

**Національний лісотехнічний університет України
Лісівнича академія наук України**

НАУКОВІ ПРАЦІ

ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Випуск 30

Започатковано у 2001 р.

**Львів
Компанія “Манускрипт”
2026**

Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2026. – Вип. 30. – 334 с.

У збірнику наукових праць опубліковано результати досліджень, в яких висвітлено біологічні аспекти рослинних угруповань, наукові і практичні здобутки в царині лісівництва, лісознавства та ведення мисливського господарства, штучного лісовідновлення, садово-паркового господарства, 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, ресурсощадних та екологічнобезпечних 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 № 5 від 13.05.2026 р.)

Редакційна колегія:

- | | | |
|---------------------|----------------------|---|
| <i>професор</i> | Ігор Соловій, | <i>д-р економічних наук – головний редактор;</i> |
| <i>професор</i> | Юрій Дебринюк, | <i>д-р с.-г. наук – заступник головного редактора;</i> |
| <i>професор</i> | Норберт Вебер, | <i>д-р габілітований, Технічний університет Дрездена, Німеччина</i> |
| <i>професор</i> | Анджей Возьняк, | <i>д-р габілітований, Університет Природничий в Любліні, Польща;</i> |
| <i>професор</i> | Анатолій Гойчук, | <i>д-р с.-г. наук, Національний ун-т біоресурсів і природокор. України, м. Київ;</i> |
| <i>професор</i> | Ервін Гуссендборфер, | <i>д-р габілітований, Університет прикладних наук Вайєнітсфен-Трісдорф, м. Фрайзінг, Німеччина;</i> |
| <i>професор</i> | Гер Л. Ібіш, | <i>д-р габілітований, Університет сталого розвитку Еберсвальде, Німеччина;</i> |
| <i>професор</i> | Петро Лакида, | <i>д-р с.-г. наук, Державне підприємство «Ліси України», м. Київ;</i> |
| <i>професор</i> | Валентина Мешкова, | <i>д-р с.-г. наук, Український наук.-дослід. інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, м. Харків;</i> |
| <i>професор</i> | Степан Миклуш, | <i>д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Віктор Ткач, | <i>д-р с.-г. наук, Український наук.-дослід. інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, м. Харків;</i> |
| <i>наук. співр.</i> | Володимир Троцюк, | <i>канд. с.-г. наук, Швейцарський федеральний інститут досліджень лісу, снігу і ландшафтів, Бірменсдорф;</i> |
| <i>доцент</i> | Олег Часковський, | <i>канд. с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Петер Шпатгельф | <i>д-р, Університет сталого розвитку Еберсвальде, Німеччина;</i> |
| <i>професор</i> | Василь Лавний, | <i>д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Володимир Крамарець, | <i>д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Надія Олексійченко | <i>д-р с.-г. наук, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, м. Харків;</i> |
| <i>професор</i> | Григорій Криницький, | <i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Володимир Заїка, | <i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Мирослава Сорока, | <i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Лідія Заднік-Штірн, | <i>д-р економічних наук, Університет м. Любляна, Словенія</i> |
| <i>професор</i> | Ллойд Ірленд, | <i>д-р філософії з лісової політики та економіки, Факультет лісових ресурсів Університету Мен, США</i> |
| <i>професор</i> | Марія Нижник, | <i>д-р ек. і соц. наук, Джеймс Хаттон Інститут, м. Абердин-Данді, Великобританія;</i> |
| <i>професор</i> | Павло Бехта, | <i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Володимир Голубець, | <i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Юрій Грицюк, | <i>д-р техн. наук, Національний ун-т «Львівська політехніка», м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Ігор Озарків, | <i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, м. Львів;</i> |
| <i>професор</i> | Ян Седлячек | <i>д-р філософії, Технічний університет в м. Зволєн, Словаччина.</i> |

Науковий редактор: **Юрій ДЕБРІНІЮК**

Літературний редактор: **Анна ПАВЛИШИН**

Редактор англomовних текстів: **Володимир ЛЕНТЯКОВ**

Технічне забезпечення видання: **Василь ДЕБРІНІЮК**

Відповідальний секретар: **Сергій ГАВРИЛЮК**

Адреса видавництва:

Видавництво «Компанія “Манускрипт”»,
вул. Руська, 16/3, м. Львів, Україна, 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 30

Founded in 2001

**Lviv
Company “Manuscript”
2026**

Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Collection of Research Papers. – Lviv: Company “Manuscript”, 2026. – Vol. 30. – 334 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, hunting management, landscape gardening, forest tree breeding, forest inventory, and forest management planning. Presented are the results of studies in the field of regeneration and improvement of the condition of forest stands, pest control and disease less management, natural resource use and environmental management, resource-saving and environmentally friendly woodworking technologies.

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

Recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian National Forestry University and the Presidium of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine (Protocol No. 5, dated 13 May 2026).

Editorial board:

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

Scientific Editor: *Iurii DEBRYNIUK*

Literary editor: *Anna PAVLYSHYN*

Editors of English texts: *Volodymyr LENTIAKOV*

Technical support of the publication: *Vasyl DEBRYNIUK*

Responsible secretary: *Serhii HAVRYLIUK*

Publishers Address:

Publishing Company “Manuscript”
Str. Ruska, 16/3, Lviv, Ukraine, 79008

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

ЗМІСТ

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

V.L. Meshkova, Yu.Ye. Skrylnyk, O.V. Zinchenko, I.M. Koval

THE EFFECT OF CHRONIC FOLIAGE DAMAGE BY <i>TOMOSTETHUS NIGRITUS</i> (FABRICIUS, 1804) LARVAE ON THE RADIAL GROWTH OF <i>FRAXINUS EXCELSIOR</i> (Вплив хронічного пошкодження листя личинками <i>Tomostethus nigrinus</i> на радіальний приріст <i>Fraxinus excelsior</i>)	10
--	----

В.К. Заїка, Г.Т. Криницький, І.І. Делеган, Т.П. Сумарук, П.П., Придка, С.В. Тимошук, М.М. Дубченко, Ю.І. Черневий, М.С. Кобринович

ОСОБЛИВОСТІ БІОЕЛЕКТРИЧНОЇ АКТИВНОСТІ ДЕРЕВ РІЗНИХ ВИДІВ В УМОВАХ ДІЇ МАГНІТНОГО ПОЛЯ ЗЕМЛІ	22
--	----

2. ЛІСОЗНАВСТВО, ЛІСІВНИЦТВО ТА МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

О.А. Гришук, О.В. Паламаренко, Е.М. Різун, П.Б. Хоєцький

ПОШИРЕННЯ ТА ЧИСЕЛЬНІСТЬ ФАЗАНА (<i>PHASIANUS COLCHICUS</i> L.) У МИСЛИВСЬКИХ УГІДДЯХ ВОЛИНСЬКОЇ ОБЛАСТІ	38
---	----

В.Ю. Дебринюк, М.М. Нечай, І.І. Коляджин, В.В. Лавний, Ю.М. Дебринюк

СТРУКТУРА ТА ОСОБЛИВОСТІ ПРИРОДНОГО ПОНОВЛЕННЯ <i>PICEA ABIES</i> (L.) KARST. У ПРАЛІСОВИХ УГРУПОВАННЯХ НПП «ВЕРХОВИНСЬКИЙ»	49
--	----

В.В. Лавний, А.П. Іванюк, О.Б. Михайлів, Т.В. Юськевич, Б.З. Нагорняк, П. Шпатгельф
ІНТЕГРОВАНІ МЕТОДИ НАБЛИЖЕНОГО ДО ПРИРОДИ ЛІСІВНИЦТВА В ЯЛИЦЕВИХ ЛІСАХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ

66

В.В. Поляк, Ю.М. Дебринюк

ЛІСОСТАНИ БУКОВИНСЬКОГО НИЗЬКОГІР'Я ТА СЕРЕДНЬОГІР'Я ПОКУТСЬКО-БУКОВИНСЬКИХ КАРПАТ: ПОШИРЕННЯ ТА ЛІСІВНИЧО-ТАКСАЦІЙНА ХАРАКТЕРИСТИКА	82
---	----

А.В. Сасюк, В.К. Заїка, В.В. Павлюк, П.М. Дмитрик, І.Ф. Коляджин

ФІТОЦЕНОТИЧНА РОЛЬ ПІДЛІСКУ ПІД ЧАС ФОРМУВАННЯ ПІДРОСТУ ТА ЖИВОГО НАДГРУНТОВОГО ПОКРИВУ У СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНАХ ШЕПЕТІВСЬКОГО ПОЛІССЯ	104
--	-----

Я.С. Форгіль, Ю.С. Миклуш

ВПЛИВ ЛІСІВНИЧО-ТАКСАЦІЙНИХ ТА ОРОГРАФІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ФОРМУВАННЯ ЗАПАСУ ДЕРЕВИНИ ЯЛИНОВИХ ЛІСОСТАНІВ У ПОКУТСЬКО-МАРМАРОСЬКИХ КАРПАТАХ	119
---	-----

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

В.І. Блистів, Р.Д. Василишин, І.Л. Будзінський, Т.І. Протас, А.В. Кріль, О.М. Мельник

ОЦІНЮВАННЯ ПОПЕРЕДНІХ РЕЗУЛЬТАТІВ ТА ОСОБЛИВОСТІ ВИПРОБУВАННЯ ПОТОМСТВ НАСІННИХ ОБ'ЄКТІВ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. В УМОВАХ ПІВДЕННОЇ МЕЖІ УКРАЇНСЬКОГО ПОЛІССЯ	143
---	-----

Я.В. Генік, Т.Я. Онисько, В.З. Шульга, В.Я. Заячук, Р.Б. Дудин

ВИДОВИЙ СКЛАД І СИСТЕМАТИЧНА СТРУКТУРА ДЕНДРОФЛОРИ ПАРКІВ МАЛИХ МІСТ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ УКРАЇНИ	162
---	------------

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

П.І. Лакида, Л.М. Матушевич, А.М. Макаревич

ТАКСАЦІЙНА СТРУКТУРА ЛІСІВ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ ЯК ОСНОВА ОЦІНЮВАННЯ ЇХНІХ ЕКОСИСТЕМНИХ ФУНКЦІЙ.....	178
---	------------

В.В. Трикур, П.Г. Хомюк

ХАРАКТЕРИСТИКА ДЕРЕВНИХ ЛІСОВИХ РЕСУРСІВ БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ ПІВДЕННОГО МЕГАСХИЛУ ПОЛОНІНСЬКОГО ХРЕБТА І ВУЛКАНІЧНИХ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ.....	190
--	------------

5. ЕКОЛОГІЯ, ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

Л.Д. Загвойська, Л.В. Міц

ІНТЕГРАЦІЯ ПОСЛУГ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ У ФІНАНСОВО- ЕКОНОМІЧНІ ПОКАЗНИКИ ДІЯЛЬНОСТІ ЛІСОГОСПОДАРСЬКИХ ПІДПРИЄМСТВ УКРАЇНИ В УМОВАХ ПОЛІКРИЗИ	211
--	------------

Г.М. Лесюк, І.П. Соловій

ЦИФРОВІЗАЦІЯ ЛІСОВОГО СЕКТОРА УКРАЇНИ: ОСНОВНІ ТРЕНДИ ТА СОЦІАЛЬНО-ЕКОНОМІЧНІ ВИКЛИКИ	224
--	------------

*О.Р. Пелюх, О.А. Кійко, І.П. Соловій, М.М. Ільків, В.В. Лавний, Д.Б. Савка, А.О. Луценко,
Н.Ф. Чопенко, О.В. Яріш*

ІНТЕГРОВАННИЙ ПІДХІД ДО ЦИРКУЛЯРНОЇ ТРАНСФОРМАЦІЇ ПІДПРИЄМСТВ ДЕРЕВООБРОБНОЇ ГАЛУЗІ ЛІСОВОГО СЕКТОРА ЕКОНОМІКИ	236
---	------------

6. ДЕРЕВООБРОБНІ ТЕХНОЛОГІЇ ТА ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ

С.В. Гайда, В.В. Киянка

ВПЛИВ ПОПЕРЕЧНИХ ПЕРЕРІЗІВ РЕЙОК НА ХАРАКТЕРИСТИКИ МІЦНОСТІ МЕБЛЕВИХ ЩИТІВ ІЗ ДУБОВОЇ ДЕРЕВИНИ	256
---	------------

В.В. Гаманчук, П.А. Бехта, В.О. Маєвський, Т. Піпішка, Й. Рагель, Я. Гофман

МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ ІЗ ЧАСТКОВОЮ ТА ПОВНОЮ ЗАМІНОЮ ДЕРЕВИНИ ЖОМОМ ЦУКРОВИХ БУРЯКІВ	269
---	------------

Ю.М. Губер, О.І. Олійчук, С.В. Копинець, Ж.Я. Гуменюк А.О. Ференц

ОСОБЛИВОСТІ ВСИХАННЯ ЗАГОТОВОК З ДУБОВОЇ ДЕРЕВИНИ, ВИСУШЕНИХ У СУШИЛЬНИХ КАМЕРАХ РІЗНОГО ТИПУ	279
--	------------

Р.О. Козак, В.С. Бірук

ЕМІСІЯ ФОРМАЛЬДЕГІДУ З ЛЕГКИХ СТРУЖКОВИХ ПЛИТ З ВМІСТОМ СТРУЖКИ ЗІ СТЕБЕЛ СОНЯШНИКА ТА МІСКАНТУСА	289
--	------------

Є.М. Миськів, Р.Г. Барабаш, А.А. Калина

ВПЛИВ ДІАМЕТРА ІНСТРУМЕНТА ТА ШВИДКОСТІ ЙОГО ПОДАЧІ НА ЧАС ВИГОТОВЛЕННЯ ГНІЗДА ДЛЯ ЗАМКА В ДВЕРНОМУ ПОЛОТНІ НА ВЕРСТАТІ З ЧПК	299
--	------------

Я.Б. Щупаківський, Й.В. Андрашек, Р.Б. Щупаківський, О.В. Савчак

**РЕОЛОГІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ ТЕРМІЧНО МОДИФІКОВАНОЇ
ДЕРЕВИНИ ЯЛИНИ ЄВРОПЕЙСЬКОЇ *PICEA ABIES* (L.) KARST.
У СЕРЕДОВИЩІ АЗОТУ**

311

Л.А. Яремчук, Л.В. Чорнобай

**ОСОБЛИВОСТІ ЗМОЧУВАННЯ ДЕРЕВИННОЇ ПІДКЛАДКИ
МОДИФІКОВАНОЮ ЛЛЯНОЮ ОЛІЄЮ**

322

ДО УВАГИ АВТОРІВ

331

CONTENTS

1. BIOLOGICAL ASPECTS OF PLANT COMMUNITIES

V.L. Meshkova, Yu.Ye. Skrylnyk, O.V. Zinchenko, I.M. Koval

THE EFFECT OF CHRONIC FOLIAGE DAMAGE BY <i>TOMESTETHUS NIGRITUS</i> (FABRICIUS, 1804) LARVAE ON THE RADIAL GROWTH OF <i>FRAXINUS EXCELSIOR</i>	10
---	-----------

V. Zaika, , H. Krynytskyy, I. Delean, T. Sumaruk, P. Prydka, S. Tymoshuk, M. Dubchenko, Y. Chernevyi, M. Kobrynovych

FEATURES OF THE BIOELECTRIC ACTIVITY OF TREES OF DIFFERENT SPECIES UNDER THE INFLUENCE OF THE EARTH'S MAGNETIC FIELD	22
---	-----------

2. FORESTRY, SILVICULTURAL SCIENCES AND WILDLIFE RESOURCE MANAGEMENT

O. Hryshchuk, O. Palamarenko, E. Rizun, P. Khoyetskyy

DISTRIBUTION AND ABUNDANCE OF THE COMMON PHEASANT (<i>PHASIANUS COLCHICUS</i> L.) IN THE HUNTING GROUNDS OF VOLYN REGION, UKRAINE	38
--	-----------

V. Debryniuk, M. Nechai, I. Koliadzhyn, V. Lavnyy, Iu. Debryniuk

STRUCTURE AND FEATURES OF NATURAL REGENERATION OF <i>PICEA ABIES</i> (L.) KARST. IN THE PRIMEVAL FOREST COMMUNITIES OF THE VERKHOVYNSKYI NATIONAL NATURE PARK	49
--	-----------

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

INTEGRATED METHODS OF CLOSE-TO-NATURE SILVICULTURE IN SILVER FIR FORESTS OF THE UKRAINIAN CARPATHIANS	66
--	-----------

V. Polyak, Iu. Debryniuk

FOREST STANDS OF THE BUKOVINIAN LOWLANDS AND MID-MOUNTAINS OF THE POKUTSKO-BUKOVINIAN CARPATHIANS: DISTRIBUTION AND FOREST MENSURATION DESCRIPTION	82
---	-----------

A. Sasyuk, V. Zaika, V. Pavlyuk, P. Dmytryk, I. Koliadzhyn

THE PHYTOCOENOTIC ROLE OF THE UNDERSTORY IN THE DEVELOPMENT OF NATURAL REGENERATION AND GROUND VEGETATION COVER IN SCOTS PINE FOREST STANDS OF THE SHEPETIVKA POLISSIA REGION	104
--	------------

Ya. Forgil, Yu. Myklush

THE INFLUENCE OF SILVICULTURAL, INVENTORY, AND OROGRAPHIC FACTORS ON THE FORMATION OF GROWING STOCK IN SPRUCE FOREST STANDS OF THE POKUT-MARMAROS CARPATHIANS	119
--	------------

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

V. Blystiv, R. Vasylyshyn, I. Budzinsky, T. Protas, A. Krol, O. Melnyk

ASSESSMENT OF PRELIMINARY RESULTS AND SPECIFIC FEATURES OF PROGENY TESTING OF <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. SEED ORCHARD AND SEED STAND PROGENIES AT THE SOUTHERN BOUNDARY OF THE UKRAINIAN POLISSYA	143
--	------------

Ya. Henyk, T. Onysko, V. Shulha, V. Zayachuk, R. Dudyn

SPECIES COMPOSITION AND TAXONOMIC STRUCTURE OF THE DENDROFLORA OF PARKS IN SMALL TOWNS OF WESTERN UKRAINE	162
--	------------

4. FOREST BIOMETRY AND FOREST MANAGEMENT PLANNING

P. Lakyda, L. Matushevich, A. Makarevych

MENSURATION STRUCTURE OF FORESTS OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE AS A BASIS FOR ASSESSING THEIR ECOSYSTEM FUNCTIONS 178

V. Trykur, P. Khomiuk

CHARACTERISTICS OF GROWING STOCK RESOURCES IN BEECH STANDS OF THE SOUTHERN MEGASLOPE OF THE POLONYNA RIDGE AND THE VOLCANIC UKRAINIAN CARPATHIANS 190

5. ECOLOGY, NATURAL RESOURCE ECONOMICS AND MANAGEMENT

L. Zahvoyska, L. Mits

INTEGRATION OF FOREST ECOSYSTEM SERVICES INTO THE FINANCIAL AND ECONOMIC PERFORMANCE INDICATORS OF FORESTRY ENTERPRISES IN UKRAINE UNDER CONDITIONS OF POLYCRISIS 211

H. Lesiuk, I. Soloviy

DIGITALIZATION OF THE FOREST SECTOR OF UKRAINE: MAJOR TRENDS AND SOCIO-ECONOMIC CHALLENGES 224

O. Pelyukh, O. Kiyko, I. Soloviy, M. Ilkiv, V. Lavnyy, D. Savka, A. Lutsenko, N. Chopenko, O. Yarish

INTEGRATED APPROACH TO THE CIRCULAR TRANSFORMATION OF WOODWORKING ENTERPRISES IN THE FOREST SECTOR OF THE ECONOMY 236

6. WOOD PROCESSING TECHNOLOGIES AND FOREST ENGINEERING

S. Gayda, V. Kyyanka

THE INFLUENCE OF CROSS-SECTIONS OF RAILS ON THE STRENGTH CHARACTERISTICS OF FURNITURE BOARDS MADE OF OAK WOOD 256

V. Hamanchuk, P. Bekhta, V. Mayevskyy, T. Pipiška, J. Ráhel', J. Hofman

MECHANICAL PROPERTIES OF PARTICLEBOARDS WITH PARTIAL AND COMPLETE WOOD PARTICLES REPLACEMENT BY SUGAR BEET PULP 269

Yu. Huber, O. Oliichuk, S. Kopynets, Zh. Humeniuk, A. Ferents

FEATURES OF THE SHRINKAGE MAGNITUDE OF OAK WOOD BLANKS DRIED IN KILNS OF VARIOUS TYPES 279

R. Kozak, V. Biruk

FORMALDEHYDE EMISSIONS FROM LIGHTWEIGHT PARTICLEBOARD CONTAINING SUNFLOWER AND MISCANTHUS STEM PARTICLES 289

Y. Myskiy, R. Barabash, A. Kalyna

INFLUENCE OF TOOL DIAMETER AND FEED RATE ON THE MACHINING TIME OF A LOCK MORTISE IN A DOOR LEAF ON A CNC WOODWORKING MACHINE 299

Ya. Shchupakivskyy, Y. Andrashek, R. Shchupakivskyy, O. Savchak

RHEOLOGICAL PROPERTIES OF THERMALLY MODIFIED SPRUCE WOOD UNDER A NITROGEN ATMOSPHERE 311

L. Yaremchuk, L. Chornobai

FEATURES OF CREATING EDGE CORNERS BY WETTING A WOODEN SUBSTRATE WITH MODIFIED LINSEED OIL 322

INFORMATION FOR AUTHORS 331

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/10.36930/412601>
Article received 2026.01.05
Article revised 2026.04.03
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Valentyna L. Meshkova
Valentynameshkova@gmail.com
86 Hryhorii Skovoroda St.,
Kharkiv, 61002, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



UDC 630.2

The effect of chronic foliage damage by *Tomostethus nigratus* (Fabricius, 1804) larvae on the radial growth of *Fraxinus excelsior*

V.L. Meshkova¹, Yu.Ye. Skrylnyk², O.V. Zinchenko³, I.M. Koval⁴

The research aimed to evaluate the response of the European ash Fraxinus excelsior L. radial increment to the foliage damage by Tomostethus nigratus (Fabricius, 1804). In Kharkiv's Molodezhny Park, defoliation of European ash by black ash sawfly increased from 2013, reached a maximum (94.1±3.4%) in 2015, and then decreased. The mean defoliation of individual trees in individual years ranged from 31.7±18.1% to 73.3±13.5%. Only three trees were completely defoliated over two consecutive years. No dependence of tree defoliation on their diameter was found. The mean health condition index HCI started to increase in 2017 and reached 2.4 in 2018. Its dependence on the defoliation level was high and significant (r=0.83; p<0.001). The radial growth of trees decreased in years of increasing foliage damage. In 2013–2018 compared to 2007–2012, the average annual, early, and late wood in the total sample decreased by 12.4%, 7.2%, and 14.9%, respectively. However, the changes were statistically significant only for the late wood. The late growth changed almost synchronously with the annual growth. The proportion of the late

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 Hryhorii Skovoroda St., Kharkiv, 61024, Ukraine; State Biotechnological University, Alchevskych 44, UA-61002 Kharkiv, Ukraine. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Yuriy Ye. Skrylnyk – PhD, senior researcher, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhorii Skovoroda St., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: yuriy.skrylnik@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8565-4860>

³ Olga V. Zinchenko – PhD, senior researcher, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhorii Skovoroda St., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: zinch.ov@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-8144>

⁴ Iryna M. Koval – Full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (Agricultural Sciences), Leading researcher, the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, 86 Hryhorii Skovoroda St., Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: koval_iryana@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

wood in the annual growth was only 56.1 % in the year of maximum defoliation and exceeded 70 % the following year.

In the group of trees with low defoliation (on average < 25%), the annual wood width in 2013-2018 (the years of black ash sawfly outbreak) was higher than in 2007-2012 by 0.2 mm (8.5%). In the group of trees with moderate defoliation (26-50%), the annual wood width decreased by 0.2 mm (8.5%), and in the group with severe defoliation (> 50%) by 0.7 mm (20.9%). However, the change in the annual wood growth was significant only for the group of trees with severe defoliation.

In the group of healthy trees (HCI=1), late wood width in 2013-2018 was higher than in 2007-2012 by 0.04 mm (3.7%), in the group of weakened trees (HCI=2) was lower than in 2007-2012 by 0.2 mm (16.6%), and in a group of severely weakened trees (HCI=3) was lower by 0.15 mm (12.4%). However, these differences were not statistically significant.

Most Spearman's rank correlations between ash wood growth and weather parameters are low and insignificant. Negative correlations between ash wood growth and air temperature of the growing season, May and September, are the most significant. An increase in the Hydrothermal Index in 2016, compared to the previous year by 0.2 units (by 25%), could have a positive impact on growth recovery.

The research indicates that European ash foliage damage by the black ash sawfly does not pose a noticeable threat to the plantings. At the same time, weakened trees became susceptible to infestation by the emerald ash (*Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) in subsequent years.

Key words: European ash; black ash sawfly; defoliation; health condition index; early wood; late wood.

Introduction.

In the last few decades, the health condition of *Fraxinus* L. has deteriorated in many regions (Pyvovar et al., 2022; Ciornei et al., 2024; Schertler et al., 2025). This has happened largely due to climate change and increased anthropogenic pressure, which were favorable for the spread of alien pests, such as *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya) (Schertler et al., 2025) and Emerald ash borer *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) (Mathieu & McCullough, 2025). Along with alien ash pests, the range and harmfulness of native species have increased in recent years. One of them is the black ash sawfly *Tomostethus nigrinus* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Tenthredinidae), whose larvae feed on ash foliage. Outbreaks of the black ash sawfly have been recorded in many European countries, from Italy to Northern Ireland (Mitali, 2012; Soldi et al., 2022) and even in China (Zeng et al., 2024).

