142. С. 59-68.
- Познякова, С.І. Лось, С.А. (2024). Декоративна дендрологія. Голонасінні: навчальний посібник. Харків: Факт. 325 с.
- Познякова, С.П. Лось, С.А. (2015). Дендрологія. Голонасінні: навчальний посібник. Харків: Харківський національний аграрний ун-т ім. В.В. Докучаєва. 200 с.
- Риженко, Т.С., Лось, С.А. (2021). Дослідження з селекції представників роду *Juglans* на території ДСДЛЦ «Веселі Боковеньки». *Генетичні ресурси рослин*. Вип. 29. С. 69-82.
- Терещенко, Л.І., Лось, С.А., Григор'єва, В.Г., Плотнікова, О.М., Шлончак, Г.А., Шлончак, Г.В., Самодай, В.П. (2023). Колекції голонасінних рослин дослідної мережі УкрНДІЛГА. *Досвід утримання колекцій голонасінних рослин в Україні: напрацювання, складнощі, перспективи*. Біла Церква: ТОВ «Білоцерківдрук». С. 261-282.
- Ткач, В.П., Лось, С.А., Висоцька, Н.Ю., Терещенко, Л.І., Торосова, Л.О. (2019). Стан лісових генетичних ресурсів у світі й Україні. *Генетичні ресурси рослин*. № 25. С. 26-40. www.genres.com.ua

PAGES OF FOREST TREE BREEDING IN UKRAINE

**(to the 60th anniversary of the birth
of S. A. Los, a corresponding member
of the Forestry Academy of Sciences
of Ukraine, member of the FASU Presidium)**

L. Tereshchenko¹, V. Grygorjeva²

The 60th birthday of Svitlana Los is a great opportunity to remember her significant contribution to forest science, practice, and education. This paper aims to highlight the main aspects of the theoretical and practical activities of S. Los in obtaining new knowledge and applying it to solve specific problems of forest tree breeding, species introduction, and seed production.

S. Los's life is inextricably linked with Kharkiv, and her work with the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration (URIFFM), where S. Los is currently the Head of the Department of Forest Tree Breeding, Genetics, and Biotechnology.

The PhD thesis, which S. Los defended at URIFFM in 1992, was concerned with the biology of hazelnut fruiting. Today, S. Los is a leading specialist in the forest tree breeding, seed production, and introduction of species and hybrids of the *Quercus* spp. in Ukraine. She proposed methodological approaches to studying

the variability of European oak, evaluating objects of conservation of the gene pool of broadleaved tree species *in situ*, creating and comprehensively assessing breeding objects, and initiated the creation of a database of plus trees using GIS.

S. Los has published more than 180 works, of which every third publication deals with coniferous and deciduous introduced species and their prospects for forestry. She actively creates the research objects of various woody and shrubby plants, hybrids, varieties, and forms, studies them, and is interested in enriching collections of woody species in arboreta.

Since 2010, S. Los, as the national coordinator for the conservation of forest genetic resources in Ukraine, has led the work on preparing country reports for FAO, and participated in the work of EUFORGEN. She is a member of the editorial board of "Forestry and Forest Melioration". Since 2016, S. Los has been a corresponding member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine. In 2025, she is a member of the Interagency Working Group on the Development of the National Biodiversity Strategy under the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources. S. Los is also a representative of URIFFM and a speaker at numerous conferences and meetings at the national and international level. In 2003 she completed an internship in the Netherlands. Since 2012, she has been the research manager of several research and development projects of various themes. In addition to annual reports, 9 documents have been developed and approved during this period, including guidelines, recommendations, and methodologies. Under the supervision of S. Los, three PhD theses have been defended, and three more scientists are working on their theses. For over 10 years, she taught "Dendrology" and "Greening of populated areas". S. Los has gained recognition as a specialist on forest tree breeding, dendrology, a teacher, and a talented person due to her personal qualities – broad outlook, hardworking, creative approach to work, and ability to work in a team.

¹ *Larysa I. Tereshchenko* – PhD in Agricultural Sciences, Leading Researcher. The G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhoriy Skovoroda st., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: larisa_tereshchenko@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5203-518X>

² *Viktoriya G. Grygorjeva* – PhD in Agricultural Sciences, Senior Researcher, State Enterprise "Kharkiv FRS", the village of Cherkaska Lozova, Dergachi district, Kharkiv region, 62300, Ukraine. E-mail: grygorye@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-9367-4612>

8. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

БЛАГОРОДНА СПРАВА ЙОГО І НЕВМИРУЩИЙ РОДОВІД – ПРОДОВЖУЮТЬСЯ

In Memoriam

Пам'яті Почесного академіка Лісівничої академії наук України
Петра Петровича Дурдинця
(9.08.1930–23.05.2025)

Роман Шпек¹, Валерій Самоплавський², Юрій Туниця³, Григорій Криницький⁴,
Юрій Дебринюк⁵, Володимир Кучерявий⁶, Анатолій Дейнека⁷, Володимир Голубець⁸,
Анатолій Бойко⁹, Іван Калуцький¹⁰, Олексій Голубчак¹¹

Нещодавно, на 95-му році життя, відійшов у Вічність Петро Петрович Дурдинець. Людина з великої літери. Громадянин. Висококваліфікований фахівець і громадський діяч. Неперевершений управлінець і науковець. Легендарна постать у лісовій галузі України.