Within its range, the black ash sawfly develops in a single generation (Зінченко & Кукіна, 2015; Jess et al., 2017; Ciornei et al., 2024). The beginning of adult swarming coincides with the start of European ash foliage development. In eastern Ukraine, mass swarming begins in the third decade of April (Зінченко & Кукіна, 2015). Females lay eggs in leaves that are beginning to grow. The eggs hatch in early May, the larvae feed on growing foliage, complete feeding in the third decade of May, and descend into the soil, where they form cocoons and undergo eonymph and pronymph stages. They pupate in the first half of April, and adults emerge in late April (Зінченко & Кукіна, 2015).

In Kharkiv's Molodezhny Park, an abundant swarming of black ash sawfly and severe ash crown

damage by its larvae were first observed in 2002 (Meshkova et al., 2017). Since 2012, defoliation monitoring has been conducted annually on over 90 labeled trees. Each year, defoliation of some trees exceeded 75%, while other trees showed only minor damage. No ash tree mortality was observed during these years until the Emerald ash borer invaded the stand in 2022 (Meshkova et al., 2024).

Foliage damage by insects can lead to deterioration in tree health and reduced growth (Kulman, 1971; Lyytikäinen-Saarenmaa & Tomppo, 2002; Simmons et al., 2014; Tabaković & Milosavljević, 2018). However, the extent of tree growth reduction depends on the timing and extent of defoliation, tree species, its health before pest attacks, weather, etc. Most research focused on the growth-climate relationships of *Fraxinus* sp. In the eastern USA, the total ring width of white ash (*F. americana* L.) was positively correlated with precipitation and negatively correlated with temperature during May to July, when most radial growth occurs. So white ash growth was most strongly influenced by drought stress in the first half of the growing season (Lockwood & LeBlanc, 2017). In Poland, the tree-ring width of European ash was related to climatic factors in July, August, and September of the previous year, and May, June, and July of the current year (Okoński, 2017). A negative impact of moisture deficit on the radial growth of European ash was also observed in Lithuania (Karpavičius & Vitas, 2006) and Ukraine (Koval & Maksimenko, 2020). Despite the presence of the ash black sawfly in different regions, the effect of defoliation on radial wood growth has not been sufficiently studied.

The object of research was the radial growth of European ash. The subject of research was the radial

growth of European ash under foliage damage by black ash sawfly. The study aimed to evaluate the response of the European ash radial increment to the foliage damage by *Tomostethus nigrinus*.

Material and methods.

The research was conducted in the Molodezhny Park (50°0'28.39"N 36°15'5.38"E) of Kharkiv (Ukraine, Left-bank Forest-steppe), where *Fraxinus excelsior* L. had been regularly damaged by the ash black sawfly *Tomostethus nigrinus* (Meshkova et al., 2017, 2024). Since 2007, more than 90 European ash trees in this park have been labeled and surveyed annually. The trees ranged in age from 50 to 70 years, with diameters ranging from 36.7 to 62.6 cm (average diameter 51±1.9 cm).

Defoliation and the health condition of individual trees were assessed in July-August. The accuracy of visual assessment of defoliation was 5%. Health condition index (HCI) was assessed by referring each tree to one of the classes: 1 – healthy; 2 – slightly weakened; 3 – weakened; 4 – drying up; 5 – recently dead; 6 – died more than one year ago (Санітарні правила в лісах України, 2016).

In March, 2019, the cores were extracted by standard dendrochronological techniques with the Pressler borer at a height of 1.3 m (Cook & Kairiukstis, 1992). After air drying, the core surfaces were prepared with razor blades, and the surface contrast was enhanced with chalk. When preparing the cores for measurement, it was found that many trees had signs of stem rot, and only 17 cores were suitable for further analysis.

The widths of early, late, and annual increments were measured using a digital equipment HENSON at an accuracy of 0.01 mm. All cores were dated using visual and graphical techniques to determine the exact date of each tree-ring formation (Cook & Kairiukstis, 1992). The proportion of late wood was calculated.

Climatic parameters (monthly air temperature and precipitation) were taken from Kharkiv weather station (49°58'50" N, 36°15'09" E, 113 m a.s.l.).

Selyaninov's Hydrothermal Index – HTI was calculated by the formula (2):

$$HTI = 10 \frac{\sum P}{\sum t}, \quad (2)$$

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.

All data were organized using the software Excel 2019. PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Hammer et al., 2001) was used for data analysis (descriptive statistics, correlation analysis, etc.) and visualization.

Results.

Defoliation of individual ash trees by ash sawfly larvae in individual years of the period 2013-2018 varied from 0 to 100% (Fig. 1). The mean defoliation of individual trees in individual years ranged from 31.7±18.1% to 73.3±13.5%, and the average for 2013-2018 was 52.5±3.3%. The coefficient of variation of defoliation of individual trees over this period ranged from 26 to 241.4%.

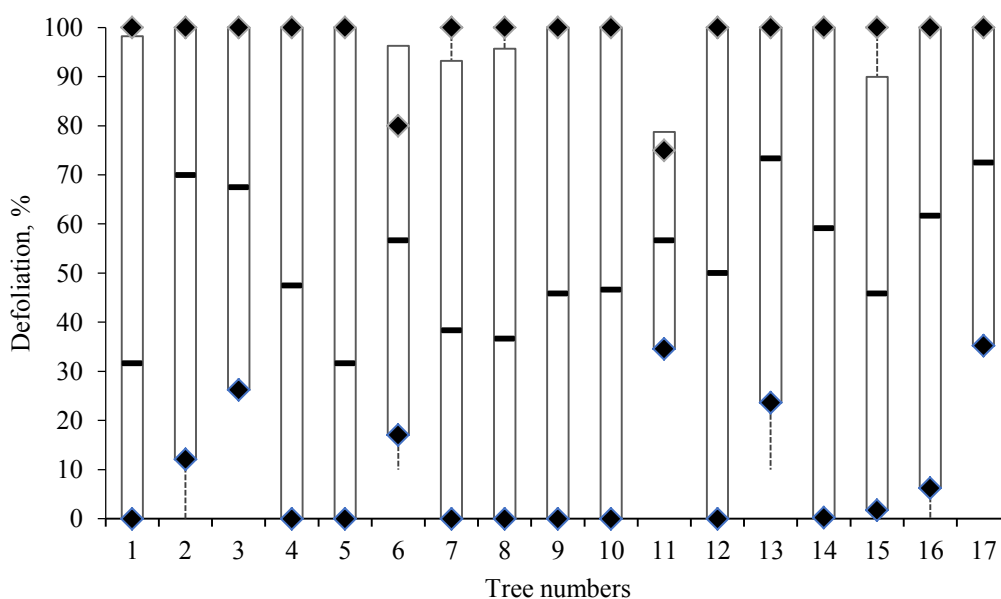


Fig. 1. Defoliation of individual ash trees by ash sawfly larvae in 2013-2018 (box length is one sigma; whiskers are max-min)

Correlation coefficients between the defoliation dynamics of individual trees ranged from 0 to 0.96,

with both negative and positive values (Fig. 2). Defoliation of 100 % over two consecutive years

was observed only for tree No3, while defoliation rates of 95-100-90% were observed for tree No2, and 90-100% were observed for trees No 4

and No 14. Defoliation of most trees in the year following reaching 100% did not exceed 50-70%.

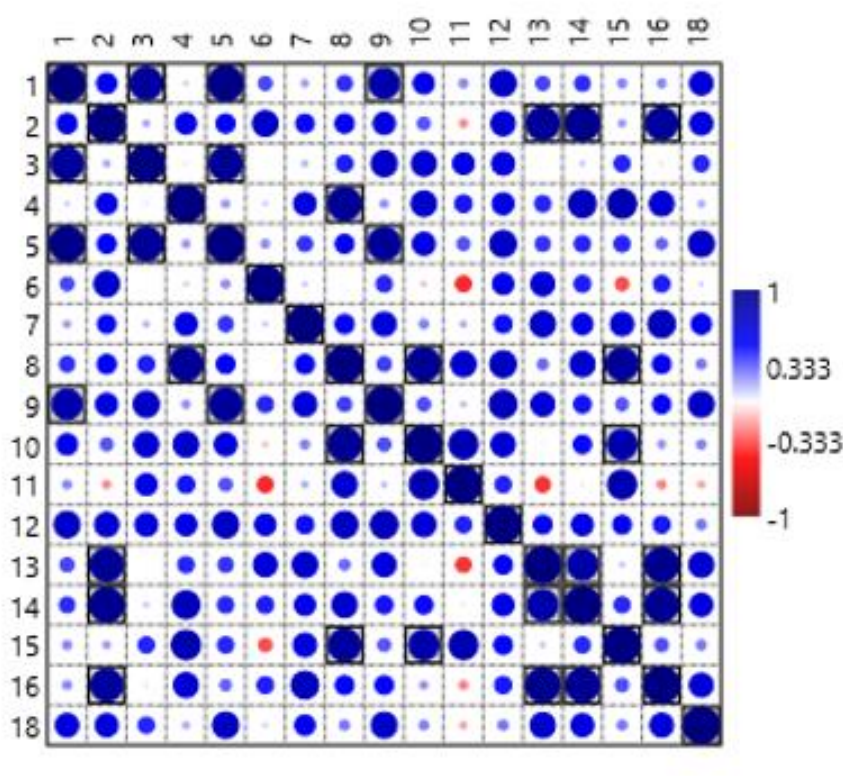


Fig. 2. Correlation plot of individual trees' defoliation in 2013-2018 ($p < 0,05$ boxed)

Mean defoliation increased from 2013, reached a maximum ($94.1 \pm 3.4\%$) in 2015, and then decreased (Fig. 3). In all years of the outbreak except 2015, defoliation of some trees was close to 0%. The coefficient of variation in individual tree defoliation before the outbreak was about 70%, decreased to 15% in the years of

maximum foliage damage, and increased to 125% in the following two years.

No dependence of tree defoliation on their diameter was found ($R^2=0.0045$; $r=0.07$) (Fig. 4).

The dependence of the health condition index on the defoliation level was high and significant ($R^2=0.6994$; $r=0.83$; $p < 0.001$) (Fig. 5).

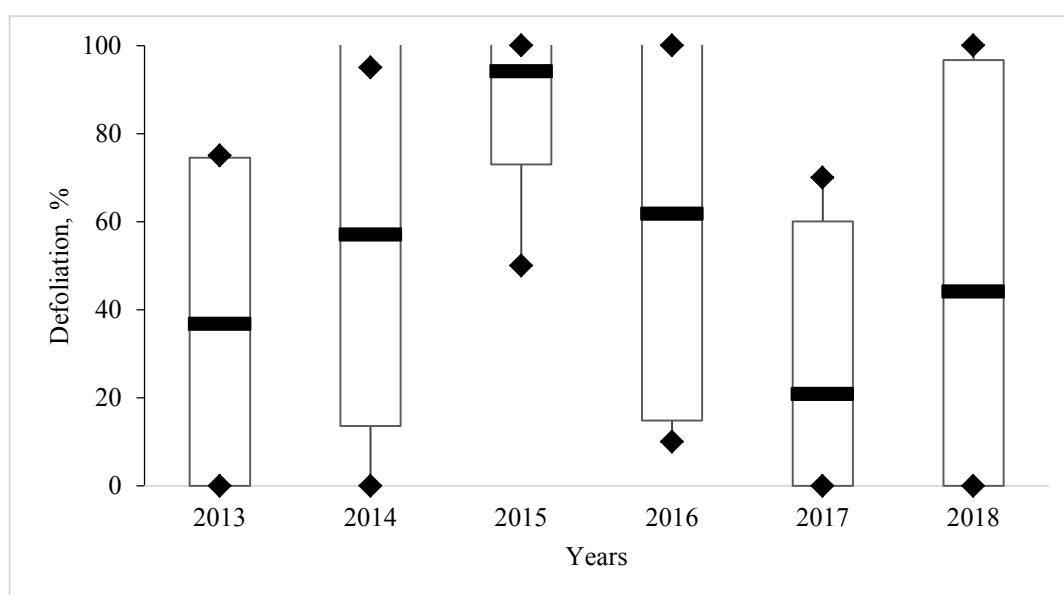


Fig. 3. Defoliation of ash trees by ash sawfly larvae in individual years of 2013-2018 (box length is one sigma; whiskers are max-min)

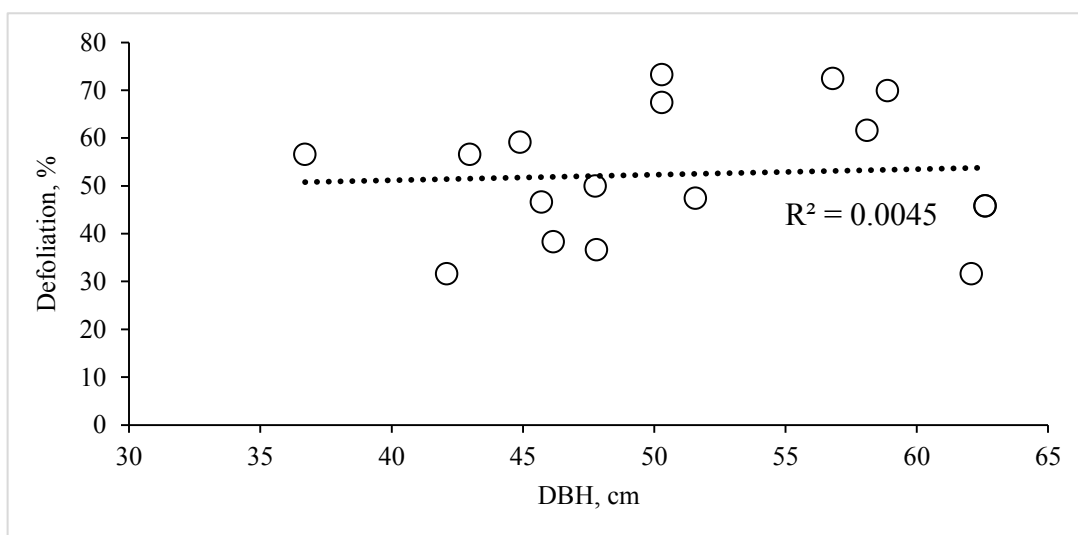


Fig. 4. Mean defoliation of ash trees by ash sawfly larvae in 2013-2018, depending on stem diameter (DBH)

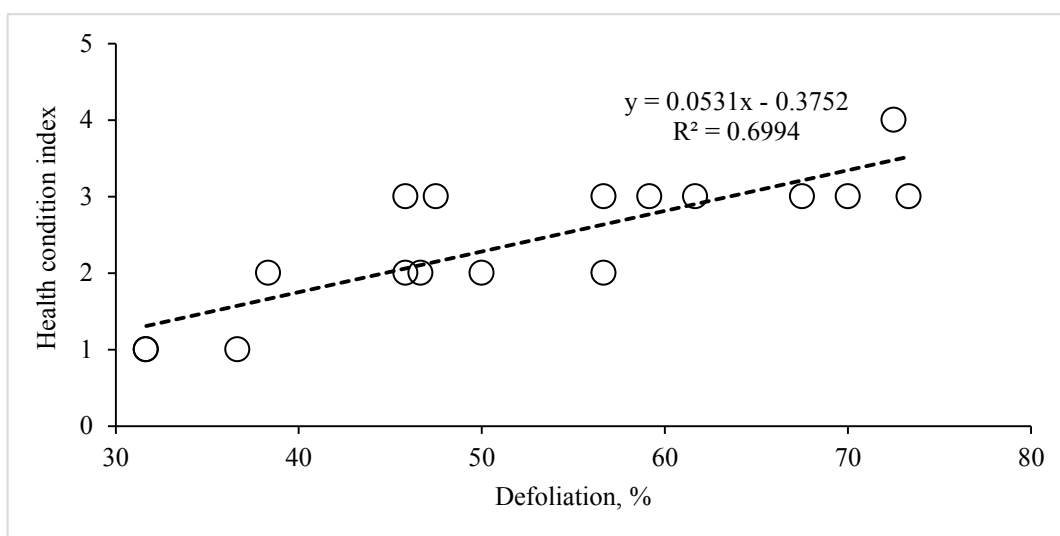


Fig. 5. Health condition index of ash trees in 2018 depending on mean defoliation in 2013-2018

In years of increasing foliage damage, the radial growth of trees decreased; after the maximum of the outbreak, it increased sharply but then decreased again (Fig. 6).

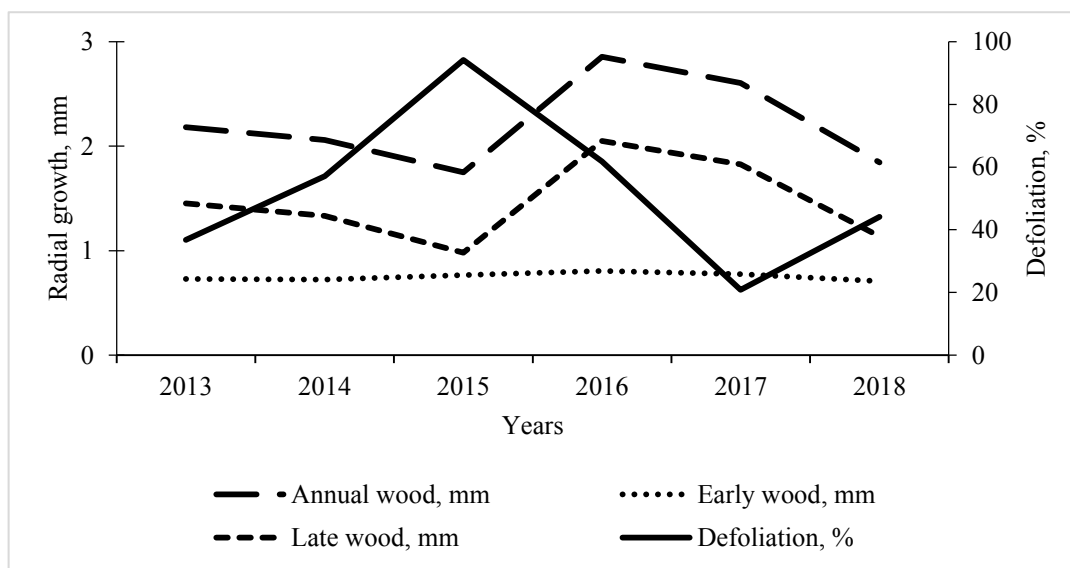


Fig. 6. Defoliation of ash trees by ash sawfly larvae and radial wood increment in 2013-2018

The late growth changed almost synchronously with the annual growth, but its share in the annual growth in the year of maximum defoliation was only 56.1%, and in the following year it exceeded 70% (Fig. 7).

The mean health condition index did not exceed 2, and only in 2017 did it start to increase, reaching 2.4 in 2018 (see Fig. 7).

The average annual, early, and late increments for all ash trees in 2013-2018 compared to 2007-2012 decreased by 0.31, 0.06, and 0.26 mm, respectively, and the relative changes were 12.4%, 7.2%, and 14.9%, respectively. However, statistically significant changes were found only for late increment ($F_{\text{fact}} = 4.06$; $F_{0.05} = 3.89$; $p = 0.05$).

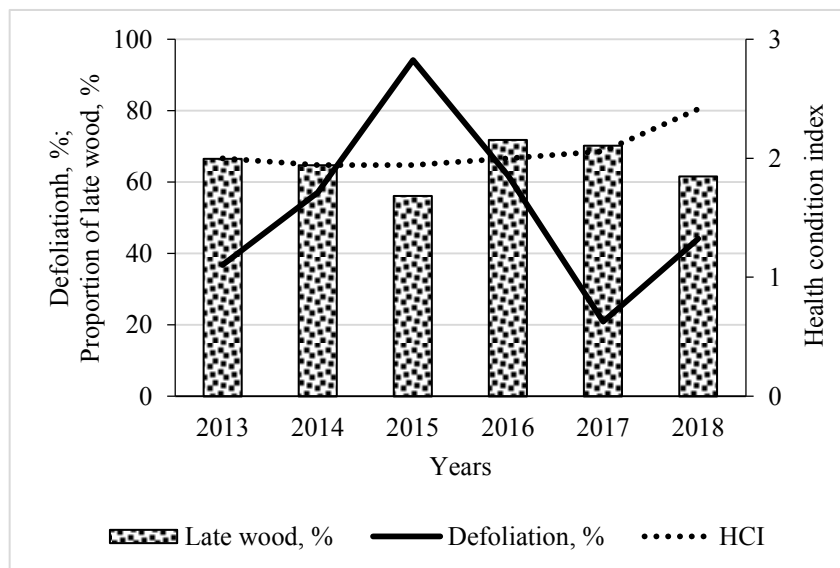


Fig. 7. Defoliation of ash trees by ash sawfly larvae, the health condition index and proportion of late wood in the radial wood increment in 2013-2018

The comparison showed that in the group of trees with low defoliation (on average < 25%), the annual wood growth in 2013-2018 (the years of black ash sawfly outbreak) was higher than in 2007-2012 by 0.2 mm (8.5%). In the group of trees with moderate defoliation (26-50%) it decreased by 0.2 mm (8.5%), and in the group with severe defoliation (> 50%) it decreased by 0.7 mm (20.9%) (Fig. 8). However, the change in the annual

wood growth was significant only for the group of trees with severe defoliation ($F_{\text{fact}} = 5.42$; $F_{0.05} = 3.98$; $p = 0.02$).

Late wood width in the groups of trees, which were healthy, weakened, and severely weakened (HCI – 1, 2, and 3, respectively) in 2018, was not significantly different in 2007-2012 ($F_{\text{fact}} = 0.38$; $F_{0.05} = 3.04$; $p = 0.7$) and in 2013-2018 ($F_{\text{fact}} = 1.01$; $F_{0.05} = 3.04$; $p = 0.4$).

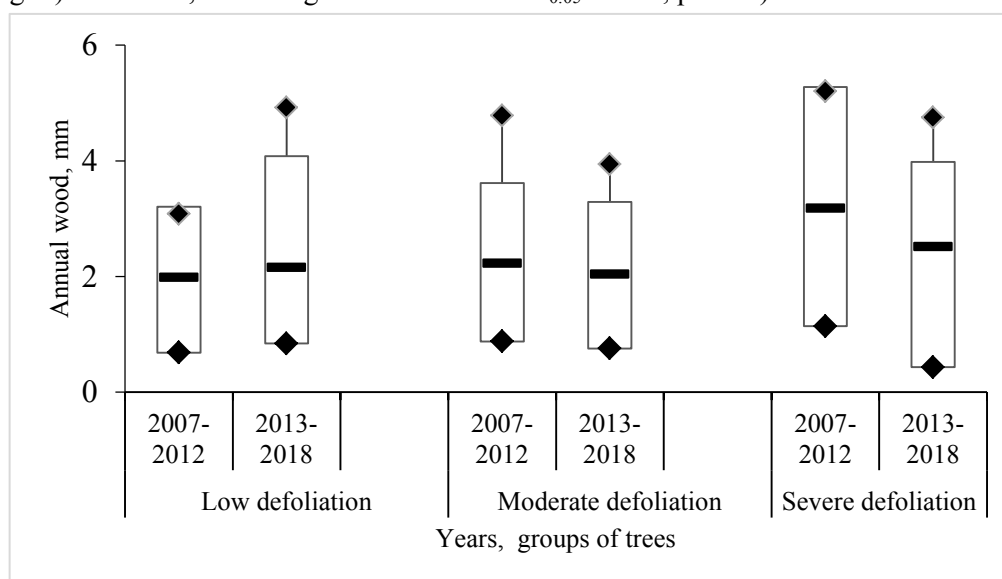


Fig. 8. Annual wood growth of ash trees in 2007-2012 and after defoliation by ash sawfly larvae in 2013-2018 (low defoliation – < 25%; moderate defoliation – 26-50%; severe defoliation – > 50%; box length is one sigma; whiskers are max-min)

In the group of healthy trees (HCI = 1), late wood width in 2013-2018 was higher than in 2007–2012 by 0.04 mm (3.7%), in the group of weakened trees (HCI = 2) it was lower than in 2007-2012 by

0.2 mm (16.6%), and in a group of severely weakened trees (HCI = 3) it was lower by 0.15 mm (12.4%) (Fig. 9). However, these differences were not statistically significant ($F_{\text{fact.}} < F_{0.05}$).