Петро Петрович присвятив усе своє життя невтомній праці в царині важливої для економіки України лісової галузі.

-
- ¹ *Шпек Роман Васильович* – Надзвичайний і Повноважний посол України, випускник Львівського лісотехнічного інституту (1976 р.), заступник Міністра лісової та деревообробної промисловості України (1989-1992 рр.), Міністр економіки України (1993-1995 рр.), Віце-прем'єр міністр України (1995-1996 рр.), голова Національного агентства з питань розвитку і Європейської інтеграції (1996-2000 рр.), Посол, голова Постійного представництва України при Європейському Союзі (2000-2008 рр.)
- ² *Самоплавський Валерій Іванович* – Почесний академік Лісівничої академії наук України, Міністр лісового господарства України (1987-1997 рр.), Голова Комітету лісового господарства України (1997-2002 рр.), кандидат економічних наук
- ³ *Туніця Юрій Юрійович* – академік Національної академії наук України, Почесний Президент Лісівничої академії наук України, ректор Львівського лісотехнічного інституту, Українського державного лісотехнічного університету, Національного лісотехнічного університету України (1993-2021 рр.), доктор економічних наук, професор
- ⁴ *Криницький Григорій Томкович* – Президент Лісівничої академії наук України, Заслужений діяч науки і техніки України, проректор з наукової роботи НЛТУ України (1994-2018 рр.), завідувач кафедри лісівництва НЛТУ України (2019-2025 рр.), професор кафедри лісівництва НЛТУ України, доктор біологічних наук, професор
- ⁵ *Дебринюк Юрій Михайлович* – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, професор кафедри лісових культур і лісової селекції НЛТУ України, доктор сільськогосподарських наук, професор
- ⁶ *Кучерявий Володимир Панасович* – академік Лісівничої академії наук України, Заслужений діяч науки і техніки України, ректор Львівського лісотехнічного інституту (1982-1993 рр.), доктор сільськогосподарських наук, професор
- ⁷ *Дейнека Анатолій Михайлович* – академік Лісівничої академії наук України, начальник Західного міжрегіонального управління лісового та мисливського господарства, Заслужений лісівник України, депутат Львівської обласної ради, доктор економічних наук, професор
- ⁸ *Голубець Володимир Михайлович* – академік Лісівничої академії наук України, Заслужений діяч науки і техніки України, лауреат Державної премії України в галузі науки і техніки, доктор технічних наук, професор
- ⁹ *Бойко Анатолій Антонович* – голова профкому Національного лісотехнічного університету України (1993-2020 рр.), член Центрального Комітету профспілки працівників освіти і науки України (2010-2020 рр.), доцент
- ¹⁰ *Калуцький Іван Федорович* – академік Лісівничої академії наук України, Заслужений лісівник України, начальник Івано-Франківського обласного управління лісового і мисливського господарства (1995-2001 рр.), доктор сільськогосподарських наук, професор
- ¹¹ *Голубчак Олексій Іванович* – академік Лісівничої академії наук України, начальник Івано-Франківського обласного управління лісового і мисливського господарства (2001-2017 рр.), директор Українського науково-дослідного інституту гірського лісівництва (2017-2023 рр.), провідний науковий співробітник лабораторії лісознавства і лісівництва УкрНДІгріліс, кандидат сільськогосподарських наук

Випускник Львівського лісотехнічного інституту. Здобув дві ключові суміжні спеціальності – лісоінженерна справа і деревообробна промисловість. Працюючи на виробництві, він не припиняв займатися науковою роботою, вдосконалювати професійну майстерність. Пройшов шлях від інженера меблевого комбінату до першого заступника Міністра лісової та деревообробної промисловості України, а згодом – керівника Відділу економіки Держплану України. Його ініціативи сприяли створенню взірцевих комплексних лісових підприємств – лісокомбінатів, досвід роботи яких вивчали і переймали фахівці лісової галузі у всіх республіках колишнього СРСР та європейських країнах.

Автор понад 100 наукових праць, зокрема, монографії і галузевих аналітичних статей. Багато років очолював науково-технічне товариство та редагував провідний галузевий журнал.

Відзначений численними державними нагородами.

Всі ми, автори цього життєстверджуючого некролога – In Memoriam – знали Петра Петровича як близьку людину, як державного діяча, видатного організатора виробництва, захисника прав людини і природи, науковця, взірцевого сім'янина, батька двох дітей, дідуся чотирьох онуків і п'ятьох правнуків.



Дурдинець Петро Петрович народився 9 серпня 1930 року в селі Ромчевиця Мукачівського району, що на Закарпатті – мальовничому краї, де з раннього дитинства сформувалося його глибоке розуміння значення лісу для суспільства і держави.

Початкову освіту він здобував у складних історичних умовах, навчаючись у народній школі під час Чехословацької республіки, у гімназії м. Мукачево в період угорської влади, а згодом – у радянській середній школі. Вже тоді проявились його такі визначальні риси характеру, як послідовність, цілеспрямованість і прагнення до знань.