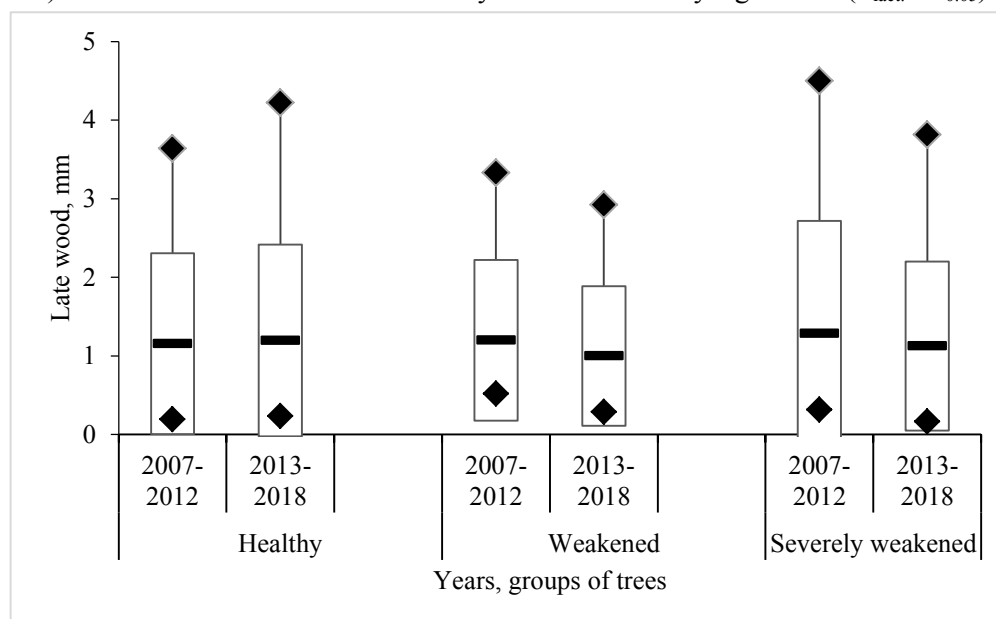


Fig. 9. Late wood width of ash trees in 2007–2012 and after defoliation by ash sawfly larvae in 2013-2018 (healthy trees – Health condition class 1; weakened trees – Health condition class 2; severely weakened – Health condition class 3; box length is one sigma; whiskers are max-min)

Most Spearman's rank correlations between ash wood growth and weather parameters were low and insignificant (Table 1). Negative correlations

between ash wood growth and the temperature of the growing season, May, and September were significant at $p < 0.05$.

Table 1. Spearman's rank correlation between ash wood growth and weather parameters

Parameters	rs			Sr			t		
	Annual growth	Early wood	Late wood	Annual growth	Early wood	Late wood	Annual growth	Early wood	Late wood
P4	-0.01	0.26	0.04	0.30	0.28	0.30	-0.05	0.92	0.14
P5	-0.04	-0.06	0.01	0.30	0.30	0.30	-0.14	-0.19	0.05
P6	-0.27	-0.13	-0.30	0.28	0.30	0.27	-0.98	-0.42	-1.10
P7	-0.10	-0.16	-0.06	0.30	0.29	0.30	-0.35	-0.55	-0.21
P8	0.29	0.25	0.30	0.28	0.28	0.27	1.04	0.89	1.10
P9	0.08	-0.29	0.02	0.30	0.28	0.30	0.28	-1.04	0.07
Pveg	0.03	-0.10	0.06	0.30	0.30	0.30	0.12	-0.33	0.19
Tveg	-0.49	-0.52	-0.50	0.23	0.22	0.23	-2.14	-2.38	-2.19
HTI	0.13	0.03	0.14	0.30	0.30	0.30	0.42	0.09	0.47
T4	-0.06	-0.27	0.01	0.30	0.28	0.30	-0.21	-0.98	0.02
T5	-0.46	-0.65	-0.49	0.24	0.17	0.23	-1.95	-3.74	-2.14
T6	-0.20	-0.25	-0.22	0.29	0.28	0.29	-0.70	-0.89	-0.76
T7	-0.13	-0.27	-0.11	0.30	0.28	0.30	-0.44	-0.98	-0.38
T8	-0.06	-0.07	-0.08	0.30	0.30	0.30	-0.20	-0.23	-0.26
T9	-0.52	-0.23	-0.53	0.22	0.29	0.22	-2.35	-0.81	-2.46

Notes: P4 – P9 – precipitations for April – September; T4 –T9 – air temperature for April – September; Pveg – precipitation for growing season; Tveg –mean air temperature for growing season; rs – Spearman's rank correlation; Sr – standard error of rs; t – Student's t; significant values are bold

An increase in the Hydrothermal Index in 2016, compared to the previous year (by 0.2 units, or by

25%), could have a positive impact on growth recovery (Fig. 10).

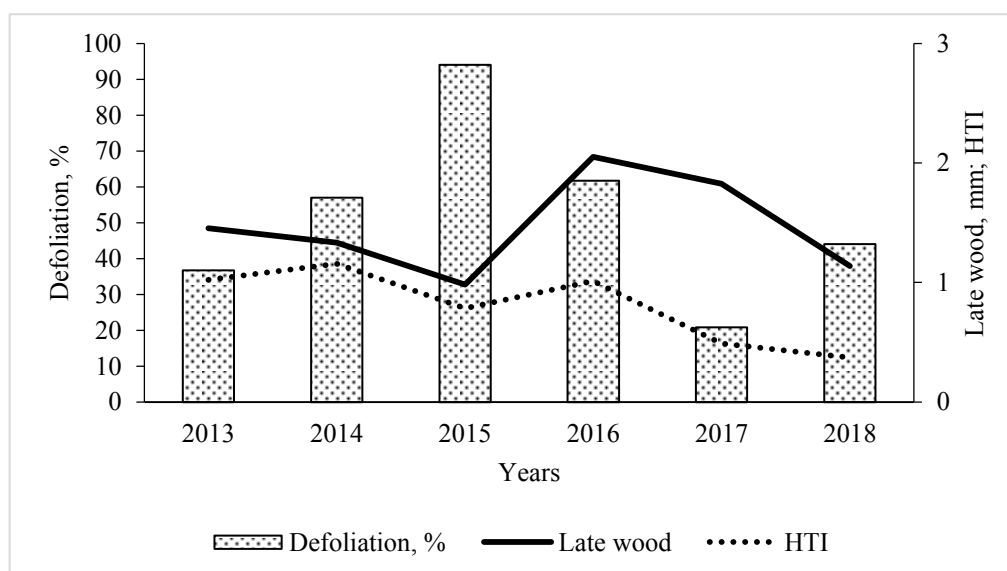


Fig. 10. Defoliation of ash trees by ash sawfly larvae, the health condition index and late wood width of ash trees in 2013-2018

Discussion.

Across regions, plantings, and tree species, estimates of radial growth response to insect damage vary widely (20-84%) (Kulman, 1971). This depends on the methodological approaches, the timing of foliar damage, weather conditions, and other factors. Since pest outbreaks last 5-7 years, when assessing the impact of foliar damage on wood growth, these indicators are compared for 5-10 years before the pest outbreak and the same period after the outbreak (Kulman, 1971).

In our study area, the black ash sawfly outbreak developed in 2013-2018, peaking in 2015. In each year, no more than 2-3 trees were damaged to almost 100% (see Figs. 1 and 2). This may be related to the fact that trees typically delay budburst in the following year after severe defoliation. Due to stress and the costs of crown restoration, the tree requires more time and warmth to start vegetation the following spring (Wesołowski & Rowiński, 2006). This phenological shift disrupts the synchrony between the tree's leaf emergence and the peak feeding times of emerging larvae.

The observed decrease in the coefficient of variation in individual tree defoliation in the year of maximum foliage damage is similar to patterns in the dynamics of foliage-gnawing insect population density (Meshkova, 2021).

In years with increasing foliage damage, the radial growth decreased; after the year of maximum foliage damage, the radial growth increased sharply, but then decreased again (see Fig. 6).

Ash is a ring-porous species with large vessels arranged in rings in the early wood. Earlywood width varies little under any factor, while latewood responds more noticeably (Koval & Borisova, 2019; Lockwood & LeBlanc, 2017). The previous radial

growth can be restored after the weakening factor ceases. The rate of its recovery depends on defoliation level, weather, forest site conditions, and tree health (Коваль, 2023). Our data confirm it (see Fig. 6).

The late growth changed almost synchronously with the annual growth, but its share in the annual growth in the year of maximum defoliation was only 56.1%, and in the following year it exceeded 70 % (see Fig. 7).

Earlywood development begins with bud break by utilizing the previous year's carbohydrate reserves. Summer growth occurs due to products of photosynthesis accumulated during the current year (Tulik et al., 2010). Since black ash sawfly damages foliage during larval development (in May), it does not affect earlywood. However, the proportion of late growth responds to defoliation.

Deciduous tree species begin to regrow foliage immediately if insect damage occurs before completion of shoot growth and wood ring formation (Kulman, 1971). Therefore, deciduous species can tolerate repeated defoliation for several years.

A significant decrease in wood growth in the trees with severe defoliation (> 50%) in 35.3% of analyzed trees and an insignificant decrease in late wood width among severely weakened trees (HCI = 3), which constituted 47% of analyzed trees and 17.5% of monitored trees, as well as relative growth change was less than 25% (Schuler & Fajvan, 1999) indicate that foliar damage by the black ash sawfly does not pose a noticeable threat to the plantings.

The lack of statistically significant correlations between ash wood growth and weather parameters (see Table 1) may be due to the short period of exposure to severe defoliation.

Thus, research in the Kharkiv region showed that in 1975-1995, the radial growth of European ash was affected by the growing-season temperature, and in 1995-2016, by the air temperature in March, April, and the winter months. Precipitation in September and December of the previous year had a positive effect on the radial growth in 1975-1995 (Коваль & Борисова, 2019).

The results of the research show that foliage damage by black ash sawfly larvae did not cause significant direct damage to the planting. However, the weakened trees became susceptible to the emerald ash borer in the coming years (Meshkova et al., 2024).

Conclusions.

1. In Kharkiv's Molodezhny Park, defoliation of European ash by black ash sawfly increased from 2013, reached a maximum ($94.1 \pm 3.4\%$) in 2015, and then decreased. The mean defoliation of individual trees in individual years ranged from $31.7 \pm 18.1\%$ to $73.3 \pm 13.5\%$. Only three trees were completely defoliated over two consecutive years. No dependence of tree defoliation on their diameter was found. The mean health condition index started to increase in 2017 and reached 2.4 in 2018. Its dependence on the defoliation level was high and significant ($r = 0.83$; $p < 0.001$).

2. The radial growth of trees decreased in years of increasing foliage damage. In 2013-2018 compared to 2007-2012, the average annual, early wood and late wood in the total sample decreased by 12.4%, 7.2%, and 14.9%, respectively. However, the changes were statistically significant only for the late wood.

3. The late growth changed almost synchronously with the annual growth. The proportion of the late wood in the annual growth was only 56.1% in the year of maximum defoliation and exceeded 70% the following year.

4. In the group of trees with low defoliation (on average $< 25\%$), the annual wood width in 2013-2018 (the years of black ash sawfly outbreak) was

higher than in 2007-2012 by 0.2 mm (8.5%). In the group of trees with moderate defoliation (26-50%), the annual wood width decreased by 0.2 mm (8.5%), and in the group with severe defoliation ($> 50\%$) by 0.7 mm (20.9%). However, the change in the annual wood growth was significant only for the group of trees with severe defoliation.

5. In the group of healthy trees (HCI = 1), late wood width in 2013-2018 was higher than in 2007-2012 by 0.04 mm (3.7%), in the group of weakened trees (HCI = 2) was lower than in 2007-2012 by 0.2 mm (16.6%), and in a group of severely weakened trees (HCI = 3) was lower by 0.15 mm (12.4%). However, these differences were not statistically significant.

6. Most Spearman's rank correlations between ash wood growth and weather parameters are low and insignificant. Negative correlations between ash wood growth and air temperature of the growing season, May and September, are the most significant. An increase in the Hydrothermal Index in 2016, compared to the previous year by 0.2 units (by 25%), could have a positive impact on growth recovery.

7. The research indicates that European ash foliage damage by the black ash sawfly does not pose a noticeable threat to the plantings. However, the weakened trees became susceptible to the emerald ash borer in the coming years.

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 revisions to the text.

Conflicts of Interest.

The authors declare that they have no known competing financial interests or personal relationships that could have appeared to influence the work reported in this paper.

References

- Ciornei, C., Lupaștean, D., & Pricop, E. (2024). *Tomostethus nigratus* (Fabricius) (Hymenoptera: Tenthredinidae) – a new challenge for common ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Bucovina Forestieră*, 24(2), 153–164. <https://doi.org/10.4316/bf.2024.014>
- Cook, E. R., & Kairiukstis, A. (1992). *Methods of dendrochronology*. Berlin: Kluwer Academic Publishers, 394 pp.
- 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. https://palaeoelectronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Jess, S., Murchie, A., Allen, D., & Crory, A. (2017). First observation of *Tomostethus nigratus* (Fabricius) (Hymenoptera: Tenthredinidae) on urban ash trees in Ireland. *The Irish Naturalists' Journal*, 35, 134–136. <https://www.jstor.org/stable/44577844>
- Karpavičius, J., & Vitas, A. (2006). Influence of environmental and climatic factors on the radial growth of European ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Ekologija*, 1, 1–9.

- Koval, I. M. (2023). *Dendrochronological principles of evaluation of pine and oak stands of Ukraine*. Kharkiv: Machulin. ISBN 978-617-8195-25-0 [Коваль, І. М. (2023). *Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України*. Харків: Мачулін. 252 с.] (in Ukrainian)
- Koval, I. M., & Borysova, V. L. (2019). Ash radial growth response to climate change in the stands of Left bank of Forest-steppe. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(2), 53–57. <https://doi.org/10.15421/40290210> [Коваль, І. М., Борисова, В. Л. (2019). Реакція на зміни клімату радіального приросту ясен звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(2), 53–57] (in Ukrainian)
- Koval, I., & Maksymenko, N. (2020). The radial increment of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) under climate change, Ukraine. *Journal of Forest Science*, 66(7), 288–298. <https://doi.org/10.17221/37/2020-JFS>
- Kulman, H. M. (1971). Effects of insect defoliation on growth and mortality of trees. *Annual Review of Entomology*, 16, 289–324.
- Lockwood, B. R., & LeBlanc, D. C. (2017). Radial growth-climate relationships of white ash (*Fraxinus americana* L. Oleaceae) in the eastern United States. *The Journal of the Torrey Botanical Society*, 144, 267–279. <https://doi.org/10.3159/TORREY-D-16-00022.1>
- Lyytikäinen-Saarenmaa, P., & Tomppo, E. (2002). Impact of sawfly defoliation on growth of Scots pine *Pinus sylvestris* (Pinaceae) and associated economic losses. *Bulletin of Entomological Research*, 92(02), 137–140. <https://doi.org/10.1079/BER2002154>
- Mathieu, R. D., & McCullough, D. G. (2025). Long-term survival and radial growth of four North American and two Asian ash species in a common garden exposed to emerald ash borer invasion. *Environmental Entomology*, 54(3), 603–614. <https://doi.org/10.1093/ee/nvaf049>
- Meshkova, V. (2021). Proc and cons of Climate Change for Forest Phytophagous insects. *Proceedings of the 1st International Electronic Conference on Entomology*, Basel, Switzerland, 1–15 July 2021. <https://doi.org/10.3390/IECE-10373>
- Meshkova, V., Kukina, O., Zinchenko, O., & Davydenko, K. (2017). Three-year dynamics of common ash defoliation and crown condition in the focus of black sawfly *Tomostethus nigrinus* F. (Hymenoptera: Tenthredinidae). *Baltic Forestry*, 23(1), 303–308. https://balticforestry.lammc.lt/bf/PDF_Articles/2017-23%5B1%5D/Baltic%20Forestry%202017.1_303-308.pdf.....
- Meshkova, V., Zinchenko, O., Us, V., & Skrylnyk, Y. (2024). Emerald ash borer in the park with a long-time history of black ash sawfly defoliation. *Environmental and Earth Sciences Proceedings*, 31(1), 4. <https://sciforum.net/event/IECF2024>.
- Mitali, E. (2012). *Indagini sul defogliatore del frassino Tomostethus nigrinus* (Hymenoptera Tenthredinidae). Tesi di laurea in tecnologie forestali e ambientali. Anno Accademico. Università Degli Studi Di Padova, 59 pp.
- Okoński, B. (2017). Radial growth of pedunculate oak and European ash on active river terraces. Hydrologic and climatic controls. *Infrastructure and Ecology of Rural Areas*, 3, 1075–1091. <https://doi.org/10.14597/infraeco.2017.3.1.083>
- Pyvovar, T., Lialin, O., & Meshkova, V. (2022). Causes and trends in defoliation of *Fraxinus excelsior* L. in Ukraine according to forest monitoring data. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 36–46. <https://doi.org/10.15421/412203>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine* (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. [Electronic resource]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF#n11> (accessed 02.02.2025) [Санітарні правила в лісах України (2016). Затв. Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства від 26.10.2016 № 756 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п>.] (in Ukrainian)
- Schertler, E., Quelo, V., Monteleone, F., Eisenring, M., & Heinzelmann, R. (2025). Resistance and tolerance mechanisms of common ash (*Fraxinus excelsior*) against the ash dieback pathogen *Hymenoscyphus fraxineus*: latest advances and knowledge gaps. *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 99(2), 1–15. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpaf038>
- Schuler, T. M., & Fajvan, M. A. (1999). *Understory tree characteristics and disturbance history of a central Appalachian forest prior to old-growth harvesting*. Research Paper NE-710. Radnor, PA: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Northeastern Research Station. 12 p.
- Simmons, M. J., Lee, T. D., Ducey, M. J., Elkinton, J. S., Boettner, G. H., & Dodds, K. J. (2014). Effects of invasive winter moth defoliation on

- tree radial growth in eastern Massachusetts, USA. *Insects*, 5(2), 301–318. <https://doi.org/10.3390/insects5020301>
- Soldi, E., Fuller, E., Tiley, A. M. M., Murchie, A. K., & Hodkinson, T. R. (2022). First report of the ash sawfly, *Tomostethus nigrinus*, established on *Fraxinus excelsior* in the Republic of Ireland. *Insects*, 13, 6. <https://doi.org/10.3390/insects13010006>
- Tabaković, T. M., & Milosavljević, M. (2018). Examination of the correlation between the defoliation caused by nutrition of the brown-tail moth larvae and the increment of infested Sessile oak and Turkey oak trees. *Sustainable Forestry: Collection*, 77-78, 89–98. <https://doi.org/10.5937/SustFor1877089T>
- Tulik, M., Marciszewska, K., & Adamczyk, J. (2010). Diminished vessel diameter as a possible factor in the decline of European ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Annals of Forest Science*, 67(1). <https://doi.org/10.1051/forest/2009084>
- Wesołowski, T., & Rowiński, P. (2006). Timing of bud burst and tree-leaf development in a multispecies temperate forest. *Forest Ecology and Management*, 237(1-3), 387–393. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.09.061>
- Zeng, Q., Ji, S. S., Xiao, Y. B., Yang, Y., Yang, S., & Jia, Y. (2024). Study on biological characteristics and spread trend of *Tomostethus nigrinus* (Fabricius). *Journal of Sichuan Forestry Science and Technology*, 45(6), 92–98. <https://doi.org/10.12172/202301300001>
- Zinchenko, O. V., & Kukina, O. M. (2015). Some biological features of ash black sawfly *Tomostethus nigrinus* Fabricius, 1804 (Hymenoptera: Tenthredinidae). *The Kharkiv Entomological Society Gazette*, 23(2), 70–74. [Зінченко О. В., Кукіна О. М. (2015). Деякі біологічні особливості ясенювого чорного пильщика *Tomostethus nigrinus* Fabricius, 1804 (Hymenoptera: Tenthredinidae). *Вісник Харківського ентомологічного товариства, XXIII(2)*, 70–74] (in Ukrainian)

Вплив хронічного пошкодження листя личинками *Tomostethus nigrinus* на радіальний приріст *Fraxinus excelsior*

В.Л. Мешкова¹, Ю.Є. Скрильник², О.В. Зінченко³, І.М. Коваль⁴

У Молодіжному парку м. Харкова чорний ясенювий пильщик *Tomostethus nigrinus* (Fabricius, 1804) (Hymenoptera: Tenthredinidae) пошкоджує ясени понад 20 років. З 2012 р. науковці щорічно оцінюють дефоліацію та санітарний стан 90 пронумерованих дерев. Мета цього дослідження полягала в оцінюванні реакції радіального приросту ясеня звичайного на пошкодження листя чорним ясенювим пильщиком (*T. nigrinus*). Чисельність цього шкідника у Молодіжному парку з 2013 р. збільшувалася, а у 2015 р. серед-

ня дефоліація сягала 94,1±3,4%. Середня дефоліація окремих дерев змінювалась за роками від 31,7 до 73,3%, причому сусідні дерева в той самий рік могли мати дефоліацію від 0 до майже 100%. Лише три дерева два роки поспіль були дефоліювані на 100%. Залежності середнього рівня дефоліації від діаметра дерев не визначено. Залежність індексу санітарного стану дерев від рівня дефоліації була високою та значущою ($r = 0.83$; $p < 0.001$).

У роки збільшення пошкодження листя ли-

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; Державний Біотехнологічний університет, вул. Алчевських 44, Харків-61002, Україна. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Скрильник Юрій Євгенович – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: yuriy.skrylnik@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8565-4860>

³ Зінченко Ольга Вікторівна – 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: zinch.ov@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-8144>

⁴ Коваль Ірина Михайлівна – 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: koval_iryana@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

чинками радіальний приріст дерев зменшувався. У 2013-2018 рр. порівняно з 2007-2012 рр. значення річного, раннього та пізнього приросту зменшилися на 12,4; 7,2 та 14,9% відповідно. Водночас статистично значущим є лише зменшення пізнього приросту. Приріст пізньої деревини змінювався під час спалаху чорного ясенювого пильщика майже синхронно з річним приростом. Водночас частка пізньої деревини у річному прирості становила лише 56,1% у рік максимальної дефоціації, а наступного року сягала 70%. У групі дерев із низькою середньою дефоціацією (< 25%) річний приріст деревини у 2013-2018 рр. був більшим, ніж у 2007-2012 рр., на 0,2 мм (на 8,5%). У групі дерев з помірною середньою дефоціацією (26-50%) річний приріст деревини за ці роки зменшився на 0,2 мм (на 8,5%), а у групі дерев із високою дефоціацією (> 50%) – на 0,7 мм (на 20,9%). Водночас ці зміни є значущими лише стосовно дерев із високою дефоціацією.

У групі здорових дерев (категорія санітарного стану «1») ширина шару пізньої деревини в 2013-2018 рр. була вища, ніж у 2007-2012 рр., на 0,04 мм (на 3,7%). У групі ослаблених дерев (категорія санітарного стану «2») ширина шару пізньої деревини в 2013-2018 рр. була менша, ніж у 2007-2012 рр., на 0,2 мм

(на 16,6%), а у групі сильно ослаблених дерев (категорія санітарного стану «3») ширина шару пізньої деревини в 2013-2018 рр. була менша, ніж у 2007-2012 рр., на 0,15 мм (на 12,4%). Водночас ці зміни не є статистично значущими.

Більшість значень коефіцієнтів кореляції Спірмена між річним приростом деревини та погодними показниками є низькими та незначущими. Від'ємні коефіцієнти кореляції між річним приростом деревини і температурами травня, вересня та вегетаційного періоду загалом є значущими при $p < 0,05$. Збільшення гідротермічного індексу у 2016 р., порівняно з попереднім роком, на 0,2 одиниці (на 25%) могло позитивно вплинути на відновлення крон дерев після пошкодження личинками чорного ясенювого пильщика.

Результати дослідження свідчать, що пошкодження листя личинками чорного ясенювого пильщика не спричинило помітної прямої шкоди насадженню. Водночас ослаблені дерева стали сприйнятливими до заселення в наступні роки ясенювою смарагдовою вузькотілою златкою.

Ключові слова: ясен звичайний; чорний ясенювий пильщик; дефоціація; індекс санітарного стану; рання деревина; пізня деревина.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412602>
Article received 2025.11.12
Article revised 2026.03.03
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Zaika
volodymyr.zaika@cnu.edu.ua
57 Shevchenka, St.,
Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*181:581.1:537.84

Особливості біоелектричної активності дерев різних видів в умовах дії магнітного поля Землі

В.К. Заїка¹, Г.Т. Криницький², І.І. Делеган³, Т.П. Сумарук⁴, П.П., Придка⁵,
С.В. Тимошук⁶, М.М. Дубченко⁷, Ю.І. Черневий⁸, М.С. Кобринович⁹

Наведено результати досліджень, проведених вперше в Україні (лісорослинний район – Українське Розточчя) щодо зв'язку між динамікою біоелектричних потенціалів (БЕП) дерев та зміною магнітного поля Землі (МПЗ). Встановлено тісний зв'язок між цими параметрами. Оскільки

¹ 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: volodymyr.zaika@cnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

² Криницький Григорій Томкович – академік Лісівничої академії 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: krynysk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7020-9991>

³ Делеган Іван Іванович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: i.delegan@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4730-0193>

⁴ Сумарук Тарас Петрович – кандидат фізико-математичних наук, старший науковий співробітник. Інститут геофізики ім. С.І. Субботіна НАН України, пр. Палладіна, 32, м. Київ, 03680, Україна. E-mail: taras.sumaruk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0559-3857>

⁵ Придка Петро Павлович – інженер лісових культур, Страдцівський навчально-виробничий лісокомбінат. Національний лісотехнічний університет України, вул. Міцкевича, 15, с. Івано-Франкове, 81070, Україна. E-mail: prudkapetro@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2709-9520>

⁶ Тимошук Світлана Василівна – кандидат хімічних наук, доцент кафедри безпеки життєдіяльності. Львівський національний університет імені Івана Франка вул. Дорошенка, 41/98, м. Львів, 79000, Україна, E-mail: svitlana.tymoshuk@lnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3124-0328>

⁷ Дубченко Марко Михайлович – студент, Міжнародна бакалаврат-програма PIPL (IB DP), вул. Наукова 5а, Львів, 79000, Україна. E-mail: marko.dubchenko@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8524-3603>

⁸ Черневий Юрій Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор кафедри лісового та аграрного менеджменту. Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: yurii.chernevyi@cnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1677>

⁹ Кобринович Михайло Степанович – кандидат фізико-математичних наук, доцент кафедри комп'ютерної інженерії, математики і фізики. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 105, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: m.kobrynovych@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-5922-7369>

біоелектричні потенціали характеризують інтенсивність перебігу фізіолого-біологічних процесів рослин, а МПЗ є індикатором процесів як у космічному просторі, так і всередині Землі, зроблено спробу пояснити механізми впливу сонячної та геомагнітної активності на стан деревних рослин.

Реакцію процесів життєдіяльності дерев різних видів на зміни показників БЕП досліджували за показниками коефіцієнтів кореляції Пірсона між добовою динамікою складових геомагнітного поля Землі і біоелектричних потенціалів. Коефіцієнти кореляції змінювались в межах ($r = 0,4-0,9$), що демонструє тісну або дуже тісну кореляцію.

Сонячна та геомагнітна активність безпосередньо впливає на перебіг біологічних процесів у рослинних організмах. У світловий період доби в асиміляційно-дисиміляційному балансі рослин переважають процеси асиміляції, які зумовлені фотосинтетичною активністю. В цей період максимальний вплив на БЕП має хвильове (інфрачервоне та ультрафіолетове) випромінювання Сонця, (струми в іоносфері Землі). За відсутності світла у метаболізмі рослин домінують окисно-відновні процеси. В цей період максимальний вплив на БЕП має корпускулярне випромінювання Сонця та струми, індуковані всередині Землі. Оскільки окисно-відновні процеси мають електричну природу, то струми, що індукуються в деревині внаслідок змін МПЗ, мають прямий вплив на метаболізм рослин.

Впливаючи на проходження окисно-відновних реакцій на фітопроцеси у рослин, геомагнітна та сонячна активність модулює їхнє протікання. Періодичний характер змін сонячної та геомагнітної активності відкриває можливості для прогнозування росту, захворюваності та плодоношення рослин.

Ключові слова: біоелектричні потенціали; деревні види; геомагнітна активність; сонячна активність; векторна магнітна індукція; північна компонента магнітного поля.

Вступ (Introduction).

Здатність відчувати зміни у навколишньому середовищі та реагувати на них є фундаментальною рисою всіх живих організмів. Для наземних рослин ця властивість є особливо важливою, оскільки вони змушені ефективно опрацьовувати всі зовнішні чинники, не маючи можливості впливати на них. Серед усього розмаїття флори саме деревні рослини є найбільш показовими об'єктами дослідження, адже, попри свої значні розміри та складну структуру, вони чутливо реагують на виклики довкілля.

На процеси життєдіяльності деревних рослин впливає комплекс екологічних чинників, дія яких на ріст і функціонування організмів ґрунтовно висвітлена в сучасній науковій літературі. Зокрема, світло відіграє роль ключового регулятора фотосинтезу, фотоперіодизму та морфогенезу (Taiz et al., 2015). Водний режим, що характеризується дефіцитом або надлишком вологи, безпосередньо змінює доступність мінеральних елементів у ґрунті та визначає ефективність роботи кореневих систем (Fotelli et al., 2010). Температурний чинник відіграє вирішальну роль у швидкості біохімічних процесів, впливаючи на динаміку росту, інтенсивність фотосинтезу та загальну стійкість дерев до глобальних кліматичних змін (Hossain et al., 2024). Важливе значення має і мінеральне живлення, де баланс азоту, фосфору, калію та мікроелементів безпосередньо визначають рівень життєдіяльності та продуктивності деревних насаджень (Scartazza et al., 2025).

Рослинний світ сформував складні сигнальні механізми, що забезпечують регуляцію фізіологічних процесів у відповідь на зміни довкілля. Одним із таких механізмів є електричні сигнали, які слугують універсальним засобом швидкої передачі інформації (Lautner et al., 2005; Zimmermann et al., 2009). Дослідження біоелектричної активності певних органів чи систем органів у людей і тварин дає можливість оцінювати загальний стан організму, робити висновки щодо подальшої дії, зокрема визначати напрям лікування. Натомість у рослинному світі подібні дослідження біоелектричної активності перебувають лише на початковому етапі, тому проведення певних аналогій спроможне надати цінну інформацію про їхній фізіологічний стан.

Біоелектричний потенціал рослинних клітин – це різниця зарядів між внутрішнім і зовнішнім середовищем клітини, зумовлена нерівномірним розподілом іонів. Ця різниця виявляється у вигляді слабких електричних струмів (спокою та дії), які тісно пов'язані з метаболізмом, відображають життєвий стан рослини та є показником важливих для її фізіології процесів збудження. Величина біоелектричних потенціалів зазвичай невелика та не перевищує 0,05-0,10 В.

У літературі описано різні типи електричних сигналів у рослин, серед яких швидкі сигнали (action potentials, AP), повільні сигнали (variation potentials, VP), а також третій тип сигналу, який називають системним (system potentials, SP) чи електричним потенціалом (electric potentials, EP). AP – це електрична хвиля, яка передається

вздовж клітинної мембрани (Zimmermann et al., 2009, Gallé et al., 2013), характеризується реакцією «все або нічого», тобто коли зовнішній стимул досягає певного порогу, що призводить до деполяризації клітинної мембрани; додаткове збільшення інтенсивності стимулу не змінює його амплітуду та інтенсивність (Fromm & Lautner, 2007). Таким чином, АР дає можливість клітинам, тканинам та органам передавати електричні сигнали на короткі і довгі відстані у рослині (Volkov & Brown, 2006). Механізм АР полягає в обміні іонами Ca^{2+} , K^{+} та Cl^{-} між, поза- та внутрішньоклітинним простором, через клітинні мембрани. ВР характеризується змінним діапазоном деполяризації мембран та уповільненою реполяризацією, що зменшується за амплітудою та швидкістю з відстанню (Fromm & Lautner, 2007). Зазначено, що обидва типи електричних сигналів зумовлюють низку різних реакцій у рослин. Наприклад, АР беруть участь у рухах листя після механічної стимуляції та стимуляції дихання після запилення (Fromm et al., 1995). Також існує твердження, що ВР відіграють переважаючу роль у реакції на пошкодження (Grams et al., 2009). Однак вплив електричних сигналів, зумовлених впливом магнітного поля Землі на фізіологічні функції рослин, досі вивчений недостатньо.

Описані підходи до вивчення електричної сигналізації охоплюють внутрішньоклітинні та позаклітинні вимірювання. Внутрішньоклітинні вимірювання можуть безпосередньо фіксувати значення потенціалу мембрани окремої клітини, тоді як позаклітинні вимірювання виявляють загальну просторово-часову суму процесу деполяризації-реполяризації у великій групі клітин (Plik et al., 2010; Zhao et al., 2013).

Водночас не варто ігнорувати інші чинники біосфери, вплив яких на живі організми залишається недостатньо вивченим. До таких чинників належить, зокрема, магнітне поле Землі (МПЗ), стан якого значною мірою визначається процесами в сонячній і галактичній системах, а також внутрішньоземними явищами.

Актуальність проблеми полягає в тому, що попри фундаментальну роль магнітного поля Землі як еволюційного чинника, його безпосередній вплив на функціонування живих систем і молекулярно-клітинні механізми адаптації досі залишається однією із найменш вивчених областей сучасної біофізики та екології. Постійні зміни геомагнітного поля, зумовлені сонячною активністю та внутрішньоземними процесами, створюють динамічне стресове середовище для біоти, що потребує глибокого дослідження для прогнозування біосферних змін та оцінювання екологічних ризиків. Розуміння цих закономір-

ностей є критично важливим для розкриття механізмів магніторецепції організмів та їхньої життєдіяльності в умовах глобальних космічних і геофізичних трансформацій.

Мета дослідження – оцінити ступінь впливу геомагнітного поля Землі на інтенсивність та добову динаміку процесів життєдіяльності різних деревних видів.

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

Об'єкт дослідження – біоелектричні потенціали різних деревних видів. *Предмет дослідження* – біоелектрична реакція дерев різних видів на коливання магнітного поля Землі.

Серед основних механізмів цієї взаємодії виділяють радикал-парний механізм, який зумовлює зміну спінового стану радикальних пар під впливом геомагнітного поля (Erdmann et al., 2021; Hart, 2024). Важливу роль відіграє також водна динаміка, що проявляється у змінах мікроструктури води в тканинах дерев за гіпогеомагнітних умов (Fabricant et al., 2024). Крім того, значний вплив магнітних варіацій простежується у функціонуванні іонних каналів: геомагнітне поле здатне регулювати їхнє відкривання та закривання, змінювати провідність і трансформувати електричні властивості клітинних мембран (Blatt, 2024; Saletnik et al., 2024). Ці та інші чинники формують складну систему біофізичної взаємодії організму з магнітним полем.

Показниками, що відображають інтенсивність та особливості проходження фізіолого-біохімічних процесів у денному, сезонному та онтогенетичному аспектах і характеризують загальний стан рослин є біоелектричні потенціали (Криницький, 1993). Результати останніх досліджень у цьому напрямі (Sumaruk, et al., 2024; Zaika et al., 2025) вказують на можливу взаємодію між варіаціями геомагнітного поля та біоелектричними властивостями дерев.

Для дослідження підібрано модельні дерева сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), сосни кедрової корейської (*Pinus koraiensis* Siebold & Zucc), сосни кедрової європейської (*Pinus cembra* L.), бука лісового (*Fagus sylvatica* L.), дуба звичайного (*Quercus robur* L) та клена-явора (*Acer pseudoplatanus* L). Біоелектричні потенціали модельних дерев досліджували відносно землі на рівні кореневої шийки та на висотах стовбура 2,2-2,4 і 4,4 м, а також різницю потенціалів між кореневою шийкою і точкою на відповідній висоті стовбура за допомогою високоточного вольтметра та неполяризаційних хлорсрібних електродів. Реакцію процесів життєдіяльності дерев різних видів на зміни показників БЕП вивчали за показниками коефі-

цієнтів кореляції Пірсона між добовою динамікою складових геомагнітного поля Землі і біоелектричними потенціалами.

Результати (Research results).

Упродовж 23.06-11.07 2024 р. на базі геомагнітної обсерваторії «Львів» досліджено

добову динаміку трьох складових вектора магнітної індукції (B) магнітного поля Землі: північної (LVV_X), східної (LVV_Y) та вертикальної (LVV_Z) компонент, а також відповідні зміни біоелектричних потенціалів (БЕП) дерев у межах Українського Розточчя (табл. 1).

Таблиця 1. Ідентифікація об'єкту «Геомагнітна обсерваторія «Львів» ІГФ НАН України»
Table 1. Identification of the object «Lviv Geomagnetic Observatory of the Institute of Geophysics of the National Academy of Sciences of Ukraine»

IAGAcodes	Name	Geomag.lat. [deg]	Geomag.long. [deg]	Geogr.lat. [deg]	Geogr. long. [deg]
LVV	L'viv	47,84	106,8	49,900	23,750

Встановлено, що амплітуда мінливості показників ($A_{\max} - A_{\min}$) у добовій динаміці компонент МПЗ впродовж періоду дослідження становила: для східної компоненти – 13-67, для північної – 32-93, для вертикальної – 10-61 нТл.

БЕП достатньо чутливо реагують на коливання зовнішніх чинників та є інтегральними показниками, які відображають зміни процесів життєдіяльності у рослин. Результати дослідження впливу векторів магнітного поля Землі на біоелектричну активність дерев наведено в табл. 2, 3, 4.

Зміна північної компоненти (LVV_X) вектора магнітної індукції (B) МПЗ (зовнішніх джерел магнітного поля Землі) у різних деревних видів по-різному впливають на показники біоелектричних потенціалів. Так, у сосни звичайної вста-

новлено дуже високий кореляційний зв'язок ($r = -0,915$ при $d = 84\%$ та $t_{\phi} = 127,94$) між денною динамікою показників LVV_X і РП_{2,4-КШ} (див. табл. 2). Висока залежність різниці БЕП від показників LVV_X встановлена також у дерев сосни кедрової європейської ($r = 0,720$ при $d = 52\%$ та $t_{\phi} = 36,15$) і дуба звичайного ($r = 0,725$ при $d = 53\%$ та $t_{\phi} = 46,31$) та кореневої шийки у бука лісового ($r = 0,781$ при $d = 61\%$ та $t_{\phi} = 48,48$) і клена-явора ($r = 0,743$ при $d = 55\%$ та $t_{\phi} = 40,08$). На відміну від дуба звичайного і сосни кедрової європейської, у сосни звичайної зв'язок показників LVV_X і РП_{2,2-КШ} є зворотнім. Вірогідно цей аспект пов'язаний з видовими особливостями реакції процесів метаболізму на дію факторів, спричинених змінами зовнішніх джерел МПЗ.

Таблиця 2. Кореляційний зв'язок денної динаміки біоелектричних потенціалів деревних видів і горизонтальної компоненти зовнішніх джерел магнітного поля Землі (LVV_X)
Table. 2. Correlation between the diurnal dynamics of bioelectrical potentials of woody species and the horizontal component of external sources of the Earth's magnetic field (LVV_X)

Деревний вид	Дата	Точка відведення БЕП на стовбурі дерева, м	Кількість спостережень	Коефіцієнт кореляції Пірсона			Розмах мінливості показників LVV_X ($X_{\max} - X_{\min}$)
				$r \pm m_r$	t_{ϕ}	$d, \%$	
Сосна звичайна	23.06.2024	2,4	357	$-0,630 \pm 0,032$	19,74	40	50
	26.06.2024	РП _{2,4-КШ}	517	$-0,915 \pm 0,007$	127,94	84	67
	25-26.06.2024	РП _{4,4-КШ}	733	$-0,628 \pm 0,022$	28,10	39	32
Сосна кедрова європейська	14.07.2024	РП _{2,4-КШ}	834	$-0,412 \pm 0,029$	14,32	17	18
	15.07.2024	КШ	939	$0,581 \pm 0,022$	26,92	34	47
Сосна кедрова корейська	21.07.2024	КШ	964	$0,225 \pm 0,031$	7,35	5	41
	22.07.2024	2,4	1000	$-0,489 \pm 0,024$	20,30	24	62
	23.07.2024	РП _{2,4-КШ}	586	$0,720 \pm 0,020$	36,15	52	25
	26.07.2024	РП _{2,4-КШ}	798	$0,242 \pm 0,033$	7,27	6	111
Бук лісовий	11.07.2024	КШ	587	$0,781 \pm 0,016$	48,48	61	39
	10.07.2024	2,4	610	$-0,166 \pm 0,039$	4,22	3	24
	11.07.2024	2,4	752	$0,476 \pm 0,028$	16,89	23	20

Продовження таблиці 2

Дуб звичайний	03.07.2024	КШ	561	-0,266±0,039	6,79	7	35
	04.07.2024	КШ	856	-0,187±0,033	5,68	4	20
	04.07.2024	2,4	607	-0,209±0,03,9	5,40	4	48
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	917	0,725±0,016	46,31	53	47
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	768	-0,241±0,034	7,10	6	13
Клен-явір	07.07.2024	2,4	880	-0,161±0,033	4,91	3	28
	07.07.2024	РП _{2,4-КШ}	490	0,520±0,033	15,77	27	39
	08.07.2024	РП _{2,4-КШ}	864	0,418±0,028	14,90	17	32
	08.07.2024	КШ	810	-0,277±0,032	8,55	8	49
	09.07.2024	КШ	582	0,743±0,018	40,08	55	27

Примітки. БЕП – біоелектричні потенціали, РП різниця БЕП, t_{ϕ} – фактичне значення t-критерію Стьюдента, d – коефіцієнт детермінації (%), t_{05} – табличне значення t-критерію Стьюдента дорівнює 1,96.

Загалом найчутливіше на динаміку LVV_X реагують метаболічні процеси у дерев сосни звичайної, які характеризуються значною і дуже високою тісністю зв'язку. У дуба звичайного переважає слабкий кореляційний зв'язок між показниками LVV_X і БЕП, а в клена-явора – слабкий і помірний. Характер реакції метаболічних процесів де-

Таблиця 3. Кореляційний зв'язок денної динаміки біоелектричних потенціалів деревних видів і схилення магнітного поля кут між географічним і магнітним полюсами Землі (LVV_Y)
Table. 3. Correlation between the diurnal dynamics of bioelectrical potentials of woody species and magnetic field declination - the angle between the geographic and magnetic poles of the Earth (LVV_Y)

Деревний вид	Дата	Точка відведення БЕП на стовбурі дерева, м	Кількість спостережень	Коефіцієнт кореляції Пірсона			Розмах мінливості показників LVV_Y (Xmax- Xmin)
				$r \pm m_r$	t_{ϕ}	d, %	
Сосна звичайна	23.06.2024	2,4	357	-0,152±0,052	2,94	2	53
	26.06.2024	РП _{2,4-КШ}	517	-0,003±0,044	0,06	0	78
Сосна кедрова європейська	15.07.2024	КШ	939	-0,728±0,015	47,51	53	75
	14.07.2024	РП _{2,4-КШ}	834	0,613±0,022	28,32	38	42
Сосна кедрова корейська	21.07.2024	КШ	964	0,012±0,032	0,38	0	76
	22.07.2024	2,4	1000	0,934±0,004	230,16	87	46
	23.07.2024	РП _{2,4-КШ}	586	0,430±0,034	12,76	18	67
	26.07.2024	РП _{2,4-КШ}	798	0,671±0,019	34,52	45	93
Бук лісовий	11.07.2024	КШ	587	-0,648±0,024	27,05	42	76
	10.07.2024	2,4	610	-0,090±0,040	2,23	1	80
	11.07.2024	2,4	752	-0,792±0,014	58,38	63	33
Дуб звичайний	03.07.2024	КШ	561	0,204±0,040	5,04	4	71
	04.07.2024	КШ	856	0,370±0,030	12,54	14	53
	04.07.2024	2,4	607	0,785±0,016	50,32	62	80
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	917	0,504±0,025	20,47	25	69
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	768	0,162±0,035	4,62	3	40
Клен-явір	08.07.2024	КШ	810	0,393±0,030	13,23	15	58
	09.07.2024	КШ	582	-0,256±0,039	6,60	7	61
	07.07.2024	2,4	880	0,049±0,033	1,46	0	39
	07.07.2024	РП _{2,4-КШ}	490	0,013±0,045	0,29	0	89
	08.07.2024	РП _{2,4-КШ}	864	-0,822±0,011	74,42	68	32

Примітка. Позначення ті ж самі, що і в табл. 2

ревних видів на показники східної (LVV_Y) компоненти вектора магнітної індукції (B) МПЗ є іншим, ніж на динаміку змін показників LVV_X (див. табл. 4). Так, у сосни звичайної зв'язок добової динаміки біоелектричних потенціалів з динамікою змін LVV_Y виявився відсутнім або слабким. Високим або дуже високим кореляційним зв'язком між добовою динамікою

LVV_Y і БЕП кореневої шийки дерева характеризується сосна кедрова європейська ($r = -0,728$ при $d = 53\%$ та $t_{\phi} = 47,51$), а між добовою динамікою LVV_Y і БЕП_{2,4} – сосна кедрова корейська ($r = 0,934$ при $d = 87\%$ та $t_{\phi} = 230,16$), бук лісовий ($r = -0,792$ при $d = 63\%$ та $t_{\phi} = 58,38$) і дуб звичайний ($r = 0,785$ при $d = 62\%$ та $t_{\phi} = 50,32$). Загалом фізіологічний стан живих організмів та їхня реакція на вплив зовнішніх факторів має індивідуальний характер. Тому в окремих випадках відмінності у показниках в одного і того ж виду можуть відрізнятися. Джерелами східної (LVV_Y) компоненти вектора магнітної індукції (B) МПЗ є як зовнішні, так і внутрішні джерела магнітного поля Землі.

Ще однією складовою магнітного поля Землі, вплив якої досліджували на біоелектричну активність деревних видів, є вертикальна компонента (LVV_Z) вектора магнітної індукції (B) МПЗ. Джерелами вертикальної компоненти вектора магнітної індукції (B) МПЗ є внутрішні джерела магнітного поля Землі.

Встановлено дуже високий і високий кореляційний зв'язок між добовою динамікою

LVV_Z і РП_{2,4-КШ}, відповідно, у сосни звичайної ($r = -0,949$ при $d = 90\%$, та $t_{\phi} = 216,42$) і сосни кедрової корейської ($r = 0,867$ при $d = 75\%$ та $t_{\phi} = 84,60$) та дуба значного ($r = -0,629$ при $d = 40\%$ та $t_{\phi} = 31,52$) (див. табл. 4). Значний кореляційний зв'язок простежується також між добовою динамікою LVV_Z і БЕП на висоті стовбура 2,4 м у сосни кедрової європейської ($r = -0,573$ при $d = 33\%$ та $t_{\phi} = 26,97$), бука лісового та клена-явора ($r = 0,612...0,649$ при $d = 38...41\%$ та $t_{\phi} = 21,69...27,05$).

Особливості впливу магнітного поля Землі на біоелектричну активність деревних видів добре проявляються в добовій динаміці цих показників. У світловий період доби в асиміляційно-дисиміляційному балансі рослин переважають процеси асиміляції, які зумовлені фотосинтетичною активністю. З боку МПЗ в цей період максимальний вплив на БЕП має хвильове (інфрачервоне та ультрафіолетове) випромінювання Сонця, що породжує сонячно-добову варіацію (струми в іоносфері Землі) у динаміці МПЗ, виражене змінами LVV_X, LVV_Y.

Таблиця 4. Кореляційний зв'язок денної динаміки біоелектричних потенціалів деревних видів і внутрішніх джерел магнітного поля землі (LVV_Z)

Table. 4. Correlation between the diurnal dynamics of bioelectric potentials of woody species and the internal sources of the Earth's magnetic field (LVV_Z)

Деревний вид	Дата	Точка відведення БЕП на стовбурі дерева, м	Кількість спостережень	Коефіцієнт кореляції Пірсона			Розмах мінливості показників (LVV_Z) (Xmax - Xmin)
				$r \pm m_r$	t_{ϕ}	$d, \%$	
Сосна звичайна	23.06.2024	2,4	357	$-0,278 \pm 0,049$	5,68	8	42
	26.06.2024	РП _{2,4-КШ}	517	$-0,949 \pm 0,004$	216,42	90	30
Сосна кедрова корейська	21.07.2024	КШ	964	$0,188 \pm 0,031$	6,04	4	17
	22.07.2024	2,4	1000	$-0,573 \pm 0,021$	26,97	33	22
	23.07.2024	РП _{2,4-КШ}	586	$0,867 \pm 0,010$	84,60	75	38
	26.07.2024	РП _{2,4-КШ}	798	$-0,164 \pm 0,034$	4,76	3	61
Бук лісовий	11.07.2024	КШ	587	$-0,163 \pm 0,040$	4,06	3	27
	10.07.2024	2,4	610	$0,643 \pm 0,024$	27,05	41	44
	11.07.2024	2,4	752	$-0,321 \pm 0,033$	9,80	10	15
	03.07.2024	КШ	561	$-0,032 \pm 0,042$	0,76	0	33
Дуб звичайний	04.07.2024	КШ	856	$-0,074 \pm 0,034$	2,19	0	15
	04.07.2024	2,4	607	$0,295 \pm 0,037$	7,96	9	42
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	917	$-0,629 \pm 0,020$	31,52	40	20
	06-07.07.2024	РП _{2,2-КШ}	768	$-0,101 \pm 0,036$	2,83	1	15
Клен-явір	08.07.2024	КШ	810	$0,064 \pm 0,035$	1,83	0	17
	09.07.2024	КШ	582	$-0,038 \pm 0,041$	0,93	0	22
	07.07.2024	2,4	880	$-0,049 \pm 0,034$	1,45	0	22
	07.07.2024	РП _{2,4-КШ}	490	$0,612 \pm 0,028$	21,69	38	28
	08.07.2024	РП _{2,4-КШ}	864	$0,642 \pm 0,020$	32,16	41	10