У 1948 р. П. П. Дурдинець вступив на лісоінженерний факультет Львівського лісотехнічного інституту (нині – Національний лісотехнічний університет України), який успішно закінчив у 1953 році. Згодом, паралельно з трудовою діяльністю, здобув другу вищу освіту за фахом «Механічна обробка деревини», ставши першим випускником інституту з двома суміжними спеціальностями. У подальшому постійно підвищував кваліфікацію у різних закладах освіти.

Трудовий шлях Петра Петровича – приклад професійного зростання, невтомної праці та високого рівня відповідальності. Він починав як голов-

ний інженер меблевого комбінату в м. Мукачеві, а згодом став ініціатором і першим директором місцевого філіалу Українського державного інституту з проектування меблів і столярних виробів. У 1960-их роках працював в апараті Українського раднаргоспу, де пройшов шлях від головного інженера до начальника Головного управління лісової, целюлозно-паперової та деревообробної промисловості.

Найбільш значущим періодом його професійної діяльності стали 1965-1986 рр., коли він обіймав посаду заступника, а згодом – Першого заступника Міністра лісової та деревообробної промисловості УРСР. Впродовж 1986-1992 рр. він очолював Відділ економіки лісового господарства і розвитку лісової промисловості у складі Держплану України, впливаючи на стратегічне планування та реформування галузі.

Петро Петрович зробив вагомий внесок у вдосконалення організаційної структури галузі. Як член урядової комісії, він був одним з ініціаторів створення 34 комплексних підприємств-лісокомбінатів у західному регіоні України (Івано-Франківська, Закарпатська та Чернівецька області), що дало змогу ефективно інтегрувати лісове господарство

та глибоку переробку деревини, скоротити витрати державного бюджету та підвищити ефективність виробництва.

Незважаючи на зайнятість у виконавчій владі, П.П. Дурдинець не полишав наукової діяльності. У 1971 р. у Ленінградській лісотехнічній академії він захистив кандидатську дисертацію. Наукові інтереси вченого охоплювали проблеми управління лісовим комплексом, раціонального використання лісових ресурсів, розвитку меблевого виробництва, впровадження інноваційних технологій та застосування нових методів управління галузі.

Петро Петрович був автором і співавтором понад 100 публікацій, серед яких – монографія, два галузеві довідники, численні брошури та аналітичні праці. Назвемо основні його публікації: «Проблеми лісового комплексу України», «Напрямки розвитку лісового господарства, лісової і деревообробної промисловості», «Економічні важелі по використанню лісових площ», «Виробництво і споживання меблів», «Меблева промисловість України».

Особливої уваги заслуговує його участь у громадському житті та науково-практичній діяльності. Впродовж понад 25 років він очолював правління науково-технічного товариства деревообробної та паперової промисловості України, понад 10 років був головним редактором провідного галузевого журналу «Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість».

Його багаторічна високопрофесійна та ефективна праця були неодноразово відзначені державними нагородами. Нагороджений орденом Трудового Червоного Прапора, двома орденами «Знак Пошани», медалями «За трудову доблесть», «Ветеран праці», «1500-річчя Києва», Почесними грамотами Верховної Ради України та іншими відзнаками.

Не можна не згадати й про те, що найважливішим і найціннішим надбанням у житті Петра Петровича Дурдинця була його міцна, вірцева сім'я, яку він безмежно любив і шанував, і яка так само любила його і завжди підтримувала у всьому. Від своєї родини він черпав натхнення і мотивацію до продуктивної праці.

При цьому головною опорою і моральним регулятором Петра Петровича була, звісно, його дружина Анна Федорівна. Вона, до речі, також мала споріднену спеціальність – технолог меблевого виробництва.

Анна Федорівна та Петро Петрович спільно виховали двох чудових дітей – сина Петра і доньку Оксану, від яких вони мають чотирьох онуків та п'ятьох правнуків.

Син Петро – кандидат технічних наук, полковник у відставці, військовий пенсіонер. Має двох доньок – Анну та Марію та двох онуків – Лоренцо та Соломію. Донька Вітовська Оксана – офтальмолог, доктор медичних наук, професор, Заслужений

лікар України. Оксана має двох синів – Петра та Богдана і трьох онуків – Іванну, Маріанну, Адама.

Ми звернулися до доньки Петра Петровича – Оксани з проханням написати для нашого **In Memoriam** кілька слів про її особисте ставлення до батька.

Оксана Петрівна зворушливо відгукнулася на наше прохання. Ось, що вона написала: *«У житті кожного з нас є постаті, які залишають по собі не лише спогади — вони залишають частинку серця і душі, тепла, мудрості, сили. Вони живуть у серцях, у справах, у щоденній вдячності тих, кого торкнулися їхні слова, вчинки, погляди. Саме таким був мій тато — Петро Петрович Дурдинець, який усе своє життя присвятив служінню людям, був вірним професійним принципам і вкладав душу в усе, що робив.*

Він стояв витоком створення нової системи управління в лісовій та деревообробній галузі — не як сторонній спостерігач, а як будівничий. Він вірив у справу, якій служив, і надихав інших вірити так само.

Це був чоловік слова і діла. Принциповий, вимогливий, насамперед — до себе самого. Його поважали не за посаду, не за вік, а за чесність, послідовність і людяність. Він ніколи не оминав складних рішень, але завжди приймав їх із повагою до думки кожного, хто поруч. Його авторитет не ґрунтувався на силі — він ґрунтувався на гідності.

Він любив людей. Не формально, не за посадовим обов'язком — щиро. Пам'ятав дні народження всіх, з ким доводилося працювати й спілкуватися. Встигав привітати, сказати добре слово, запитати про родину, підтримати у складний момент. Для нього кожна людина була важливою — незалежно від статусу чи посади.

Його серце було наповнене любов'ю до життя. До лісу, до природи, до своєї справи. Він володів стратегічним мисленням, умів бачити перспективу. Його надихала праця, результат, команда, а найбільше — можливість залишити після себе щось добре й міцне. І він залишив.

Про таких людей кажуть — совість епохи. Його життя було прикладом, як можна бути сильним, не втрачаючи доброти. Бути вимогливим, не втрачаючи людяності. Бути професіоналом — і залишатись Людиною».

Ми повністю поділяємо слушні і справедливі думки Оксани Петрівни.

Світла пам'ять про Петра Петровича Дурдинця назавжди залишиться у наших серцях, серцях колег, учнів, друзів та всіх, хто мав честь працювати з ним і черпати натхнення з його відданості справі, глибокої мудрості та людської порядності.

Похований Петро Петрович Дурдинець на скромному сільському цвинтарі поблизу Києва. Як скромно жив, так скромно і спочив у рідній українській землі.

HIS NOBLE DEED AND THE IMMORTAL LINEAGE – CONTINUE

In Memoriam

In Memory of Honorary Academician
of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine

Petro Petrovych Durdynets

(August 9, 1930 – May 23, 2025)

R. Shpeak, V. Samoplavskiy, Yu. Tunytsia,
H. Krynytskyy, Iu. Debryniuk, V. Kucheriavyi,
A. Deineka, V. Holubets, A. Boiko, I. Kalutskyi,
O. Holubchak

At the age of 95, Petro Petrovych Durdynets passed away – a Man with a capital letter, a citizen, a highly qualified specialist and public figure, an unsurpassed manager and scientist, a legendary figure in the forest industry of Ukraine.

Petro Petrovych dedicated his entire life to tireless work in the field of forestry, which is important industry for the economy of Ukraine. A graduate of the Lviv Forestry Institute, he earned two key, related

degrees: forest engineering and woodworking. While working in production sector, he continued to pursue scientific research and improve his professional skills. He rose through the ranks from an engineer at a furniture factory to First Deputy Minister of Forestry and Woodworking Industry of Ukraine, and then the Head of the Department of Economics of the State Planning Committee of Ukraine. His initiatives contributed to the creation of model integrated forestry enterprises – timber processing plants, whose experience was studied and adopted by forestry specialists in all the republics of the former USSR and European countries.

He is the author of more than 100 scientific works, including monographs and industry analytical articles. For many years, he headed a scientific-and-technical society and edited a top industry journal. He has received numerous state awards.

All of us, the authors of this life-affirming obituary – In Memoriam – knew Petro Petrovych as a close person, as a statesman, an outstanding organizer of production, a defender of human and nature rights, a scientist, an exemplary family man, a father of two children, a grandfather of four grandchildren and five great-grandchildren.

СЕЛЕКЦІЙНІ ТА ГЕНЕТИКО-ЕКОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ НАСІННИЦТВА І СОРТОВИПРОБУВАННЯ АБОРИГЕННИХ ТА ІНТРОДУКОВАНИХ ВИДІВ ЛІСОВИХ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН В УКРАЇНІ (спомин до 90-річчя від дня народження видатного українського лісівника, селекціонера, освітянина І. М. Патлая)

Юрій Гайда¹, Світлана Лось², Лариса Терещенко³, Лілія Торосова⁴

У червні 2025 року виповнилося 90 років від дня народження Ігоря Миколайовича Патлая – відомого українського вченого-лісівника, який присвятив своє життя дослідженню географічної мінливості та інтродукції лісових деревних рослин, є автором лісонасіннєвого районування, програм розвитку інтродукції та сорто-випробування лісових деревних рослин в Україні.

Ігор Миколайович Патлай – доктор сільськогосподарських наук, професор, академік Лісівничої академії наук України, академік Української академії аграрних наук, національний координатор Європейської програми зі збереження генетичних ресурсів лісових деревних порід (EUFORGEN). Впродовж 1990-1999 рр. був директором УкрДІЛГА.

Під керівництвом І. М. Патлая розроблено наукові основи сортового насінництва лісотвірних деревних видів на еколого-географічних засадах, створено більше 200 га дослідних культур і насінних плантацій. Учений є автором і співавтором близько 250 наукових та науково-популярних праць, зокрема чотирьох монографій, а також 20 сортів лісових деревних рослин, внесених до Державного реєстру сортів рослин, придатних для вирощування в Україні.

У різні роки І. М. Патлай за сумісництвом викладав у Харківському державному університеті, Харківському сільськогосподарському інституті, Харківському педагогічному інституті ім. Г. Сковороди. Під його керівництвом було захищено чотири кандидатські дисертації.