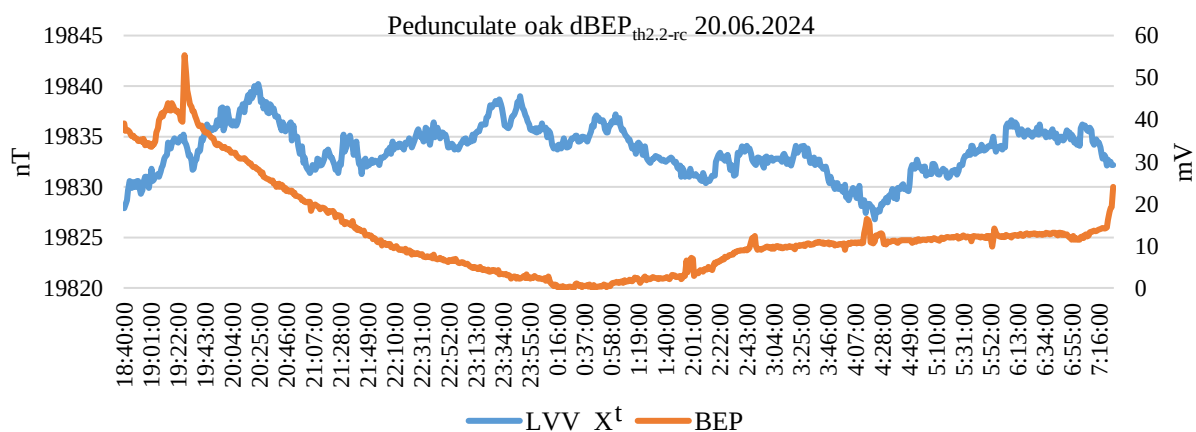
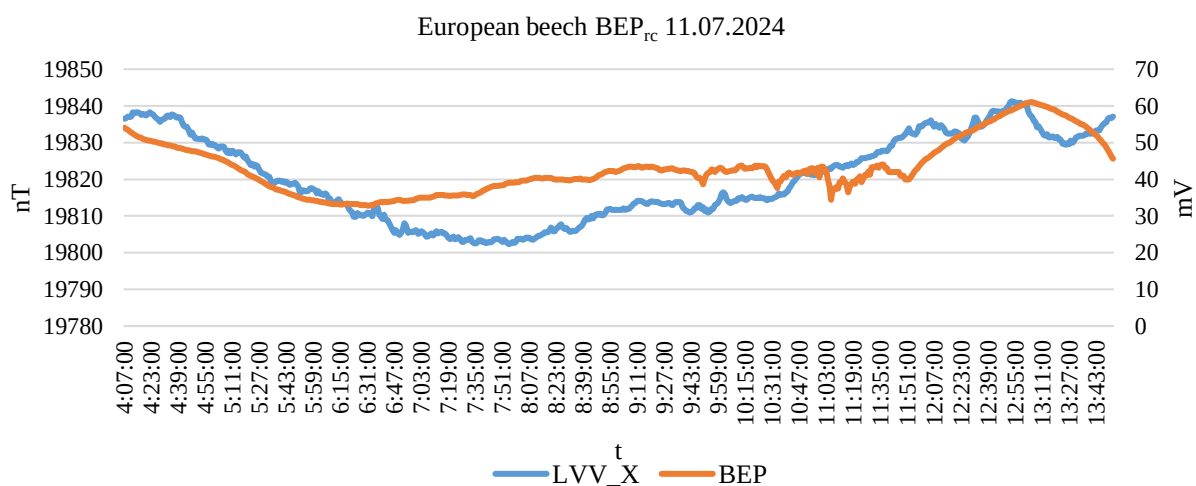
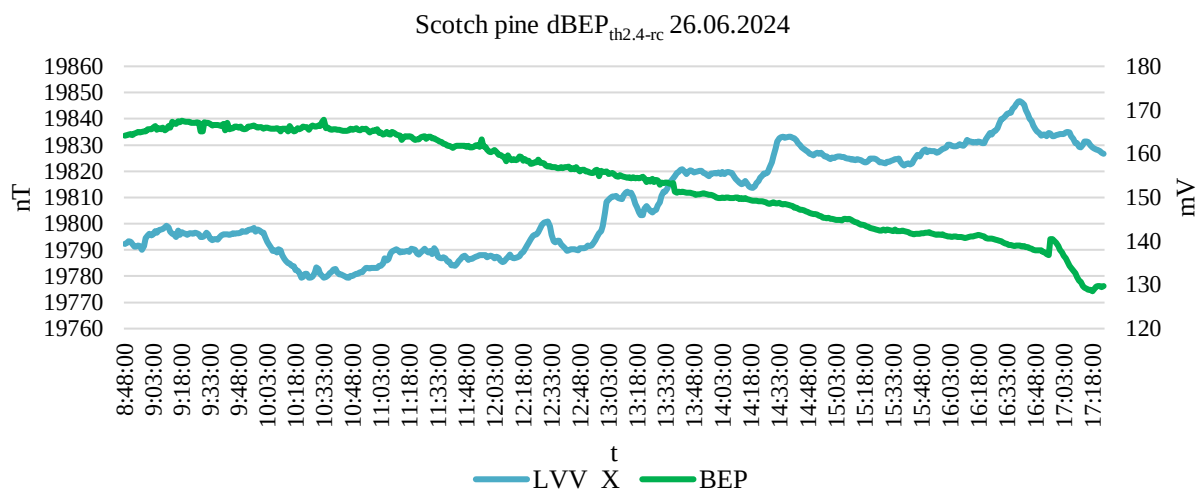
Примітка. Позначення ті ж, що і в табл. 2

За відсутності світла у метаболізмі рослин домінують окисно-відновні процеси. Такі особливості у добовій динаміці метаболізму рослин безпосередньо впливають на їхню біоелектричну активність. У цей період максимальний вплив має корпускулярне випромінювання Сонця та струми, індуковані всередині Землі. У динаміці МПЗ виражене змінами LVV_X та LVV_Z .

На рис. 1, 2 і 3 представлено графічне зображення добової динаміки складових частин

вектора магнітної індукції (B) магнітного поля Землі і біоелектричних потенціалів дерев, між якими встановлено високу і дуже високу кореляційну залежність.

У сосни звичайної спостерігається зниження різниці біоелектричних потенціалів, а у сосни кедрової корейської встановлено їхнє зростання впродовж дня за збільшення LVV_X (див. рис. 1).



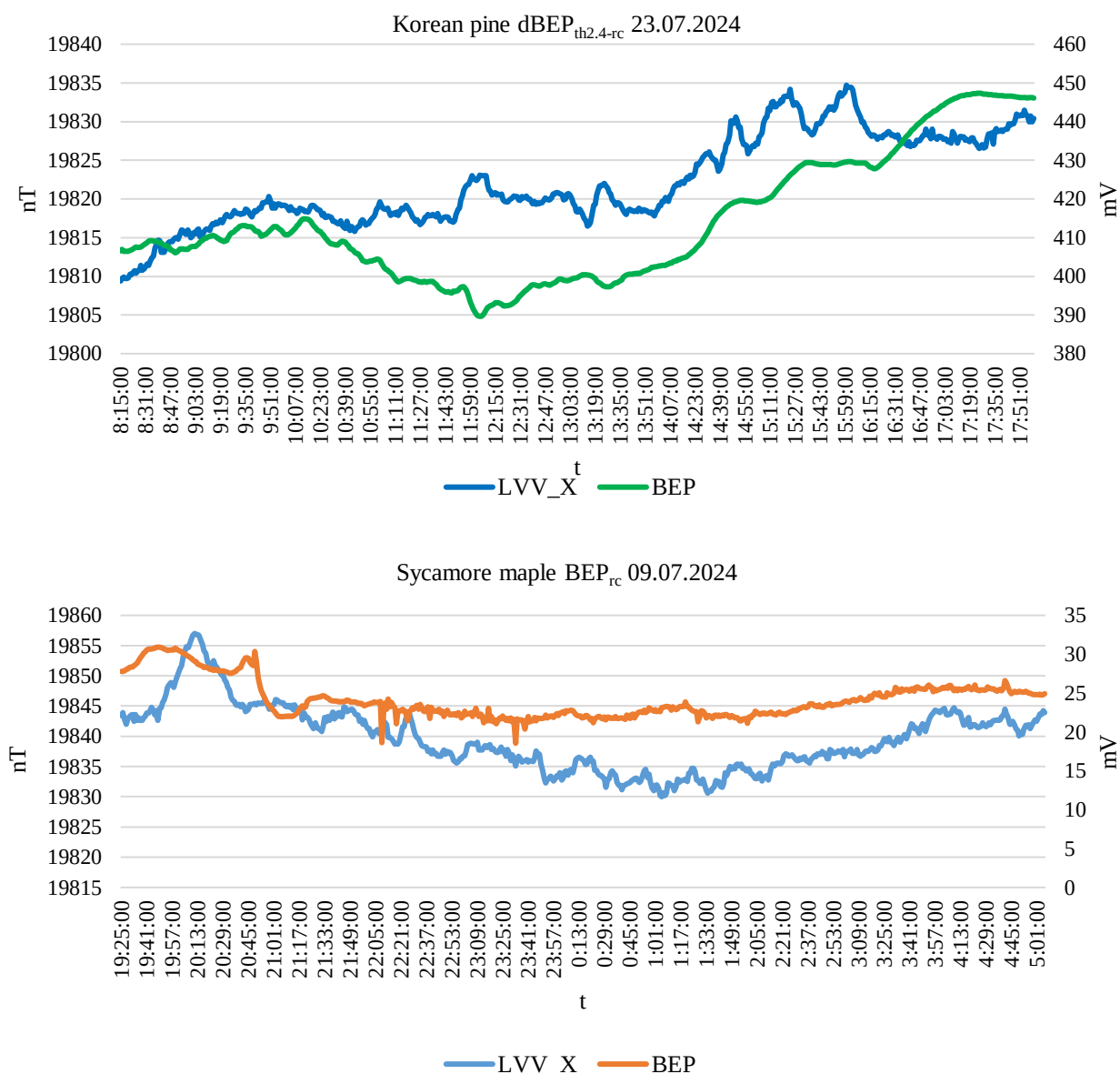


Рис. 1. Добова динаміка горизонтальної компоненти зовнішніх джерел магнітного поля Землі (LVV_X) і різниці БЕП у дерев різних деревних видів: БЕП_{кш} – біоелектричні потенціали кореневої шийки дерева; БЕП_{2,4} – біоелектричні потенціали на висоті дерева 2,4 м; РП_{2,2-кш} – різниця біоелектричних потенціалів дерева між точками 2,2 м і КШ

Fig. 1. Daily dynamics of the horizontal component of external sources of the Earth's magnetic field (LVV_X) and BEP in trees of different tree species: dBEP_{th2.2-rc} – difference in bioelectric potentials of the tree between points 2.2 m and 0 m; dBEP_{th2.4-rc} – difference in bioelectric potentials of the tree between points 2.4 m and 0 m; BEP_{rc} – bioelectric potentials of the tree at point 0 m

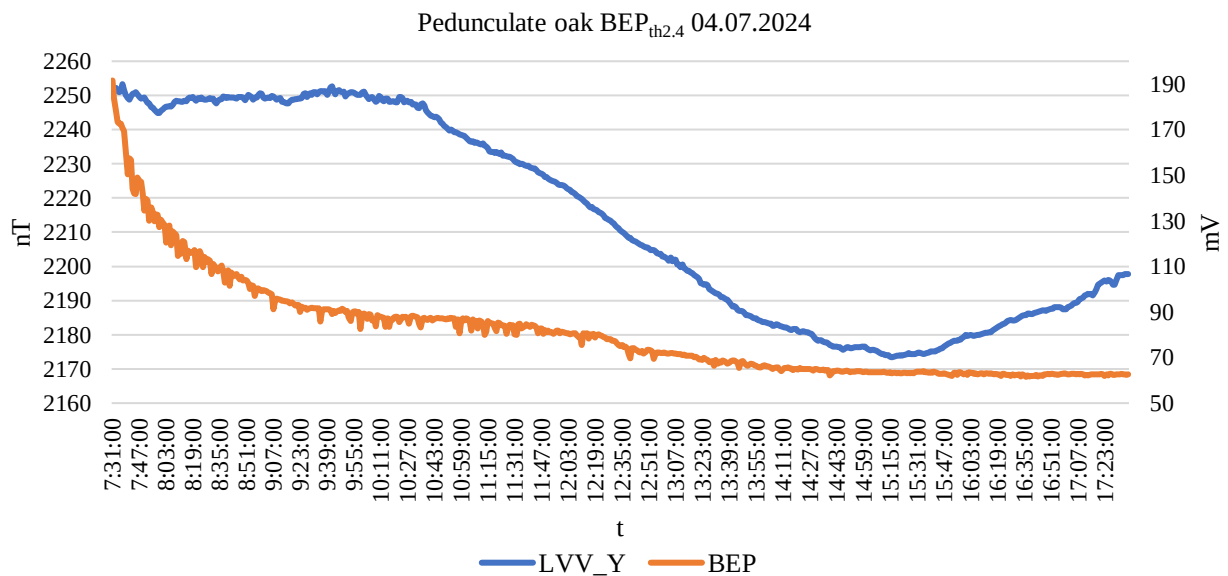
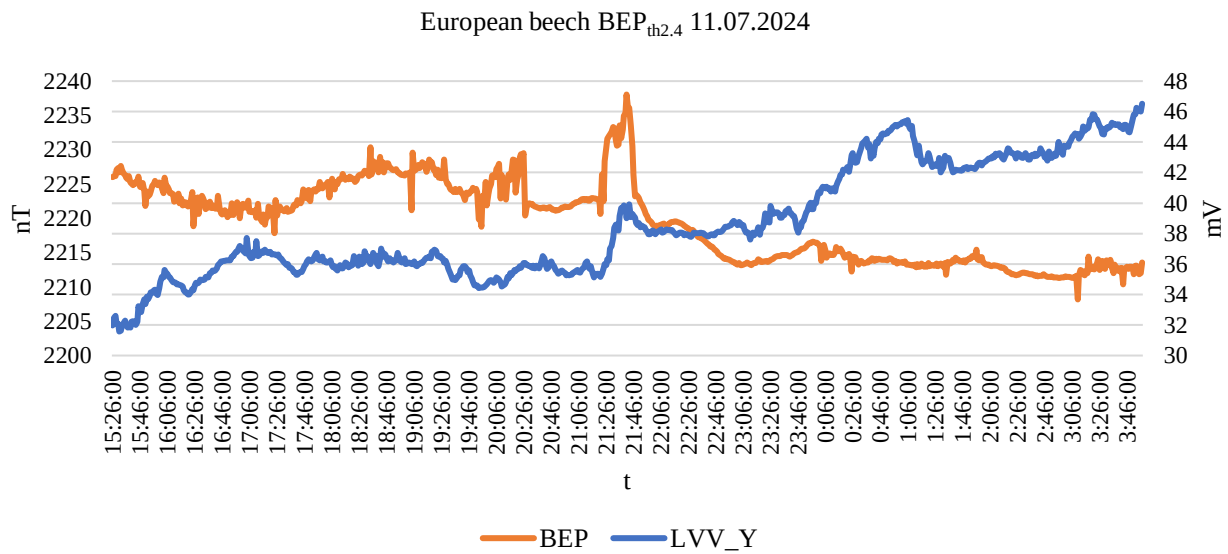
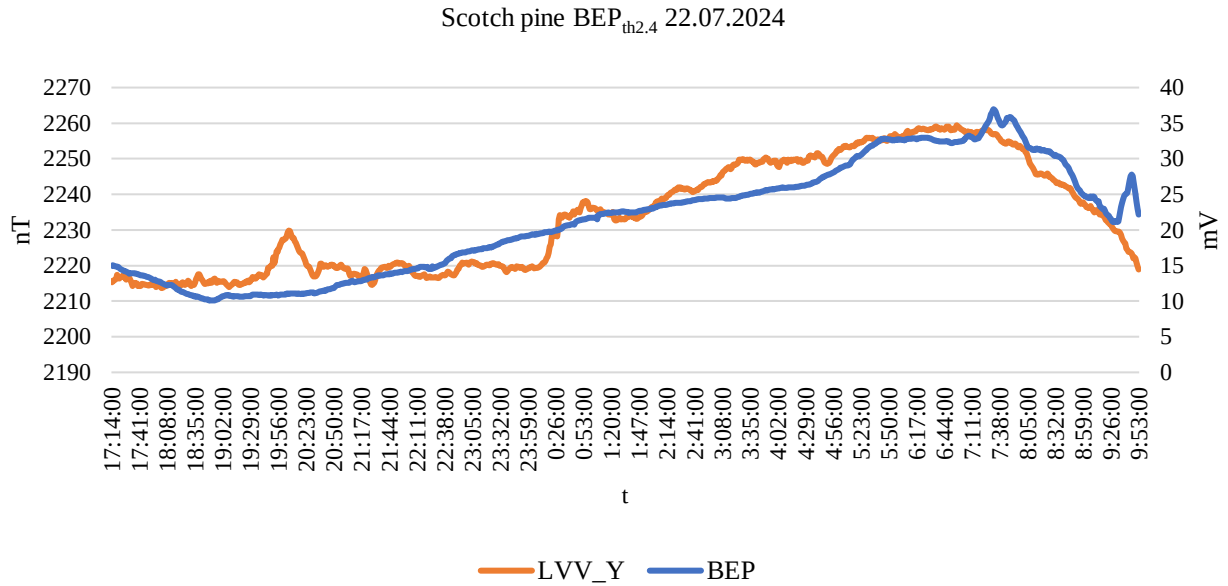
Динаміка різниці БЕП у дерев дуба мала складнішу траєкторію порівняно з сосною звичайною і сосною кедровою корейською. У період спостереження від 15 до 22 год. UT у дерев дуба спостерігалось значне зниження різниці БЕП та незначне зростання до 5-ої години. Динаміка LVV_X в цей період змінювалися слабо та характеризувалися незначними коливаннями.

Динаміка БЕП кореневої шийки дерев клена-явора у період від 19-ї до 5-ї год. тісно

повторює динаміку LVV_X, що менше виражено в дерев бука лісового у період 4-13 год. UT.

Високу і дуже високу залежність метаболічних процесів деревних видів від показників LVV_Y в добовій динаміці показано на рис. 2.

У сосни кедрової корейської спостережено тісну кореляцію впродовж доби між динамікою БЕП_{2,4} і динамікою LVV_Y, які характеризуються поступовим тривалим зростанням і різким зниженням наприкінці спостереження (див. рис. 2).



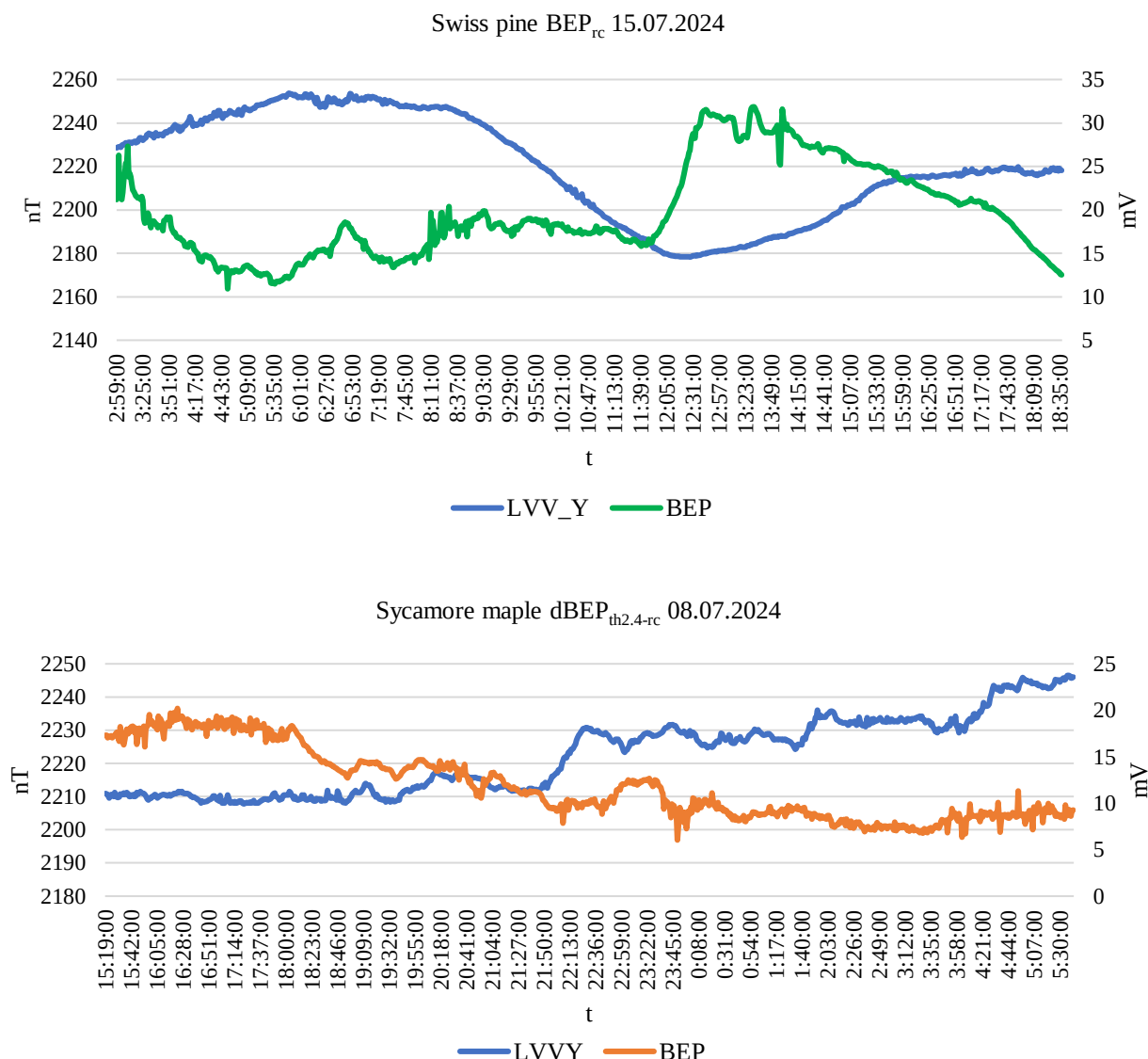


Рис. 2. Добова динаміка показників східної компоненти (LVV_Y) і БЕП у дерев різних деревних видів: РП_{2,2-кш} – різниця біоелектричних потенціалів дерева між точками 2,2 м і КШ. (РП_{2,4-кш}); РП_{2,4-кш} – різниця біоелектричних потенціалів дерева між точками 2,4 м і КШ. (РП_{2,4-кш}); БЕП_{кш} – біоелектричні потенціали кореневої шийки дерева.

Fig. 2. Daily dynamics of Earth's magnetic field declination (LVV_Y) and BEP in trees of different tree species: dBEP_{th2.2-rc} – difference in bioelectric potentials of the tree between points 2.2 m and 0 m; dBEP_{th2.4-rc} – difference in bioelectric potentials of the tree between points 2.4 m and 0 m; BEP_{rc} – bioelectric potentials of the tree at point 0 m.

У дуба звичайного спостережено затримку на 2-3 год. зниження БЕП_{2,4} на різке зниження показників LVV_Y. Особливо чутливою виявилася реакція БЕП_{2,4} на динаміку LVV_Y у бука лісового. Ріст LVV_Y зумовлює швидке зниження БЕП_{2,4} і навпаки, під час спадання LVV_Y одразу зростають біоелектричні потенціали у дерев бука на висоті 2,4 м. Подібною виявилась реакція різниці БЕП у дерев клена-явора та біопотенціалів кореневої шийки дерев сосни кедрової європейської на динаміку LVV_Y. У дерев сосни кедрової європейської в період спостереження відбувалося затяжне (до семи годин) зростання LVV_Y, що супроводжувалося

таким же тривалим зниженням БЕП_{кш}. У середині дня (близько 13 год.) БЕП кореневої шийки досягли максимальних значень за мінімальних значень LVV_Y.

У сосни звичайної і сосни кедрової корейської виявлено різну реакцію різниці біоелектричних потенціалів на динаміку змін LVV_Z (див. рис. 3).

За результатами дослідження біоелектрична реакція дерев сосни звичайної і сосни кедрової корейської на динаміку змін LVV_Z є такою ж, як і на зміни LVV_X (див. рис. 1 і 3). У сосни звичайної РП_{2,4-кш} у динаміці впродовж періоду спостереження БЕП постійно зменшувалась,

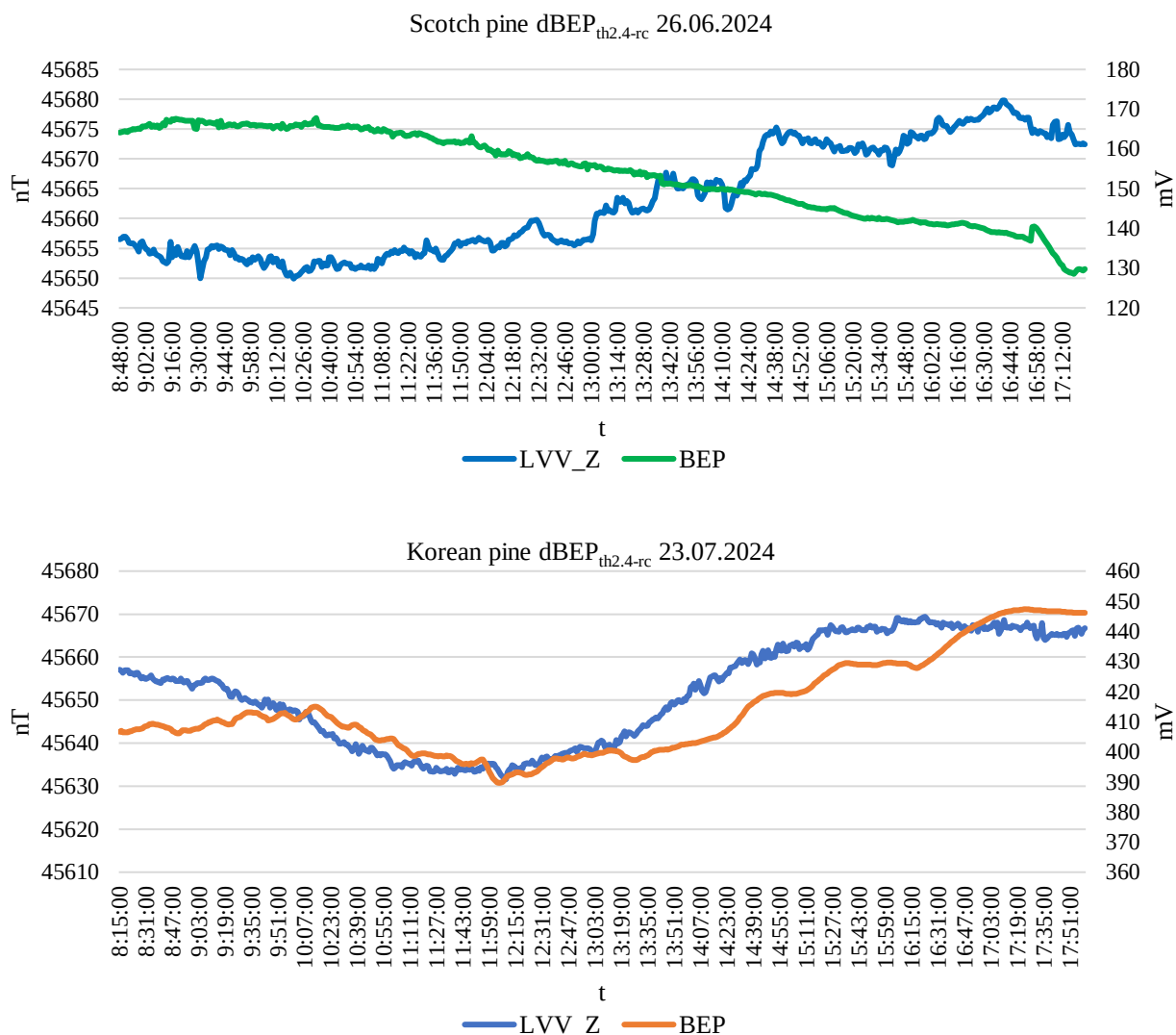


Рис. 3. Добова динаміка показників внутрішніх джерел магнітного поля Землі (LVV_Z) і БЕП у дерев різних деревних видів: РП_{2,4-кш} – різниця біоелектричних потенціалів дерева між точками 2,4 м і КШ.