Світла пам'ять про Ігоря Миколайовича житиме у серцях його рідних, друзів, учнів і колег.



¹ Гайда Юрій Іванович – академік Лісівничої академії наук України, професор Національного університету «Чернігівська політехніка», доктор сільськогосподарських наук, професор

² Лось Світлана Анатоліївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, кандидат сільськогосподарських наук, доцент

³ Терещенко Лариса Іванівна – провідний науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, кандидат сільськогосподарських наук

⁴ Торосова Лілія Олександрівна – старший науковий співробітник Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, кандидат сільськогосподарських наук

Ігор Миколайович Патлай народився 27 червня 1935 року у м. Охтирка на Сумщині, у сім'ї лісівників Миколи Лаврентійовича і Євгенії Андріївни, які присвятили свої життя лісу та озелененню рідного міста. Дід Ігоря Миколайовича – Шаталов Андрій Васильович був ініціатором, організатором і активним учасником створення лісового масиву (1252 га) на місці «охтирської Сахари».

У 1957 р. І.М. Патлай успішно закінчив лісогосподарський факультет Української сільськогосподарської академії (м. Київ) за спеціальністю «Інженер лісового господарства» і деякий час працював на посаді помічника таксатора Харківської аерофотолісовпорядної експедиції. У квітні 1958 р. перевівся на посаду молодшого наукового співробітника Краснотростянецької лісової дослідної станції, де і розпочав свій науковий шлях. Особливу увагу у цей період було приділено вивченню особливостей росту сосни звичайної різного географічного походження у дослідних культурах різного віку. Результати досліджень, здійснених у 1958-1963 рр., покладено в основу кандидатської дисертації вченого на тему «Вплив географічного походження насіння на ріст і стійкість сосни у культурах північної Лівобережної частини УРСР», яку Ігор Миколайович захистив у грудні 1965 р. в Українській сільськогосподарській академії. Також І.М. Патлай вивчав географічні, еколого-географічні, дослідні культури фенологічних форм інших деревних видів. Використовуючи методи генетики, селекції, анатомії, фізіології, біохімії, вчений виявив важливі закономірності внутрішньовидової мінливості лісових деревних порід та обґрунтував напрями її використання у практичній діяльності.

Серед створених під керівництвом та за безпосередньою участю Ігоря Миколайовича дослідних об'єктів особливо вагоме місце займає державна мережа географічних культур сосни звичайної і дуба звичайного, закладених у 70-х роках минулого століття і результати дослідження яких, проведені ним, його учнями та співробітниками відділу селекції, дали змогу отримати нові дані про рівень та особливості внутрішньовидової мінливості ознак основних лісотвірних видів України, внести корективи в існуюче на той час лісонасіннєве районування.

У 1972 р. І.М. Патлаю було присвоєно наукове звання старшого наукового співробітника, а у 1973 р. його було переведено у відділ селекції і насінництва УкрНДІЛГА, що дало змогу проводити дослідження внутрішньовидової мінливості деревних видів у набагато ширшому масштабі. Ним було обстежено і обліковано майже всі географічні культури головних лісотвірних видів, які на той час були створені в Україні, зібрано унікальний за обсягом і комплексністю експериментальний матеріал, який було узагальнено у докторській дисертації «Селекційно-екологічні основи насінництва і вирощування високопродуктивних культур сосни

звичайної, дуба черешчатого і ясеня звичайного у рівнинній частині Української РСР». У 1982 р. за співавторством І.М. Патлая вийшла книга «Лісонасіннєве районування головних лісотвірних порід СРСР», а лісонасіннєве районування України, запропоноване у книзі, покладено в основу наступних національних районувань.

У 1986 р. сектор сортовипробування і районування лабораторії селекції і насінництва УкрНДІЛГА було реорганізовано у лабораторію сортовипробування та інтродукції, керівником якої було призначено І.М. Патлая.

Наукові дослідження І.М. Патлая за часів його роботи на об'єктах Краснотростянецької дослідної станції переважно були спрямовані на селекцію та географічну мінливість сосни звичайної, однак вже тоді у сфері його наукових інтересів з'явилися питання інтродукції перспективних видів лісових деревних рослин. Згодом, вже в період роботи І.М. Патлая в УкрНДІЛГА, під його керівництвом у 1983-1987 рр. було проведено масштабну інвентаризацію насаджень інтродукованих видів майже по всій території України, головним підсумком якої стало розроблення довгострокової комплексної цільової Програми «Інтродукція лісових деревних порід УРСР».