Fig. 3. Daily dynamics of indicators of internal sources of the Earth's magnetic field (LVV_Z) and BEP in trees of different tree species:

dBEP_{th2.4-rc} – difference in bioelectric potentials of the tree between points 2.4 m and 0 m.

а LVV_Z – зростали. У дерев сосни кедрової корейської, навпаки, встановлена чітка подібність динаміки РП_{2,4-кш} і LVV_Z.

Дискусія (Discussion).

Електрофізіологічні показники широко використовують у лісівничих дослідженнях для вивчення інтенсивності проходження процесів життєдіяльності деревних рослин (Криницький, 1993; Криницький, Заїка, 1995, 2004а, 2004б; Галушка, Заїка, Криницький, 1999; Рибак, 2012а, 2012б; Рибак, Заїка, 2013; Каленюк, Заїка, 2019; Заїка та ін., 2021).

Криницький (1993) розробив концептуальні засади морфофізіологічних основ селекції деревних рослин, де запропоновано, поряд з іншими фізіолого-біохімічними показниками, використання біоелектричних потенціалів для виявлення дерев з високою інтенсивністю процесів

життєдіяльності та встановлення успадкування півсїсовим потомством енергії росту материнських дерев сосни звичайної. У роботі Галушки та ін. (1999) показано вплив тривалості підсочки дерев сосни звичайної на електрофізіологічні показники півсїсових потомств. Криницький і Заїка (1995) встановили, що в процесі формування молодих деревостанів півсїсових потомств відбувається диференціація дерев за біоелектричними показниками. Швидко-рослі екземпляри у денній динаміці за показниками БЕП перевищують середньорослих, а середньорослі – повільнорослих.

Біоелектричні потенціали дерев добре характеризують вплив на них різних абіотичних і біотичних чинників. Так, у низці робіт відображено прояв біоелектричної активності дерев сосни звичайної на ураження кореневою губкою

(Рибак, 2012б), шютте звичайним (Рибак, Заїка, 2013) і сосновим вертуном (Рибак, 2012а). Використовуючи електрофізіологічні методи дослідження, науковцями також показано закономірності впливу пролонгованого іонізуючого випромінювання на функціонування сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях зони відчуження Чорнобильської АЕС (Криницький, Заїка, 2004а, 2004б).

Одним із напрямів дослідження у лісостанах з використанням електрофізіологічних методів є вивчення взаємовпливу деревних видів у процесі формування деревостанів. Результати досліджень низки авторів (Каленюк, Заїка, 2019; Заїка та ін., 2021) свідчать, що із збільшенням частки липи серцелистої у складі дубових деревостанів свіжої грабової діброви біоелектрична активність дерев дуба звичайного зростає.

Практично не вивченим залишається питання впливу коливання магнітного поля Землі на життєдіяльність дерев різних деревних видів. Є лише окремі роботи у цьому напрямі (Sumaruk, et al, 2024; Zaika et al., 2025). Отримані результати засвідчують перспективність використання біоелектричних потенціалів для вивчення впливу коливання магнітного поля Землі на життєдіяльність деревних видів.

Висновки (Conclusions).

1. Серед складових частин магнітного поля Землі найбільший вплив на процеси життєдіяльності деревних видів проявляє горизонтальна (східна) компонента зовнішніх джерел Землі. Між денною динамікою LVV_X і біоелектричних потенціалів у всіх деревних видів трапляється дуже високий, високий або значний кореляційний зв'язок. Найкраще він проявляється у сосни звичайної, а найслабше – у дуба звичайного.

Список літератури (References)

Blatt, M. R. (2024). A charged existence: a century of transmembrane ion transport in plants. *Plant Physiology*, 195(1), 79–110. <https://doi.org/10.1093/plphys/kiad630>

Erdmann, W., Kmita, H., Kosicki, J. Z., & Kaczmarek, Ł. (2021). How the geomagnetic field influences life on earth-an integrated approach to geomagnetobiology. *Origins of Life and Evolution of Biospheres*, 51(3), 231–257. <https://link.springer.com/article/10.1007/s11084-021-09612-5>

Fabricant, A. M., Put, P., & Barskiy, D. A. (2024). Proton relaxometry of tree leaves at hypogeomagnetic fields. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1352282. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1352282>

2. Вплив показників схилення магнітного поля (східної компоненти МПЗ) на біоелектричні потенціали дерев дуба, бука, клена-явора, сосни кедрової європейської виявився негативним. При зростанні LVV_Y у цих деревних видів біоелектрична активність знижується, а при зниженні вона збільшується.

3. Найслабше біоелектрична активність деревних видів залежить від внутрішніх джерел магнітного поля Землі, а її прояв є подібним до реакції на вплив горизонтальної компоненти зовнішніх джерел магнітного поля Землі (LVV_X).

4. Сонячна та геомагнітна активності мають прямий вплив на проходження біопроесів у рослин. У світловий період доби в асиміляційно-дисиміляційному балансі рослин переважають процеси асиміляції, які зумовлені фотосинтетичною активністю. У цей період максимальний вплив на БЕП має хвильове (інфрачервоне та ультрафіолетове) випромінювання Сонця (струми в іоносфері Землі). За відсутності світла у метаболізмі рослин домінують окисно-відновні процеси. В цей період максимальний вплив на БЕП має корпускулярне випромінювання Сонця та струми, індуковані всередині Землі. Оскільки окисно-відновні процеси мають електричну природу, то струми, що індукуються у деревині внаслідок змін МПЗ, мають прямий вплив на метаболізм рослин.

5. Впливаючи на проходження окисно-відновних реакцій на фітопроеси у рослин, геомагнітна та сонячна активності модулюють їхнє протікання. Оскільки зміни сонячної та геомагнітної активностей мають періодичний характер, це дає змогу прогнозувати за ними ріст рослин, їхні потенційні захворювання, плодоношення тощо.

Fotelli, M. N., Rennenberg, H., & Gessler, A. (2010). Global climate change and tree nutrition: influence of water availability on nutrient uptake and physiology. *Tree Physiology*, 30(9), 1221–1234. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq064>

Fromm, J., & Lautner, S. (2007). Electrical signals and their physiological significance in plants. *Plant, Cell & Environment*, 30, 249–257. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2006.01614.x>

Fromm, J., Hajirezaei, M., & Wilke, I. (1995). The biochemical response of electrical signaling in the reproductive-system of Hibiscus plants. *Plant Physiology*, 109, 375–384. <https://doi.org/10.1104/pp.109.2.375>

Gallé, A., Lautner, S., Flexas, J., Ribas-Carbo, M., Hanson, D., Roesgen, J., & Fromm, J. (2013).

- Photosynthetic responses of soybean (*Glycine max* L.) to heat-induced electrical signalling are predominantly governed by modifications of mesophyll conductance for CO₂. *Plant, Cell & Environment*, 36, 542–552. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2012.02594.x>
- Galushka, V. P., Zaika, V. K., & Krynytskyu, H. T. (1999). Electrophysiological parameters of half-sibs progenies of Scots pine with different durations of resin tapping. *Scientific Bulletin of the National Agrarian University*. 17, 133–138 [Галушка, В. П., Заїка, В. К., Криницький, Г. Т. (1999). Електрофізіологічні параметри півсібсових потомств сосни звичайної різної тривалості підсочки. *Науковий вісник НАУ*, 17, 133–138] (in Ukrainian)
- Grams, T. E. E., Lautner, S., Felle, H. H., Matyssek, R. & Fromm, J. (2009). Heat-induced electrical signals affect cytoplasmic and apoplastic pH as well as photosynthesis during propagation through the maize leaf. *Plant, Cell & Environment*, 32, 319–326. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3040.2008.01922.x>
- Hart, D. A. (2024). The influence of magnetic fields, including the planetary magnetic field, on complex life forms: How do biological systems function in this field and in electromagnetic fields? *Biophysica*, 4(1), 1–21. <https://doi.org/10.3390/biophysica4010001>
- Hossain, M. S., Caparros, P. G., & Mühling, K. H. (2024). Mineral nutrition and plant stress tolerance. *Frontiers in Plant Science*, 15, 1461651. <https://doi.org/10.3389/fpls.2024.1352282>
- Ilik, P., Hlaváčková, V., Krchňák, P., & Nauš, J. (2010). A low-noise multi-channel device for the monitoring of systemic electrical signal propagation in plants. *Biologia Plantarum*, 54, 185–190. <https://doi.org/10.1007/s10535-010-0032-0>
- Kalenyuk, Yu. S., & Zaika, V. K. (2019). Bioelectric potentials of oak and lime in stands of fresh hornbeam-oak forests in Western Podillia. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 29(1), 49–53. <https://doi.org/10.15421/40290110> [Каленюк, Ю. С., Заїка, В. К. (2019). Біоелектричні потенціали дуба і липи в деревостанах свіжої грабової діброви Західного Поділля. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(1), 49–53] (in Ukrainian).
- Krynytskyu, H. T. (1993). *Morphophysiological foundations of woody plant breeding*. Abstract of doctoral dissertation, National Agrarian University, Kyiv, Ukraine. Retrieved from [Криницький, Г. Т. (1993). *Морфологічні основи селекції деревних рослин*: автореф. дис. ... д-ра біол. наук: 06.03.01 та 03.00.12. Київ, Національний аграрний університет] (in Ukrainian)
- Krynytskyu, H. T., & Zaika, V. K. (2004a). Electrophysiological response of Scots pine cultures to high levels of chronic radiation exposure. *Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University: Collection of Scientific Papers*, 14(5), 8–14 https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_5/3.pdf [Криницький, Г. Т., Заїка, В. К. (2004a). Електрофізіологічна реакція культур сосни звичайної на високі рівні хронічного радіаційного опромінення. *Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету: збірник наукових праць*, 14(5), 8–14] (in Ukrainian).
- Krynytskyu, H. T., & Zaika, V. K. (2004b). Bioelectrical activity of Scots pine in radiation-contaminated areas. *Scientific Works: Scientific and Methodological Journal. Ecology*, 39(26), 79–82. [Криницький, Г. Т., Заїка, В. К. (2004b). Біоелектрична активність сосни звичайної на радіаційно забруднених територіях. *Наукові праці: Науково-методичний журнал. Екологія*, 39(26), 79–82] (in Ukrainian)
- Krynytskyu, H. T., & Zaika, V. K. (1995). The influence of the formation characteristics of young half-sibs plantations of Scots pine on the bioelectrical activity of trees. *Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University: Collection of Scientific Papers*, 4, 153–160. [Криницький, Г. Т., Заїка, В. К. (1995). Вплив особливостей формування молодих півсібсових насаджень сосни звичайної на біоелектричну активність дерев. *Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету: збірник наукових праць*, 4, 153–160] (in Ukrainian)
- Lautner, S., Erhard, T., Matyssek, R., & Fromm, J. (2005) Characteristics of electrical signals in poplar and responses in photosynthesis. *Plant Physiology*, 198, 2200–2209. <https://doi.org/10.1104/pp.105.064196>
- Rybak, Yu. L. (2012a). Electrophysiological parameters of Scots pine trees infested with pine twisting rust in the Western Polissia region. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 22(12), 42–48. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_12/42_Ryb.pdf [Рибак, Ю. Л. (2012a). Електрофізіологічні показники уражених сосновим вертуном дерев сосни звичайної в умовах Західного Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(12), 42–48] (in Ukrainian)

- Rybak, Yu. L. (2012b). Electrophysiological indicators of Scots pine trees infested by root rot in the conditions of Western Polissia. *Scientific Bulletin of the Lesia Ukrainka Volyn National University. Series: Biological Sciences*, 19(244), 8–11. [Рибак, Ю. Л. (2012б). Електрофізіологічні показники дерев сосни звичайної, уражених кореневою губкою, в умовах Західного Полісся. *Науковий вісник Волинського національного університету імені Лесі Українки. Серія: Біологічні науки*, 19(244), 8–11] (in Ukrainian)
- Rybak, Yu. L., & Zaika, V. K. (2013). Changes in the electrophysiological activity of Scots pine trees affected by common schütte disease. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 23(2), 90–96. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_2/90_Ryb.pdf [Рибак, Ю. Л., Заїка, В. К. (2013). Зміна електрофізіологічної активності у дерев сосни звичайної, уражених шютте звичайним. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(2), 90–96] (in Ukrainian)
- Saletnik, B. A., Puchalska-Sarna, A., Saletnik, A., Lipa, T., Dobrzański, B. & Puchalski, C. (2024). Static magnetic fields as a factor in modification of tissue and cell structure: a review. *International Agrophysics*, 38(1), 43–75. <https://doi.org/10.31545/intagr/176998>
- Scartazza, A., Vannucchi, F., Peruzzi, E., Macci, C., Scatena, M., Manzini, J., ... & Paoletti, E. (2025). Nutrient interaction in the soil-plant system and tree physiological functional traits in an urban green infrastructure. *Journal of Soil Science and Plant Nutrition*, 25, 2829–2845. <https://doi.org/10.1007/s42729-025-02301-6>
- Sumaruk, T., Stryamets, N., & Prydka, P. (2024). *Influence of the Earth's magnetic field on the biopotential of the trees of the Ukrainian Roztochya* [Abstract of paper]. XXIV Gamow International Astronomical Conference: "Astronomy and Beyond: Astrophysics, Cosmology and Gravitation, Astroparticle Physics, Radio Astronomy, Astrobiology and Genetics", August 19–23. Odesa, Ukraine. <https://lib.onu.edu.ua/wp-content/uploads/2024/09/24th-Gamow-Conference-2024.pdf>
- Taiz, L., Zeiger, E., Møller, I. M., & Murphy, A. (2015). *Plant Physiology and Development*. (6th ed.). Sunderland, MA: Sinauer Associates. https://sirsyedcollege.ac.in/crm/public/uploads/download_image/H8aTDrHeKuTogISO7SE1r80gjP2dmU.pdf
- Volkov, A. G., & Brown, C. L. (2006). Electrochemistry of plant life. In *Plant electrophysiology: theory and methods*. (pp. 43–459). Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg. https://doi.org/10.1007/978-3-540-37843-3_19
- Zaika, W. K., Sumaruk, T. P., Delegan, I. I., & Prydka, P. P. (2025). The influence of the earth's magnetic field on the bioelectric activity of trees of various species of the pine genus (pinus l. 1753). *Forest education and science: status, problems and development prospects*. Collection of materials of the 5th International Scientific-Practical Online Conference (Part 1, 21/03/2025). Łomża – Małyn, p. 54. https://mans.edu.pl/fcp/iOEUFzs9BjEkLTg1Y1BSe0N_YAVTHwIIogIaTAIABCRvRQME0jBBaHICPXNtSBk6PjIyBV4RBDYnD1cYTk8cOjYCEg/2/public/wydawnictwa/1_educacja_i_nauka_lesna_stan_problemy_i_perspektywy_rozwoju_lomza-malyn_21032025_compressed.pdf [Zaika, W. K., Sumaruk, T. P., Delegan, I. I., Prydka, P. P. (2025). Wpływ pola magnetycznego ziemi na aktywność bioelektryczną drzew różnych gatunków z rodzaju sosna (pinus l. 1753). *Edukacja i nauka leśna: stan, problemy i perspektywy rozwoju*. Zbór materiałów VII Międzynarodowej Konferencji Naukowo-Praktycznej Internetowej (Część 1, 21.03.2025). Łomża – Małyn, p. 54] (in Poland)
- Zaika, V. K., Kaleniuk, Yu. S., Krynytsky, H. T., Matusiak, M. V., & Prokopchuk, V. M. (2021). *The silvicultural-and-ecological role of European small-leaved lime in hornbeam-oak forests of Western Podillia*. Vinnytsia: Tvory. 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)
- Zhao, D. J., Wang, Z. Y., Li, J., Wen, X., An, L., Huang, L., ... & Wang, C. (2013). Recording extracellular signals in plants: A modeling and experimental study. *Mathematical and Computer Modelling*, 58(3-4), 556–563. <https://doi.org/10.1016/j.mcm.2011.10.065>
- Zimmermann, M. R., Maischak, H., Mithöfer, A., Boland, W., & Felle, H. H. (2009). System potentials, a novel electrical long-distance apoplastic signal in plants, induced by wounding. *Plant physiology*, 149(3), 1593–1600. <https://doi.org/10.1104/pp.108.133884>

Features of the bioelectric activity of trees of different species under the influence of the Earth's magnetic field

V. Zaika,¹ H. Krynytskyi², I. Delehan³, T. Sumaruk⁴, P. Prydka⁵, S. Tymoshuk⁶,
M. Dubchenko⁷, Y. Chernevyi⁸, M. Kobrynovich⁹

The article presents the results of studies, conducted for the first time in the territory of the Ukrainian Roztochia, on the relationship between the dynamics of changes in the bioelectric potentials (BEP) of trees and variations in the Earth's magnetic field (EMF). The study demonstrated a close correlation between these parameters. Since bioelectric potentials characterize the intensity of physiological and biological processes in plants, while the Earth's magnetic field serves as an indicator of processes occurring both in outer space and within the Earth's interior, an attempt has been made to elucidate the mechanisms by which solar and geomagnetic activity influence the condition of woody plants.

The response of physiological processes in trees of various species to changes in bioelectric potential (BEP) parameters was investigated using Pearson's correlation coefficients calculated between the diurnal dynamics of the components of the Earth's geomagnetic field and bioelectric potentials. The cor-

relation coefficients varied within the range ($r = 0.9-0.4$), indicating a close or very close correlation.

It has been demonstrated that the solar and geomagnetic activity exerts a direct influence on the course of bioprocesses in plants. During the light period of the day, assimilation processes - which are driven by photosynthetic activity - predominate in the assimilation-dissimilation balance of plants. During this period, the bioelectric potentials (BEP) is most strongly influenced by the Sun's wave (infrared and ultraviolet) radiation as well as by electric currents in the Earth's ionosphere. In the absence of light, oxidation-reduction (redox) processes dominate plant metabolism. During this period, the greatest influence on plant metabolism comes from the Sun's corpuscular radiation and currents induced within the Earth. Since oxidation-reduction processes are electrical in nature, the currents induced in wood as a result of changes in the

¹ 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: lvolodymyr.zaika@cnu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

² Hryhoriy Krynytskyi – 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>

³ Ivan Delehan – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Forestry of the Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: i.delehan@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4730-0193>

⁴ Taras Sumaruk – PhD of Physical and Mathematical Sciences, Senior Researcher, Senior Researcher. S.I. Subbotin Institute of Geophysics, National Academy of Sciences of Ukraine, 32 Palladina Ave., Kyiv, 03680, Ukraine. E-mail: taras.sumaruk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0559-3857>

⁵ Petro Prydka – Forestry Engineer, Stradchiv Educational and Production Timber Combine of the Ukrainian National Forestry University, 15 Mitskevich St., Ivano-Frankove, 81070, Ukraine. E-mail: prudkapetro@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-2709-9520>

⁶ Svitlana Tymoshuk – Associate Professor, Department of Life Safety Ivan Franko National University of Lviv, 41/98 Doroshenko St., 79000, Lviv, Ukraine. E-mail: svitlana.tymoshuk@lnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3124-0328>

⁷ Marko Dubchenko – student, International Baccalaureate Diploma Programme, PIPL Lyceum, L'viv, 5A Naukova St., 79000, Lviv, Ukraine. E-mail: marko.dubchenko@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-8524-3603>

⁸ Yurii Chernevyi – 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: yurii.chernevyi@cnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1677>

⁹ Mykhailo Kobrynovich – PhD of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Engineering, Mathematics and Physics. Ukrainian National Forestry University, 105 General Chuprynka St., 79057, Lviv, Ukraine. E-mail: m.kobrynovich@ntu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0009-5922-7369>

Earth's magnetic field (EMF) have a direct impact on plant metabolism.

Among the components of the Earth's magnetic field, the horizontal (eastward) component of the Earth's external sources has the greatest influence on the vital processes of woody species. There is a very strong, strong, or significant correlation between the daily dynamics of LVV_X and bioelectric potentials in all woody species. This correlation is most strongly expressed in Scots pine and least pronounced in oak. The influence of the declination parameters of the geomagnetic field (eastward component of the Earth's magnetic field) on the bioelectrical potentials of oak, beech, sycamore maple, and European cedar pine trees was found to be negative. With an increase in LVV_Y in these tree species, bioelectrical activity decreased, whereas with a decrease, it increased. The

bioelectric activity of woody species is least influenced by internal sources of the Earth's magnetic field, and its manifestation is similar to the response to the horizontal component of external sources of the Earth's magnetic field (LVV_X).

By influencing the course of oxidation-reduction reactions in phytoprocesses in plants, geomagnetic and solar activity modulates their progression. Since changes in solar and geomagnetic activity are periodic in nature, this creates opportunities for predicting plant growth, diseases, fruiting, and other plant-related phenomena based on solar and geomagnetic activity.

Key words: bioelectric potentials; tree species; geomagnetic activity; Earth's magnetic field; solar activity; vector magnetic induction; northward component of the magnetic field.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412603>
Article received 2026.01.14
Article revised 2026.04.24
Article accepted 2026.05.04
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Khoetskyi
hpb@ua.fm
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 639*1

Поширення та чисельність фазана (*Phasianus colchicus* L.) у мисливських угіддях Волинської області

О.А. Гришук¹, О.В. Паламаренко², Е.М. Різун³, П.Б. Хоєцький⁴

У 2005 р. фазан (*Phasianus colchicus* L.) був зареєстрований на території шести користувачів мисливських угідь Волинської області, а станом на 2025 р. його облікували вже у угіддях 25 користувачів. Встановлено, що із 64 користувачів мисливських угідь, в яких поширений фазан, лише у семи його чисельність становить понад 200 голів, що зумовлює необхідність проведення інтенсивних біотехнічних заходів (підгодівля, відстріл хижих тварин, додатковий випуск птахів тощо). Упродовж 2020-2025 рр. поголів'я птаха збільшилось у п'ять разів. Сучасна чисельність фазана в угіддях Волинської області становить понад 4 тис. голів. Він поширений у мисливських угіддях державних підприємств лісового господарства, Українського товариства мисливців і рибалок, користувачів іншої форми власності, територіях природно-заповідного фонду. Аналіз динаміки чисельності хижаків (вовка, лисиці, єнотоподібної собаки та ін.) в угіддях області засвідчив, що внаслідок заборони полювання поголів'я вовка збільшилось у 5,6, лисиці – в 1,7, єнотоподібної собаки – в 1,4 рази. Сукупний вплив хижаків на поголів'я птахів може призвести до суттєвого зменшення чисельності або до її повного зникнення. Розведення птаха у вольєрних умовах налагоджено у Ново-Зборишівському лісництві Володимир-Волинського надлісництва. З'ясовано особливості вирощування фазанів у вольєрних умовах (утримання, раціон, дія хижаків). Упродовж 2020-2025 рр. розведення фазана на загороджених територіях дало змогу здійснити розселення птахів у мисливських угіддях 15 користувачів. За цей період у мисливські угіддя області випущено

¹ Гришук Олександр Анатолійович – завідувач сектору мисливського господарства філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України». Пр. Волі 30, м. Луцьк Волинської обл., 43025. E-mail: oleksandr.gryshchuk@e-forest.gov.ua

² Паламаренко Ольга Вікторівна – кандидат біологічних наук, старший викладач кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: olgaral1982@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1712-9295>

³ Різун Ельвіра Миколаївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: rizun_elia@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0797-1681>

⁴ Хоєцький Павло Богданович – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>

близько 15 тис. птахів. Встановлено, що вирощування птахів з наступною реалізацією є рентабельним заходом.

Ключові слова: акліматизація; вольєрне розведення; брудер; раціон; біотехнічні заходи; рентабельність; динаміка чисельності; біотопи існування; хижакі; екологія.

Вступ (Introduction).

Фазан (*Phasianus colchicus* L.) широко поширений в Європі, Азії, інтродукований у багатьох країнах світу. Його популяція у світі становить близько 220 млн птахів. Найбільшу чисельність фазана зареєстровано у Китаї. В Європі обліковано понад 10 млн голів. Значною чисельністю фазана характеризуються мисливські угіддя США та Канади. У Північній Америці щорічно добувають 10-12 млн птахів. В Україні, до російської агресії, у мисливський сезон відстрілювали 50-60 тис. фазанів щорічно. Згідно офіційної статистики, сучасне поголів'я в Україні становить понад 400 тис. шт., але науковці зазначають, що фактична чисельність значно менша (Coates et al., 2017; Williamson et al., 2019; Wszola et al., 2020).