Державне сортовипробування лісових деревних рослин в Україні, як необхідний заключний етап лісової селекції, було започатковано у 1982 р., коли було організовано сортовипробування швидкорослих тополь і верб. Саме І.М. Патлай був ініціатором та організатором робіт з сортовипробування лісових деревних видів. У 1992 р. в Україні було створено Експертну раду і розпочато роботи з сортовипробування головних лісотвірних порід. Для забезпечення дієвості державного сортовипробування лісових деревних видів, враховуючи різноманітність природних умов України та базуючись на лісорослинному, лісогосподарському, лісонасінному районуваннях, за керівництва І.М. Патлая було розроблено «Програму сортовивчення і сорторозведення лісових деревних порід в Україні на 1995-2005 роки». Планувалося створення 7-10 сортоділень у різних лісорослинних районах. До Державного сортовипробування у 1994-1997 рр. працівниками УкрНДІЛГА та УкрНДІГірліс було рекомендовано 64 кандидата у сорти. Серед головних аборигенних та інтродукованих видів до сортовипробування запропоновано 58 кандидатів у сорти. Вперше в Україні було розроблено «Методику сортовипробування лісових деревних порід», яка була затверджена Експертною радою у 1994 році. Після детального аналізу існуючого селекційного матеріалу, у 1993-1996 роках було запропоновано до внесення в Державний реєстр на 1994-1998 рр. та затверджено 27 сортів, співавтором 20-ти з яких був Ігор Миколайович.

У лютому 1990 р. І.М. Патлай колективом інституту був обраний директором УкрНДІЛГА, а в

березні того ж року призначений Генеральним директором об'єднання УкрНВО «Ліс». У складний період здобуття Україною незалежності Ігор Миколайович проявив себе як мудрий керівник, основними принципами управління якого завжди була повага до людини, максимальне врахування думки та ідей усіх членів колективу інституту.

І. М. Патлай був членом Науково-технічної ради Міністерства лісового господарства України, головою спеціалізованої вченої ради УкрНДІЛГА та членом трьох інших спеціалізованих вчених рад, відповідальним редактором збірника «Лісівництво і агролісомеліорація», постійним членом групи IUFRO з селекції і генетики сосни звичайної, членом відділень рослинництва, агроекології і природокористування Аграрної академії наук України, експертом експертної ради Мінчорнобиля України, національним координатором EUFORGEN (Європейської програми зі збереження генетичних ресурсів лісових деревних порід).

У 1994 р. І. М. Патлая було обрано академіком Лісівничої академії наук України, а в 1995 р. – академіком Української академії аграрних наук. Учений гідно представляв наукову спільноту лісової галузі на міжнародному рівні, неодноразово виступав на міжнародних конференціях, брав участь у спільних публікаціях із закордонними науковцями, зокрема брав участь у роботі XI Світового Лісового конгресу у 1997 р. в Анталії (Туреччина). У 1991 р. у Амстердамі (Нідерланди) вийшла міжнародна колективна монографія за його співавторством.

І. М. Патлай був не лише видатним науковцем, але й талановитим педагогом. Починаючи з 1982 р., він викладав курс «Наукові основи лісового господарства» на біологічному факультеті Харківського державного університету. Його голос лунав і в стінах Харківського сільськогосподарського інституту, де він читав курс «Охорона природи». У жовтні 1992 р. Вчена рада Харківського педагогічного інституту ім. Г. Сковороди присвоїла І. М. Патлаю вчене звання професора кафедри ботаніки та екології рослин. Під його керівництвом було захищено чотири кандидатські дисертації.

Вчений приділяв особливу увагу важливим питанням організації лісоуправління та лісокористування. Він не залишився осторонь проблеми наслідків аварії на Чорнобильській АЕС. У 1999 р. вийшов з друку навчальний посібник з лісової радіоекології, де І. М. Патлай був співавтором. Його науковий доробок складає близько 250 наукових та науково-популярних праць, зокрема чотири монографії.

Ігор Миколайович Патлай відійшов у вічність у серпні 1999 року, залишивши після себе неоціненний слід у науці, гідну пам'ять про себе у серцях людей, які мали щастя знати його особисто. Життя вченого було сповнене наполегливої праці, невтомного пошуку істини та самовідданого служіння своїй справі.

Мудрість, доброта і відданість справі талановитого вченого і педагога Ігоря Миколайовича

Патлая назавжди залишаться у пам'яті тих, хто мав честь працювати поруч із ним. Світла пам'ять про видатного вченого житиме у серцях його рідних, друзів, учнів і колег, у кожному науковому відкритті, натхненному його ідеями, у кожному дереві, що продовжує рости завдяки його праці.

PLANT-BREEDING AND GENETIC-ECOLOGICAL PRINCIPLES OF SEED PRODUCTION AND VARIETY TESTING OF ABORIGINAL AND INTRODUCED SPECIES OF FOREST TREE PLANTS IN UKRAINE

**(commemoration of the 90th anniversary
of the birth of the outstanding Ukrainian
forester, plant-breeder, and educator**

I. M. Patlay)

Yu. Hayda, S. Los, L. Tereshchenko, L. Torosova

June 2025 turned the 90th anniversary of the birth of Igor Mykolayovych Patlay, a famous scientist who devoted his life to the study of geographical variability and introduction of forest woody plants, he is the author of forest seed zoning, programs for the development of introduction and variety testing of forest woody plants in Ukraine.

Igor Mykolayovych Patlay is a Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, National Coordinator of the European Program for the Conservation of Genetic Resources of Forest Tree Species (EUFORGEN) from 1990 to 1999 – Director of URIFFM.

Under the guidance of I. M. Patlay, scientific foundations for varietal seed production of the main forest-forming tree species were developed on ecological and geographical principles, and more than 200 hectares of experimental plantations and seed orchards were established.