У другій половині XX ст. широко проводили заходи з інтродукції та реакліматизації дичини у мисливські угіддя України (Хоєцький, 2010). Одним із перспективних інтродуцентів вважали фазана. Проте далеко не завжди випуски птаха у мисливські угіддя були успішними. Причини невдалої акліматизації полягали у надмірній чисельності хижаків, відсутності біотехнічних заходів, неправильному виборі біотопів для проживання птахів, погодних умовах тощо.

У 60-х роках XX ст. намагалися акліматизувати фазана в угіддя Волинської області. Однак активне завезення, випуск птахів у мисливські угіддя області та їх розведення розпочато лише на початку XXI ст. У публікаціях, присвячених веденню мисливського господарства у Волинській обл., відомості щодо поширення та чисельності птаха у сучасний період відсутні, що зумовлює *актуальність* та необхідність проведення досліджень стану поголів'я фазана у мисливських угіддях регіону (Хоєцький, 2011, 2014).

У роботах українських науковців певну увагу приділено різним аспектам життєдіяльності фазана в адміністративних межах окремих адміністративних областей. Так, серед куроподібних Закарпаття фазан є основним об'єктом полювання. Вперше його завезено в угіддя області у 20-х роках XX ст. У 50-60-х роках минулого століття було налагоджено розведення фазана на базі деяких лісництв. Максимальної чисельності поголів'я досягло у 70-80-х роках, але через припинення розведення та випуску в угіддя і значного браконьєрства у 90-х роках XX ст., його чисельність істотно зменшилась. На

початку XXI ст. загальна чисельність випущених в угіддях Закарпатської обл. птахів становила близько 5 тис. голів (Потіш Л., Потіш А., 2016). Внаслідок реінтродукції виду, зменшення браконьєрства і сприятливих погодних умов (теплі безсніжні зими), фазан заселив придатні біотопи рівнинної частини та передгір'я Закарпаття.

На початку XXI ст. проведено дослідження чисельності фазана у Лісостепу України. Встановлено, що його максимальна щільність зареєстрована у мисливських угіддях Хмельницької та Вінницької областей. Вона становила у межах 0,24-0,70 голів / тис. га, а в Полтавській області – 0,08-0,59 голів / тис. га. У мисливських угіддях Тернопільської обл. існування фазана підтримували шляхом поповнення поголів'я птахами, вирощеними у вольєрах (Новицький, 2016).

Вагомі дослідження впливу середовища існування на популяцію виду, наслідки випуску птахів у вільне середовище проведені зарубіжними науковцями (Zíka et al., 2013; Holá et al., 2014; Gianpasquale & Meriggi, 2022, Flis & Rytlewski, 2025). Італійські дослідники встановили, що у Північній Італії умови у лісових масивах сприятливо впливають на чисельність виду. Зокрема, щільність птахів збільшується залежно від довжини узлісся між лісовими масивами та луками, а негативно впливає на поголів'я протяжність узлісся між лісом та орними землями (Gianpasquale & Meriggi, 2022). Чеські науковці (Holá et al., 2014) встановили позитивний кореляційний зв'язок між чисельністю фазанів та часткою луків, а також земель, які не використовують у сільському господарстві.

Упродовж 2004-2011 рр. у Центральній Богемії (Чехія) здійснено оцінювання впливу звірів і птахів (лисиці, куниця лісової і кам'яної, свині дикої, сороки, ворони) на поголів'я фазана. За винятком дикої свині, встановлено позитивну кореляцію між чисельністю фазана та хижаками. Із погодних чинників на динаміку популяції у сезон розмноження найбільше впливає кількість опадів (Zíka et al., 2013). Проведені у Великобританії дослідження засвідчили, що лисиця (залежно від щільності хижаків) упродовж весни і літа може знищити від 20 до 70% випущених у природне середовище фазанів (Sage et al., 2020). Незважаючи на це, випуск у мисливські угіддя вирощених фазанів є поширеною практикою у Великобританії. З метою збільшення чисельності

птахів у період полювання в країні щорічно випускають понад 35 млн особин, а втрати фазанів через хвороби, хижаків мінімізують шляхом підгодівлі, застосування ветеринарних препаратів, контролю над чисельністю хижаків, зокрема лисиці (Robertson et al., 2017). Близько 60% випущених у природне середовище птахів, відстрілюють мисливці (Madden et al., 2018).

Метою роботи є аналіз акліматизації, стану поголів'я та перспектив розведення фазана у мисливських угіддях Волинської області.

Для досягнення мети було *проаналізовано* чисельність фазана та хижих тварин (лисиці, вовка, єнотоподібної собаки) у мисливських угіддях Волинської обл.; *з'ясовано* поширення фазана у мисливських угіддях області, що дало змогу запропонувати заходи з охорони та відтворення поголів'я; *встановлено* особливості розведення фазана у вольєрних умовах Ново-Зборишівського лісництва, що дало можливість врахувати досвід вирощування птаха у напіввільних умовах.

Об'єкт і методика досліджень (Objects and methods).

Об'єктом дослідження є стан поголів'я фазана (*Phasianus colchicus* L.) у мисливських угіддях Волинської обл., а *предметом дослідження* – наслідки акліматизації, поширення

виду на території користувачів мисливських угідь різної форми власності.

Для аналізу чисельності поголів'я фазана використано матеріали обліків користувачів мисливських угідь Волинської обл. упродовж 2005-2025 років. На основі статистичних матеріалів обліку мисливських тварин (форма 2-ТП мисливське господарство) проаналізовано динаміку чисельності хижаків (єнотоподібної собаки, вовка, лисиці) у мисливських угіддях області в аспекті впливу їхньої чисельності на поголів'я фазана. Досвід організації і вирощування птаха у напіввільних умовах вивчали у весняний період 2026 р. у Володимир-Волинському надлісництві ДП «Ліси України». Екологію, поширення фазана досліджували упродовж 2020-2025 рр. у мисливських угіддях державних підприємств лісового господарства, Українського товариства мисливців і рибалок, користувачів іншої форми власності.

Результати (Results).

Станом на 2005 р. у Волинській обл. фазани траплялися в угіддях шести господарств: трьох організаціях Українського товариства мисливців і рибалок, двох державних підприємств, а також районному товаристві мисливців і рибалок «Тур» (рис. 1). Загальна чисельність птахів становила понад 160 особин.

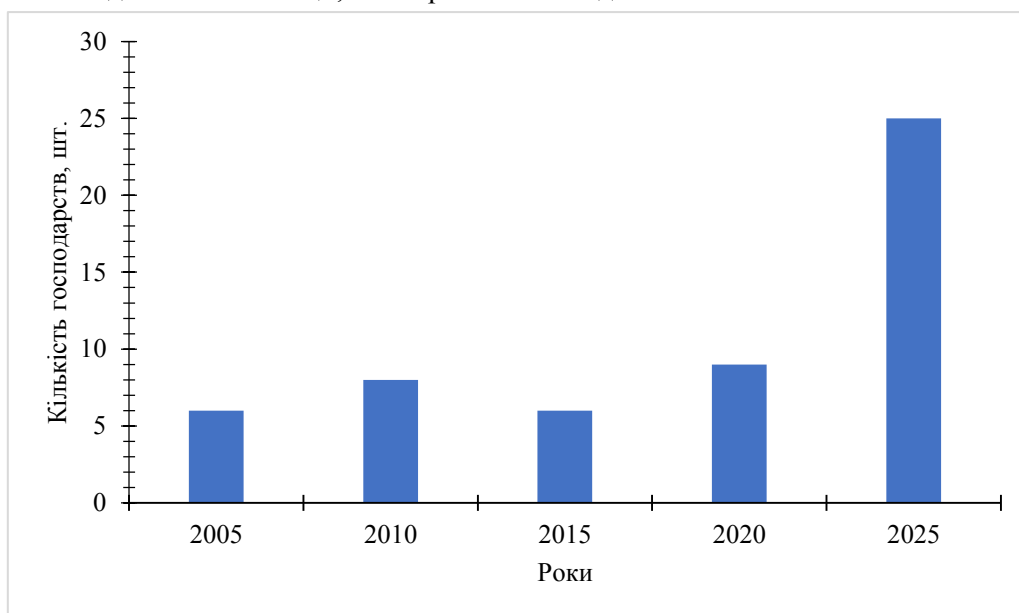


Рис. 1. Кількість користувачів мисливських угідь Волинської обл., в яких поширений фазан
Fig. 1. The number of hunting-ground users in Volyn region where the Common Pheasant (*Phasianus colchicus* L.) is distributed

Через п'ять років поширення фазана реєстрували вже у восьми господарствах: двох державних підприємствах, трьох організаціях УТМР, двох мисливських господарствах іншої форми власності та Шацькому НПП. Проте загальна чисельність поголів'я залишалась незначною і становила близько 300 особин.

У 2015 р. фазан траплявся лише у західних районах Волинської обл., а кількість господарств, в яких були поширені птахи, зменшилась до шести. Фазанів реєстрували в угіддях ДП «Прибузьке ЛГ», ДП «Шацьке УДЛГ», але чисельність їх була незначною, всього було обліковано не більше двох десятків особин.

Більше птахів (100-150 шт.) зареєстровано в угіддях районних організацій УТМР (Володимир-Волинська, Шацька, Любомльська). Із господарств іншої форми власності фазани виявлено в ТзОВ «Ішів». Загалом чисельність птахів у мисливських угіддях області була неістотною і становила близько 200 особин.

Упродовж 2015-2020 рр. відбулися деякі зміни: чисельність господарств, в яких появилися фазани, збільшилась від шести до дев'яти. Фазанів реєстрували у межах трьох державних підприємств, чотирьох організацій УТМР, двох господарств іншої форми власності. Фазани появилися у мисливських угіддях ДП «Городоцьке ЛГ», ДП «Горохівське ЛМГ», ЛМГ «Звірівське». У 2016 р. ДП «Горохівське ЛМГ» придбало 80 фазанів чотиримісячного віку, а наступного року з Іллінецького державного фазанарію (Вінницька обл.) – ще 150 птахів.

Важливе значення для акліматизації виду мають біотопи випуску птаха. Птахів випускали у польові та водно-болотні угіддя. У мисливських угіддях ДП «Горохівське ЛМГ» (сучасне Володимир-Волинське надлісництво) птахи добре акліматизувалися, що підтверджено егерською охороною, яка неодноразово реєстрували кладки яєць, а також молодняк. Угіддя підприємства характеризувалися достатньою кількістю водних об'єктів, заболочених територій, чагарників – місць існування та гніздування фазанів. У більшості державних під-

приємств лісового господарства переважають лісові угіддя, які характеризуються менш сприятливим умовами існування, ніж чагарникові зарості, польові угіддя, заплави річок тощо. Однак, насадження різного віку і складної структури формують гетерогенне середовище існування та створюють комфортні умови існування для фазана (Flis & Rytlewski, 2025).

Навесні 2019 р. випуск 80 птахів (30 самців і 50 самок) здійснили у мисливських угіддях лісомисливського господарства «Звірівське», а через рік випустили ще 200 особин. У лісомисливському господарстві також було налагоджене розведення фазана у напіввільних умовах. Протягом 2020-2025 рр. продовжували випуск фазанів в угіддях державних підприємства лісового господарства. Зокрема, навесні 2023 р. близько 300 фазанів було випущено у мисливські угіддя ДП «Ковельське ЛГ» і ДП «Ківерцівське ЛГ».

У 2025 р. кількість мисливських угідь, в яких випустили фазанів, істотно збільшилась і становила 25 господарств. Фазана реєстрували у мисливських угіддях семи районних організацій УТМР, в угіддях 10 надлісництв філії «Поліський лісовий офіс», а із 40 користувачів іншої форми власності фазана намагалися акліматизувати у восьми. Проте поголів'я чисельністю 200 і більше особин обліковано лише у п'яти надлісництвах, Любомльській районній організації УТМР та в угіддях ТзОВ «Веста М (рис. 2).

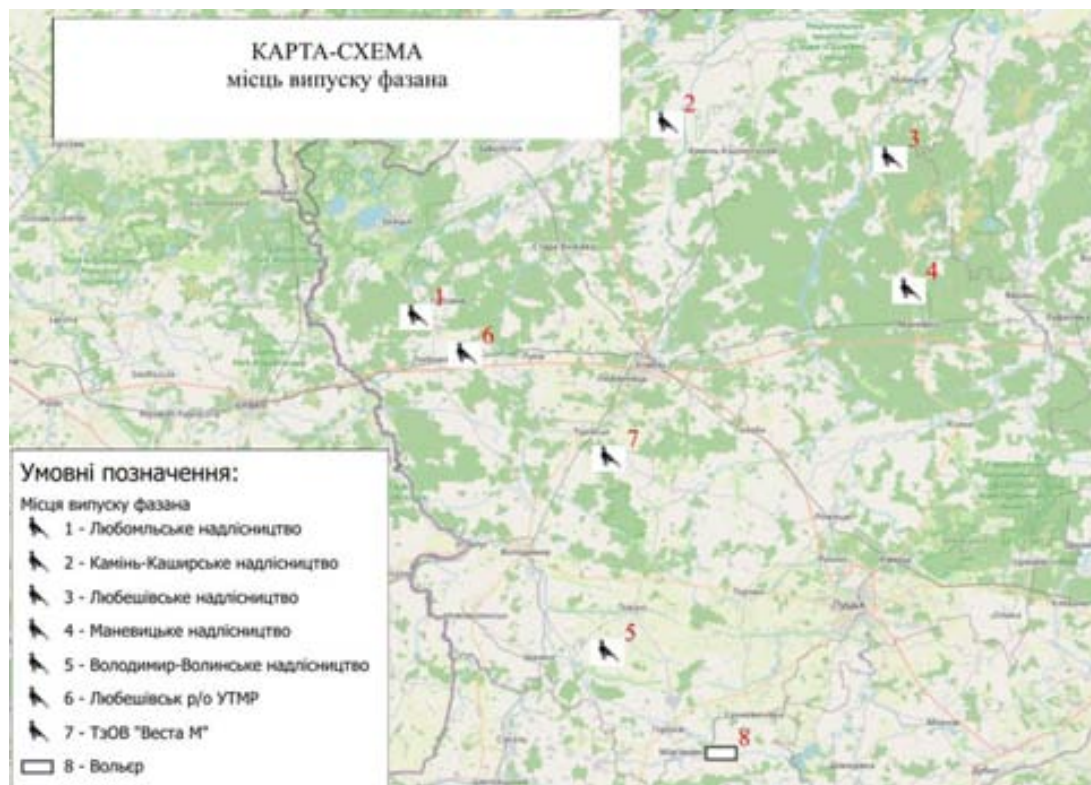


Рис. 2. Основні осередки акліматизації фазана в угіддях Волинської області

Fig. 2. The main centers of pheasant acclimatization in the hunting grounds of Volyn region

В угіддях інших користувачів чисельність фазана менша, тому стверджувати про успішну його акліматизацію передчасно. Чисельність птахів в угіддях різних районних організацій мисливців різна і змінюється від 30 (Маневицька р/о УТМР) до 210 (Любомльська р/о УТМР) особин, а в середньому – 90 птахів. Також виявлено переміщення фазанів із польської території

в угіддя Любомльської р/о УТМР. У мисливських угіддях ПП «Хуберт» поголів'я становить понад 300 особин. На природно-заповідних територіях птах трапляється в угіддях Шацького НПП.

Упродовж 2020-2025 рр. чисельність фазана у мисливських угіддях області збільшилась майже у п'ять разів (рис. 3). У 2025 р. в угіддях Волині обліковано понад 4,3 тис. особин.

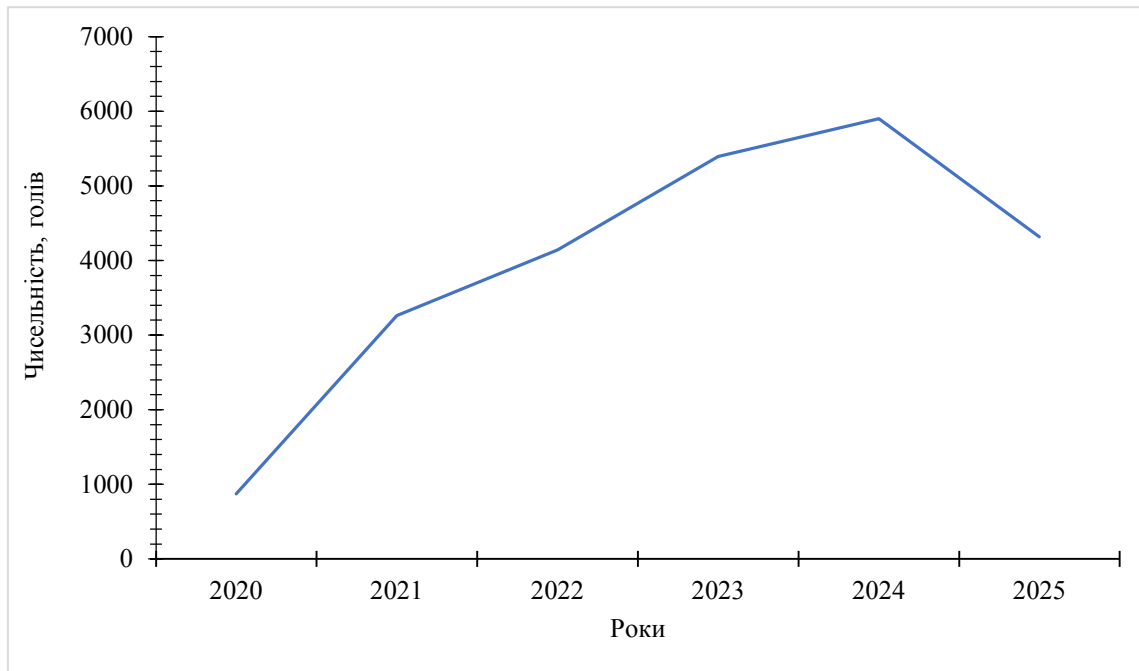


Рис. 3. Динаміка чисельності фазана у мисливських угіддях Волинської області
Fig. 3. Dynamics of the pheasant population size in the hunting grounds of Volyn region

Для випуску у природне середовище організовано розмноження фазана у напіввільних умовах. Так, на сьогодні вольєр з розведення фазана функціонує у Ново-Зборишівському л-ві Володимир-Волинського надлісництва. Виявилося, що економічно вигідніше інкубацію яєць здійснювати в інкубаторах приватних підприємців, які займаються розведенням та вирощуванням свійських птахів. Вихід пташенят після 23-25 діб перебування яєць в інкубаторах становить 60-65%. Після вилуплення пташенята переміщують у брудери розмірами 2 × 1 м. В одному брудері розміщують до 50 пташенят і утримують 28-30 діб. Попередньо у приміщеннях, де знаходяться брудера, проводять дезінфекцію. Пташники-брудери оснащують поїлками і годівницями. У воду додають різні вітаміни, а також лікарські препарати, які запобігають розвитку та поширенню хворіб і паразитів. У період знаходження пташенят фазана у пташнику їх годують гранульованим комбікормом. Підстилку (солому) у клітках впродовж всього періоду вирощування пташенят утримують у чистому і сухому стані (вологість не більше 25%), а в разі необхідності підсипають свіжою. Оптимальний мікроклімат підтримують за

допомогою системи витяжної вентиляції. Важливо підтримувати відповідний світловий режим. Занадто велика освітленість може призвести до канібалізму. Навіть з дотриманням всіх вимог щодо розведення і утримання пташенят, можливий відпад з різних причин до 5% поголів'я.

У Ново-Зборишівському л-ві влаштовано вольєр розмірами 83 × 75 м з висотою огорожі понад 2 м. На загорожену територію поміщають птахів у співвідношенні 1♂ : 5-6♀♀. У репродуктивний період, який в умовах лісництва триває з 25-30 березня до кінця липня, самка приносить 25-30 яєць. Вольєр обладнаний біотехнічними спорудами, зокрема годівницями, поїлками, гніздами, навісами для затінення у випадку надмірної інсоляції. У вольєр регулярно викладають гравій, пісок, черепашки молюсків тощо. Вольєр зверху вкритий капроною сіткою для захисту від хижих птахів. Неодноразово реєстрували намагання яструба великого добути птахів. Інколи йому навіть вдавалось прорвати сітку і проникнути у вольєр.

Іншим хижаком, який може завдати істотної шкоди поголів'ю, є куниця лісова. Вольєр загорожений сталлю сіткою і додатково на висоту до одного метра натягнута поліетиленова

сітка, яка вкопана у землю для запобігання проникнення хижаків (лисиці, куниці) на загорожену територію. У випадку проникнення у вольєр куниці одноразово може знищити до сотні птахів.

Материнське поголів'я щорічно оновлюють. У 2024 р. чисельність основного поголів'я становило 280, у наступному році – понад 290 особин, а діловий вихід становить 1500 пташенят. У 2025 р. витрати на утримання вольєру склали 78,6 тис. грн. Надходження від реалізації близько 400 пташенят становили понад 95 тис. грн, що свідчить про рентабельне ведення господарства.

Дискусія (Discussion).

Незначна чисельність поголів'я у мисливських угіддях Волинської обл. зумовила необхідність додаткового випуску птахів, в іншому випадку існувала небезпека зникнення фазана через низьку щільність. У випадках, якщо після випуску у природне середовище птахи збереглися у нових умовах існування, збільшення поголів'я та заселення нових біотопів все ж сповільнювалося внаслідок незначної чисельності особин, які широко розлітались по території і самці та самки не змогли знайти пару у весняний період. Інколи птахів виявляли за десятки і навіть сотні кілометрів від місця випуску.

Найбільшої втрати фазани зазнають у перші дні після випуску в угіддя. Опинившись у невласних для них умовах, птахи не завжди самостійно можуть знайти корм, безпечні місця для проживання, відновити свої природні біоритми. Практичний досвід розведення фазана у

напіввільних умовах засвідчує, що під час випуску у природне середовище птахи інтенсивно переміщуються, часто перериваючи живлення і відпочинок, щоб уникнути прямої або непрямой взаємодії з людьми, хижакими тощо (Wang et al., 2025). Птахи, які виростили у вольєрі, гинуть значно частіше, ніж птахи, які появились у природних умовах.

Проблеми акліматизації фазана характерні не лише для України. Дослідженнями, проведеними у Південній Дакоті (США), встановлено, що у репродуктивний період у гніздуванні приймають участь 21% самок, вирощених у вольєрі, а виживання птахів становило близько 10%. В Англії у мисливських угіддях від червня-липня до весни у середньому виживало близько 15% випущених птахів (Sage et al., 2025). У Польщі упродовж багатьох років фазан був і залишається основним видом дрібної дичини. За останні 20 років, через значне зменшення чисельності куріпок та зайців і обмеження на них полювання, фазан є основним об'єктом полювання. На початку XXI ст. фазан в середньому становить понад 80% від загального обсягу добування польових і борових птахів. У Польщі модель управління популяцією виду ґрунтується на щорічному заселенні мисливських угідь птахами з вольєрів та полюванні шляхом добування самців (Flis & Rytlewski, 2025).

Позитивний ефект від акліматизації фазана може бути повністю нівельованим без належного моніторингу за хижакими (вовком, лисицею, єнотоподібною собакою, шакалом, сірою вороною, великим яструбом та ін.).

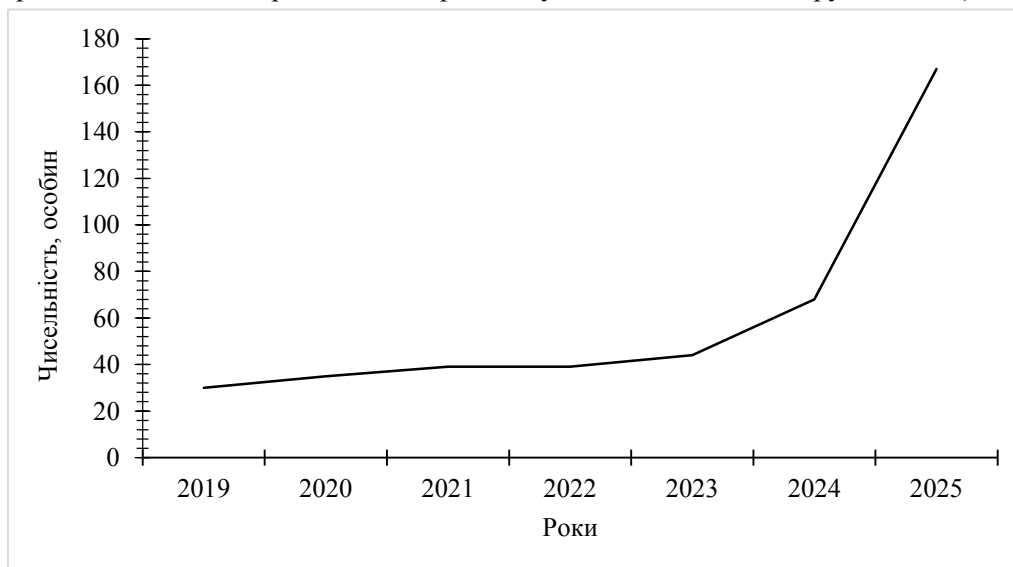


Рис. 4. Чисельність вовка у мисливських угіддях Волинської області

Fig. 4. Wolf population size in the hunting grounds of Volyn region

Так, упродовж 2019-2022 рр. чисельність вовка у Волинській обл. становила 30-40 голів (рис. 4). До російської агресії в угіддях області

проводили його добування: у 2020 р. добуто вісім хижаків, у 2021 р. – 20, а наступного року – 18 особин, що становило у середньому 40%

від загальної чисельності поголів'я. Однак, чисельність вовка упродовж 2023-2025 рр. внаслідок заборони полювання збільшилась у 3,8 рази і становила понад 160 голів. Істотної шкоди поголів'ю фазана вовк спричинити не може, проте сукупний вплив хижаків може бути суттєвим, що вимагає ретельного розроблення стратегії випуску птаха у мисливські угіддя області (Collar, 2020).