The scientist is the author and co-author of about 250 scientific and popular science works, including 4 monographs; also, together with other scientists, he created 20 varieties of forest tree species, included in the State Register of Plant Varieties Suitable for Cultivation in Ukraine. In different years, Igor Mykolayovych taught part-time at the Kharkiv State University, the Kharkiv Agricultural Institute, the G. Skovoroda Kharkiv Teachers' Training Institute. 4 PhD thesis were defended under his supervision.

The bright memory of Igor Mykolayovych will live in the hearts of his relatives, friends, students, and colleagues.

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У «Наукових працях Лісівничої академії наук України» публікуються оригінальні наукові статті та наукові огляди з теоретичних і прикладних питань лісового та садово-паркового господарства, біології, екології та природно-заповідної справи, економіки природокористування і менеджменту, лісової інженерії, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки, машин і механізмів лісгосподарського комплексу, інформаційних технологій галузі.

Редакція приймає до опублікування статті обсягом 15-30 сторінок машинописного тексту, надрукованого через 1,5 інтервала. Формат документа – А4, формат файлу – *.docx (MS Word 2010, 2013). Поля – 2 см по периметру. В редакцію подається електронний варіант статті.

Текст наукової (експериментальної) статті подається за такою структурою: вступ; об'єкти та методика дослідження; результати; дискусія; висновки; подяка (за потреби); список літератури.

Оглядова стаття може мати різну кількість структурних підрозділів із довільними назвами, але вказані пункти є обов'язковими: вступ; висновки; список літератури. В обох випадках інформація про авторів подається двома мовами – українською та англійською.

У статті повинні бути чітко сформульовані актуальність теми, мета роботи, об'єкт і предмет дослідження.

До друку приймаються статті українською та англійською мовами. До кожної статті подаються анотації двома мовами.

У виносці подають відомості про всіх авторів, в якій вказують членство в Академії (за наявності), науковий ступінь і наукове звання, місце роботи, робочу адресу, електронну адресу та відкритий ідентифікатор наукового дослідника ORCID.

Обсяг анотації українською мовою – 22-25 рядків або 1400-1600 знаків. Обсяг анотації англійською мовою повинен становити не менше 40 рядків або 2600 знаків. Ключові слова в обсяг анотації не входять.

Для статей, написаних англійською мовою, потрібно додати розширену анотацію українською мовою – 40-45 рядків. Обсяг анотації англійською мовою становить 22-25 рядків (без ключових слів).

В анотаціях максимально повно в межах зазначеного обсягу повинні бути відображені основні результати досліджень. Потрібно уникати загальних

виразів («У статті наведено результати...», «Обґрунтовано висновки...», «Наведено дані щодо...» і т.п.). Анотації повинні бути написані чітко, зрозуміло і лаконічно.

Ключові слова/словосполучення (10-12 шт.) не повинні дублювати заголовка статті.

Список літератури повинен вміщати не менше 15 літературних джерел. Бажано наводити посилання на джерела, опубліковані після 2010 року, особливо ті, які мають індекс *doi*. Самоцитуння – не більше 15% (два-три джерела). Під час формування списку літературних джерел необхідно користуватись вимогами APA 6th Edition.

У «Списку літератури» необхідно наводити лінк, за яким джерело доступне в мережі Інтернет, або індекс *doi*. За можливістю варто уникати посилань на літературні джерела, які відсутні в інтернет-ресурсах. Транслітерація літературних джерел в статтях не допускається. Список бібліографічних посилань повинен бути наведений англійською мовою, а в квадратних дужках – мовою оригіналу. У дужках необхідно вказати мову, на якій видано літературне джерело (напр., in Ukrainian). Якщо робота видана англійською мовою, то мову в дужках вказувати не потрібно.

Особливу увагу авторів звертаємо на правильне подання «Списку літератури» та англійську частину публікації. Статтю читатиме міжнародна аудиторія науковців, тому текст анотації повинен бути чітким і зв'язним, а її зміст – зрозумілим без ознайомлення з основним змістом самої статті. У статті потрібно застосовувати фахову термінологію, яку використовують у профільних міжнародних англійськомовних виданнях.

Текст статті, анотації, назви таблиць, список літератури подаються шрифтом Times New Roman 14. Підписи до рисунків – шрифтом Times New Roman 12, вирівняні по центру. Фотографії та рисунки подають безпосередньо у статті, а також окремим файлом у форматі *.jpg, чи оформленні у середовищі MS Excel. Назви таблиць та підписи до рисунків в україномовних статтях потрібно дублювати англійською мовою.

Не можна подавати посилання на таблицю або рисунок окремим реченням. За наявності у тексті лише однієї таблиці чи рисунку їх не нумерують, а в тексті подають відповідне посилання: табл. (рис.). За повторного посилання на елемент потрібно вказувати (див. табл.; див. рис.).

Назви таблиць і рисунків (а також примітки до них) мають бути вичерпними і чітко сформульованими, щоб читач зміг зрозуміти їхній зміст, не вдаючись до пошуку відповідних пояснень у структурних підрозділах статті.

У таблицях повинні бути відсутні вертикальні лінії. Подаються лише горизонтальні лінії – у «шапці» та наприкінці таблиці.

Потрібно розрізняти символи «—», «-» та «-».

Перший із них у рукописі статті не використовують. Необхідно звернути увагу на правильність вживання службових частин мови: «в», «у»; «і», «та»; «з», «із», «зі» тощо. Під час формулювання речень потрібно уникати слова «було»: без нього, зазвичай, зміст речення не змінюється. У статті бажано не використовувати скорочення наукових термінів.

Не рекомендовано вживати у тексті пасивний формат: «дослідження здійснювалися», «результати опрацьовувалися» тощо; потрібно – «дослідження здійснено», «результати опрацьовано» і т.д.

Отримані результати досліджень повинні бути опрацьовані математичними методами, що підтверджує їхню достовірність. Без такого опрацювання статті до друку не приймаються.

Найважливішою частиною наукової статті є висновки, де наводять підсумки здійсненого дослідження, узагальнення і пропозиції щодо завдань, сформульованих у вступі. Висновки формують чітко, лаконічно і зрозуміло, вони повинні виходити із результатів проведених досліджень. У висновках зазначають ступінь досягнення поставленої мети роботи за допомогою використаних методів і методики досліджень. Вдало сформульовані висновки логічно закінчують наукову роботу, роблять її цілісною і завершеною.

Висновки повинні бути пронумерованими, короткими і поданими у вигляді тексту.

У збірнику праць «Наукові праці Лісівничої академії наук України» не можуть бути опубліковані матеріали, які вже раніше публікувалися в інших наукових збірниках. Редакційна колегія наукового видання залишає за собою право відхиляти статті, які не відповідають вимогам і тематиці збірника.

Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять процес рецензування. Форми рецензування статей: внутрішня; зовнішня.

Заступник головного редактора визначає відповідність статті профілю журналу і скеровує її на рецензування фахівцям – докторам чи кандидатам наук, які мають близьку до теми статті наукову спеціалізацію.

Матеріали рецензують члени редакційної колегії наукового видання та/або сторонні незалежні експерти, виходячи з принципу об'єктивності і з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості. Терміни рецензування в кожному окремому випадку визначаються відповідальним редактором з урахуванням створення умов для максимально оперативної публікації статті.

Наявність позитивної рецензії не є достатньою підставою для публікації статті. Остаточне рішення про доцільність опублікування приймає редакційна колегія.

Після прийняття до друку наукові матеріали проходять процес редагування. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису, літературне редагування та скорочення текстів зі збереженням авторського стилю. З автором узгоджуються правки, які, на думку редакції, можуть не зовсім точно передати зміст тексту.

Відповідальність за достовірність інформації у статтях, точність назв, статистичних даних, прізвищ і цитат несуть автори. Для уникнення некоректних запозичень або використання результатів дослідження третіх осіб автори зобов'язані дотримуватись етики наукового цитування.

У випадках виявлення плагіату відповідальність несуть автори наданих матеріалів.

Після прийняття редколегією рішення про допуск статті до публікації відповідальний секретар інформує про це автора і вказує терміни публікації. Оригінали рецензій зберігаються у редакційній колегії і в редакції наукового журналу. Прийняті до друку наукові матеріали не повертаються та не можуть бути надруковані в інших наукових журналах.

Детальніша інформація для авторів щодо правил подачі статей до збірника «Наукові праці Лісівничої академії наук України», оформлення «Списку літератури», політики відкритого доступу подана на сайті збірника наукових праць: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

Збірник наукових праць
Наукові праці Лісівничої академії наук України

Випуск 28
2025 р.

Науковий редактор: Ю. М. Дебринюк, проф., д-р с.-г. наук
Редактор англomовних текстів: В. Лентяков
Літературний редактор: А. Павлишин
Фото на обкладинці Ю. М. Дебринюка

Підписано до друку 01.10.2025 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 30,92. Обл.-вид. арк. 38,25.
Наклад 300 прим. Зам. № 3128

Видавець: Редакційно-видавничий центр НЛТУ України
79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 134/16
Тел.: (032) 240-23-50. E-mail: lan@nltu.edu.ua

Верстання та друк: ТЗОВ «Компанія «Манускрипт»»
вул. Руська, 16/3, м. Львів, 79008
Тел.: (032) 235-60-00

Свідоцтво про внесення суб'єкта видавничої справи
до державного реєстру видавців, виготівників і розповсюджувачів
видавничої продукції серія ДК № 3628 від 19.11.2009 р.

Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації
(Серія КВ, № 24099-13939Р від 31.07.2019 р.)

Згідно з «Переліком наукових фахових видань України, в яких можуть публікуватися результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора наук, кандидата наук та ступеня доктора філософії», **Наукові праці Лісівничої академії наук України** віднесено до категорії «Б» за такими спеціальностями:

- 051** – Економіка (включено до Переліку 15.10.2019 р.);
- 091** – Біологія (включено до Переліку 28.12.2019 р.);
- 187** – Деревообробні та меблеві технології (включено до Переліку 28.12.2019 р.);
- 205** – Лісове господарство (включено до Переліку 15.10.2019 р.);
- 206** – Садово-паркове господарство (включено до Переліку 15.10.2019 р.).

<https://mon.gov.ua/ua/nauka/nauka/atestaciya-kadriy-vishoyi-kvalifikaciyi/naukovi-fahovi-vidannya>