Наприкінці XX ст., внаслідок природного розширення ареалу, вперше на території України з'явився шакал звичайний (*Canis aureus*). Його виявили в плавнях р. Дністер. Понад 20 років триває експансія хижака в Україні. За цей період він досягнув північних районів країни. У 2020 р. у Волинській обл. вперше його зареєстрували і добули у плавнях р. Стохід (Войтко, Загороднюк, 2022). У лютому 2022 р. відстрілено одну особину в угіддях Рожищенського л-ва Ківерцівського надлісництва. Раціон хижака залежить

від сезону, біотопів існування і доступності кормів. Основу його живлення становлять дрібні ссавці, часто полює на птахів та зайців (Lange et al., 2020).

Істотну шкоду польовій дичині (фазан, сіра куріпка, заєць сірий та ін.) і, насамперед, поголів'ю фазана, може принести надмірна чисельність лисиці. Упродовж 2018-2025 рр. її поголів'я змінювалося у межах від 2,3 тис. голів у 2019 р. до 4,4 тис. голів у 2025 р. (рис. 5). Щорічно, до російської агресії, в угіддях області добували 800-900 голів, що становило 30-33% від загальної чисельності поголів'я. Українські науковці обґрунтували негативний вплив лисиці на популяцію фазана (коефіцієнт кореляції $r = -0,919$, при $p < 0,01$). Зокрема, за щільності хижака 1,5 голів / тис. га і більше лисиця є лімітуючим чинником щодо популяції фазана (Новицький та ін., 2015).

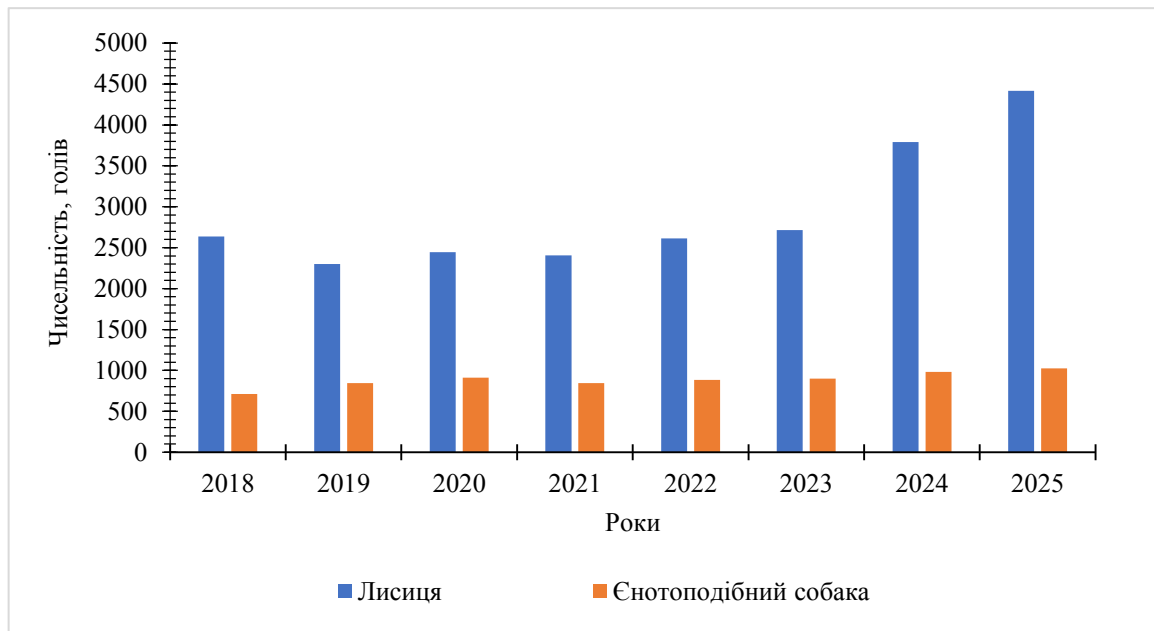


Рис. 5. Динаміка чисельності лисиці та єнотоподібного собаки у мисливських угіддях Волинської області

Fig. 5. Dynamics of the population size of the red fox and the raccoon dog in the hunting grounds of Volyn region

Окрім лисиці, значну небезпеку для фазана в угіддях Волинського Полісся представляє єнотоподібна собака. За період 2000-2012 рр. чисельність хижака у середньому становила 582 ± 24 осіб. За аналізований період приріст змінювався в межах від 2,4 (2007 р.) до 20,6% (2001 р.), середньорічний приріст склав 7,4%. Упродовж 2005-2012 рр. мисливці Волині щорічно добували у середньому 151 ± 14 особин (понад 20% загальної чисельності поголів'я). Протягом 2005-2007 рр. відстріл хижака становив не більше 20%, а впродовж 2011-2012 рр. – понад 30% загальної чисельності. Тіснота зв'язку між чисельністю та добуванням є значною ($r = 0,61$).

Спеціально на єнотоподібну собаку не полюють, частіше добувають під час полювання на інші види, зокрема на ратичні. Протягом 2018-2022 рр. щорічне добування хижака в угіддях області становило 80-100 голів (9-11% від загальної чисельності поголів'я). Упродовж 2019-2025 рр. чисельність змінювалася у межах від 713 голів (2019 р.) до 1,0 тис. голів (2025 р.).

Хижакі-ссавці наносять шкоду поголів'ю фазана у нічний період, а хижі птахи – у денний (Krüger et al., 2018). За результатами досліджень, загибель самок фазанів від наземних хижаків може становити понад 50%, а від хижаків-птахів – понад 10% (Musil & Connely, 2009). За свідчен-

ням егерської охорони, в умовах Волині хижі птахи є одним із основних чинників зменшення чисельності фазана. Для прикладу, у 2022 р. у польові угіддя Ківерцівського надлісництва випущено понад 300 птахів, випускали птахів і в наступному році. Проте за результатами таксації у 2024 р. в угіддях лісництва обліковано лише декілька десятків фазанів.

Щільність популяцій деяких видів хижих птахів зазвичай незначна, вони, ймовірно, не можуть істотно вплинути на чисельність фазана, але сукупний вплив широко розповсюджених видів (сіра ворона, яструб-тетерев'ятник) можуть наносити значну шкоду мисливському господарству навіть у тому випадку, якщо фазани складають лише частину їх кормового раціону.

Життєдіяльність окремих видів хижих птахів змінюється залежно від щільності популяції фазана – кормового компоненту раціону певного хижака, а також від наявності інших видів птахів. За значної чисельності та екологічної пластичності, навіть сіра ворона може наносити суттєву шкоду розведенню фазана. Чисельність ворони у певних угіддях (водно-болотних, заплавлених, сільськогосподарських) у 5-10 разів більша, ніж в інших. У період гніздування у ворони появляются 3-5 пташенят. Для пташенят, які швидко ростуть, необхідно багато висококалорійного корму. Таким кормом для них є яйця і пташенята фазана. Встановлено, що ворона добуває яйця і пташенят понад 20 видів птахів. У значній кількості ворони розоряють гнізда крижня, сірої качки, фазана. В лучних угіддях хижак розорює понад 50% кладок, у лісових – 30-35% (Krüger et al., 2018). Шкідлива діяльність ворони завжди призводить до зменшення чисельності виводків. Окрім ворони сірої, в угіддях Любомльської р/о УТМР під час випуску фазанів у природне середовище у листопаді 2021 р. було зареєстровано напад крука (*Corvus corax*) на фазана.

У всіх природних зонах країни поширений ще один хижак – яструб великий (*Astur gentilis*). Він надає перевагу лісам, які чергуються з відкритими ландшафтами. Видовий склад раціону яструба визначається регіоном існування і траплянням окремих видів. Основним кормом для яструба великого є представники мисливської фауни: куроподібні, качки, рідше – гуси, заєць сірий, вивірка звичайна та ін. В умовах вольєру Ново-Зборишівського л-ва зареєстровано випадки намагання яструба полювати на фазанів.

Висновки (Conclusions).

1. Фазан – найпопулярніший і найчисельніший об'єкт полювання у різних країнах. Інтродукція виду у мисливські угіддя Волинської обл.

призвела до збільшення видового біорізноманіття, а полювання на фазана є джерелом надходжень коштів для користувачів мисливських угідь.

2. На початку ХХІ ст. із 64 користувачів мисливських угідь Волинської обл. фазана намагалися акліматизувати в угіддях 25 користувачів. Угіддя належали державним підприємствам лісового господарства, районним організаціям Українського товариства мисливців і рибалок, Шацькому НПП, користувачам з іншою формою власності.

3. Упродовж 2020-2025 рр. поголів'я фазана у мисливських угіддях області збільшилась у п'ять разів. У більшості користувачів угідь чисельність незначна, лише у семи з них вона становить 200-400 осіб, що зумовлює необхідність проведення біотехнічних заходів, зокрема випуску птахів у природне середовище. В інших користувачів чисельність фазана менша, тому стверджувати про успішну акліматизацію виду передчасно.

4. Розведення фазана у вольєрних умовах з наступним випуском у мисливські угіддя є вагомим заходом для збільшення поголів'я виду. Успішне вольєрне розведення фазана налагоджено у Ново-Зборишівському л-ві, що дає змогу здійснювати регулярний випуск птахів у мисливські угіддя області.

5. Загибель птахів від хижаків, хвороб, погодних умов можна мінімізувати шляхом проведення біотехнічних заходів: влаштування біотехнічних споруд, підгодовлі, контролі та регулювання чисельності хижих звірів і птахів тощо. У період російської агресії полювання на території Волинської обл. не проводилося. Збільшення чисельності хижаків (лисиці, єнотоподібної собаки та ін.) вимагає дозволити полювання на них з метою регулювання чисельності.

6. Чисельність фазанів у мисливських угіддях Волині є незначною. Станом на 2025 р. в угіддях Волинської обл. обліковано понад 4,3 тис. осіб. Доцільно розробити перспективний план акліматизації виду у мисливських угіддях із залученням користувачів різної форми власності області.

Подяка (Acknowledgments).

Висловлюємо щирі подяку начальнику Володимир-Волинської мисливської ділянки філії «Поліський лісовий офіс» ДП «Ліси України» Г.Г. Биховцю та голові Волинської обласної організації УТМР А.В. Дмитруку за надану допомогу під час підготовки рукопису до друку.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Coates, P. S., Brussee, B. E., Howe, K. B., Fleskes, J. P., Dwight, I. A., Connelly, D. P., Meshriy, M. G., & Gardner, S. C. (2017). Long-term and widespread changes in agricultural practices influence ring-necked pheasant abundance in California. *Ecology and Evolution*, 7, 2546–2559. <https://doi.org/10.1002/ece3.2675>
- Collar, N. J. (2020). Preparing captive-bred birds for reintroduction: the case of the Vietnam Pheasant *Lophura edwardsi*. *Bird Conservation International*, 30(4), 1–16. <https://doi.org/10.1017/S0959270920000039>
- Flis, M., & Rytlewski, G. (2025). Pheasant in Poland – an alien species, but is it invasive? *Animal Science and Genetics*, 21(4), 53–60. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0055.4425>
- Gianpasquale, Ch., & Meriggi, A. (2022). Habitat selection and density of common pheasant (*Phasianus colchicus*) in Northern Italy: effects of land use cover and landscape configuration. *European Journal of Wildlife Research*, 68, 26. <https://doi.org/10.1007/s10344-022-01575-w>
- Holá, Michaela, Zíka, Tomáš, Šálek, Miroslav, Hanzal, Vladimír, Kušta, Tomáš, Ježek, Miloš, & Hart, Vlastimil. (2014). Effect of habitat and game management practices on ring-necked pheasant harvest in the Czech Republic European. *Journal of Wildlife Research*, 61(1), 73–80 <https://www.researchgate.net/publication/271518203>
- Khoyetsky, P. B. (2011). Game management at the State Enterprise "Manevychi Forestry *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(11), 45–54. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_11/45_Cho.pdf [Хоецький, П. Б. (2011). Ведення мисливського господарства в угіддях Державного підприємства «Маневицьке ЛП». *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(11), 45–54] (in Ukrainian)
- Khoyetsky, P. B. (2014). Hunting Management within the –State Enterprise "Zvirivsk Hunting District" Lands *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(2), 9–13. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_2/9_Ch_o.pdf [Хоецький, П. Б. (2014). Ведення мисливського господарства в угіддях ДП МГ «Звіривське». *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(2), 9–13] (in Ukrainian)
- Khoyetsky, P. B. (2010). Introduction and reacclimatization of game species in the Western region of Ukraine *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20(16), 265–273. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_16/265_Cho.pdf [Хоецький, П. Б. (2010). Інтродукція та реакліматизація мисливських звірів у Західному регіоні України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 20(16), 265–273] (in Ukrainian)
- Krüger, H., Väänänen, V. M., Holopainen, S., & Nummi, P. (2018). The new faces of nest predation in agricultural landscapes – a wildlife camera survey with artificial nests. *European Journal of Wildlife Research*, 64, 76. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1233-7>
- Lange, P., Lelieveld, G., de Knegt, & Henrik, J. (2020). Diet composition of the golden jackal *Canis aureus* in south-east Europe – a review. *Mammal Review*, 51(2), 1–7. <https://doi.org/10.1111/mam.12235>
- Madden, J. R., Hall, A., & Whiteside M. A. (2018). Why Do Many Pheasants Released in the UK Die, and How Can We Best Reduce Their Natural Mortality? *European Journal of Wildlife Research*, 64(4), 40. <https://doi.org/10.1007/s10344-018-1199-5>
- Musil, D. D., & Connelly, J. W. (2009). Survival and Reproduction of Pen-Reared vs Translocated Wild Pheasants *Phasianus colchicus* *Wildlife Biology*, 15(1), 80–88. <https://www.researchgate.net/publication/233506251>
- Novytskyi, V. P. (2016). The Population Dynamics and the State of the Resources of the Common Pheasant (*Phasianus Colchicus* L.) in the Ukrainian Forest-Steppe. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(8), 147–150. <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/412> [Новицький, В. П. (2016). Динаміка чисельності та стан ресурсів фазана звичайного (*Phasianus colchicus* L.) в Українському Лісостепу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 26(8), 147–150] (in Ukrainian)
- Novytskyi, V. P., Landin, V. P., & Matsiboruk, P. V. (2015). Impact of the red fox on the abundance of game fauna in the agricultural landscapes of the Ukrainian Forest-Steppe. *Agroecological journal*, 3, 119–123. <https://doi.org/10.33730/2077-4893.3.2015.317875> [Новицький, В. П., Ландін, В. П., Маціборук, П. В. (2015). Вплив лисиці звичайної на чисельність мисливської фауни агроландшафтів Лісостепу України. *Агроекологічний журнал*, 3, 119–123] (in Ukrainian)
- Potish, L. A., & Potish, A. L. (2016). Changes in the Number and State of Galliformes Resources in Transcarpathian Region. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26(8), 61–66.

- https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2016/26_8/11.pdf [Потіш, Л. А., Потіш, А. Л. (2016). Динаміка чисельності та стан ресурсів Куроподібних *Galliformes* у Закарпатській області. *Науковий вісник ХНТУ України*, 26(8), 61–66] (in Ukrainian)
- Robertson, P. A., Mill, A. C., Rushton, S. P., McKenzie, A. J., Sage, R. B. & Aebischer, N. J. (2017). Pheasant release in Great Britain: long-term and large-scale changes in the survival of a managed bird. *European Journal of Wildlife Research*, 63, 100. <https://doi.org/10.1007/s10344-017-1157-7>
- Sage, R. B., Hoodless, A. N., Woodburn, M. I. A., Draycott, R. A. H., Madden, J. R., & Sotherton, N. W. (2020). Summary review and synthesis: effects on habitats and wildlife of the release and management of pheasants and red-legged partridges on UK lowland shoots. *Wildlife Biology*, 4, 1–12. <https://doi.org/10.2981/wlb.00766>
- Sage, R. B., Woodburn, M. I. A., & Coomes, J. R. (2025). Seasonal densities of released Common Pheasants *Phasianus colchicus* and Red-legged Partridges *Alectoris rufa* on land used for shooting and on nearby non-release land in southern England. *Bird Study*, 72(3), 287–301. <https://doi.org/10.1080/00063657.2025.2494771>
- Voitko, P., & Zagorodniuk, I. (2022). Finds of rare and little-known carnivores in the Volyn region: the golden jackal and the wild cat. *Novitates Theriologicae*, 13, 43–46. <https://doi.org/10.53452/nt1322> [Войтко, П., Загороднюк, І. (2022). Знахідки рідкісних та маловідомих хижих ссавців на Волині: шакал і кіт лісовий. *Novitates Theriologicae*, 13, 43–46] (in Ukrainian)
- Wang, L., Lu, Y., Cai, Y., Ji, L., Pang, D., Zhou, M., Cheng, Y., Pu, F., & Zhang, B. (2025). The Spatial Relationship Between Two Sympatric Pheasant Species and Various Human Disturbance Activities. *Animals*, 15, 95. <https://doi.org/10.3390/ani15010095>
- Wszola, L. S., Madsen, A. L., Stuber, E. F., Chizinski, C. J., Lusk, J. J., Taylor, J. S., Pope, K. L., & Fontaine, J. J. (2020). Public access for pheasant hunters: Understanding an emerging need. *Journal of Wildlife Management*, 84(1), 45–55. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21785>
- Williamson, L.T., Walter, W.D., Klinger, S.R., & Diefenbach, D.R. (2019). Incorporating detection probability to estimate pheasant density. *Journal of Wildlife Management*, 82(8), 1680–1688. <https://doi.org/10.1002/jwmg.21545>
- Zíka, T., Janota, J., & Kůtová, J. (2013). Population dynamics and reproduction of the common pheasant (*Phasianus colchicus* Linné, 1758) in the cultivated landscape Brandýsko, Czech republic. *Zprávy lesnického výzkumu*, 3, 264–272. <https://www.researchgate.net/publication/287410179>

Distribution and abundance of the Common Pheasant (*Phasianus colchicus* L.) in the hunting grounds of Volyn Region, Ukraine

O. Hryshchuk¹, O. Palamarenko², E. Rizun³, P. Khoyetsky⁴

The common pheasant (*Phasianus colchicus* L.) is one of the most popular game bird species in Ukraine. Before the Russian invasion, annual harvests during the hunting season amounted to approximately 50,000–60,000 individuals. Initial

attempts to introduce the species into the hunting grounds of Volyn Region were made in the 1960s; however, large-scale acclimatization efforts did not begin until the early 21st century. In 2005, the common pheasant was recorded in the hunting

¹ Oleksandr Hryshchuk – Head of the Hunting Management Sector, Branch Polissia Forest Office, State Enterprise Forests of Ukraine. 30 Voli Ave., Lutsk, Volyn Region, 43025, Ukraine. E-mail: oleksandr.gryshchuk@e-forest.gov.ua

² Olha Palamarenko – PhD in Biological Sciences, Senior Lecturer, Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: olgapal1982@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1712-9295>

³ Elvira Rizun – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: rizun_elia@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0797-1681>

⁴ Pavlo Khoyetsky – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>

grounds of six game management users in the region, and as of 2025, the birds were recorded in the hunting grounds of 25 users. Furthermore, of the 64 hunting ground users in whose hunting areas the common pheasant occurs, only seven have pheasant populations exceeding 200 individuals, which necessitates the implementation of intensive wildlife management measures, including habitat improvement, supplementary feeding, predator control, and the periodic release of captive-reared birds into the wild.

According to the study results, the common pheasant population in the hunting grounds of Volyn Region increased fivefold during the 2020-2025 period. The current pheasant population in the hunting grounds of the region exceeds 4,000 individuals. At present, the species occurs in the hunting grounds managed by approximately 50% of the region's hunting ground users. The species is distributed across the territories of state forestry enterprises, the Ukrainian Society of Hunters and Fishermen, hunting grounds managed by users of other forms of ownership, and areas within the nature reserve fund.

An analysis of population trends for the main predators (gray wolf, red fox, and raccoon dog) in the hunting grounds of Volyn Region showed that, as a result of the hunting ban, the populations of the gray wolf increased 5.6-fold, the red fox 1.7-fold, and the raccoon dog 1.4-fold. Since 2020, the golden jackal has also been recorded in the hunting grounds of the region. The combined impact of these predators can lead to a significant decline in pheasant numbers or to their complete extinction. The bird losses caused by predation, diseases, and adverse weather conditions can be mitigated through the implementation of wildlife management measures, including the establishment of wildlife management facilities, supplementary feeding, and the monitoring and control of predator populations, including both predatory mammals and birds.

To replenish the pheasant population in the wild, captive breeding of pheasants in enclosures

(breeding aviary) is practiced in Volyn region. Such a breeding program has been established at the Novo-Zboryshiv forest district of Volodymyr-Volynskyi Forestry Enterprise. Eggs are incubated in commercial hatcheries operated by private poultry producers. After an incubation period of 23-25 days, hatching success reaches 60-65%. Newly hatched chicks are transferred to brooders measuring 2×1 m, where up to 50 chicks are kept for 28-30 days. A breeding aviary measuring 83×75 m, enclosed by a fence more than 2 m high, has been constructed at the Novo-Zboryshiv forest district. Adult birds are maintained at a sex ratio of one male to five or six females (1♂:5–6♀♀). Under local conditions, the breeding season extends from 25-30 March until the end of July, during which each female lays 25-30 eggs. The aviary is equipped with wildlife management facilities, including feeders, drinkers, nesting sites, and shelters providing shade during periods of excessive solar radiation. Gravel, sand, and crushed mollusc shells are also supplied regularly to ensure adequate mineral nutrition and proper digestion.

The breeding stock is renewed annually. In 2024, the breeding flock consisted of 280 birds, increasing to 290 birds in the following year. Annual chick production amounts to approximately 1,500 individuals. In 2025, the maintenance costs of the breeding aviary amounted to UAH 78.6 thousand, whereas the sale of approximately 400 chicks generated revenues exceeding UAH 95 thousand, indicating that the breeding operation was economically viable and profitable. During the 2020-2025 period, captive breeding in fenced enclosures made it possible to establish common pheasant populations in the hunting grounds of 15 hunting ground users. Over the study period, approximately 15,000 birds were released into the hunting grounds of Volyn Region.

Key words: acclimatization; captive breeding; brooders; diet; wildlife management measures; profitability; population dynamics; habitats; predators.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412604>
Article received 2025.10.06
Article revised 2026.02.27
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Debryniuk
v.debryniuk@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*228.81 : 630*231

Структура та особливості природного поновлення *Picea abies* (L.) Karst. у пралісових угрупованнях НПП «Верховинський»

В.Ю. Дебринюк¹, М.М. Нечай², І.І. Коляджин³, В.В. Лавний⁴, Ю.М. Дебринюк⁵

Досліджені ялинові лісостани характеризуються природним походженням, різновіковістю, наявністю дерев на межі фізіологічного розвитку, наявністю самосіву і підросту, лежачої мертвої деревини усіх стадій розкладання, відсутністю антропогенного впливу, тобто мають усі ознаки приналежності до пралісових угруповань. Запас деревини ростучих дерев на ділянці, що представляє ранню фазу старіння, становить 588, пізню фазу старіння – 596, початкову фазу розпаду – 545 м³·га⁻¹. Запас сухостою становить, відповідно, 24, 70 та 121 м³·га⁻¹. Досліджені деревостани триярусні.

Кількість підросту змінюється у значних межах і залежить загалом від фази розвитку деревостану: 5,1 (рання фаза старіння), 13,9 (пізня фаза старіння), 15,1 (початкова фаза розпаду) тис. шт./га. Окрім фази розвитку деревостану, причиною значної варіабельності кількості підросту на ділянках є різна інтенсивність розвитку трав'яного вкриття, яка залежить від ступеня зімкнутості намету та інтенсивності освітлення лісової ділянки.

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 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>

³ Коляджин Іван Ігорович – фахівець з цивільного захисту, інженер з метрології Комунального некомерційного підприємства «Верховинська багатопрофільна лікарня» Верховинської селищної ради, с. Верховина Івано-Франківської області, 78701, Україна. E-mail: ivan_ko@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6790-7051>

⁴ 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.

⁵ 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>

Зі зміною фази розвитку деревостану прослідковується певна тенденція у висотній структурі підросту. Так, у напрямі зміни фази розвитку деревостану – рання фаза старіння → пізня фаза старіння → початкова фаза розпаду частка дрібного підросту (10-39 см) збільшується (38,5; 76,4; 87,6%), тоді як частка середнього (40-129 см) та великого (130 см і більше) підросту зменшується (відповідно, 34,3; 14,1; 11,2% та 27,2; 9,5; 1,2%).

Порівняння кількості підросту за висотними групами засвідчує певні фазові відмінності у розвитку пралісів. Так, деревостан, що перебуває у ранній фазі старіння, характеризується відносно однаковим розподілом підросту за висотними групами (38,5; 34,3 та 27,2%). У деревостанах, що перебувають у пізній фазі старіння та початковій фазі розпаду, спостережено значну перевагу дрібного підросту (76,4 та 87,6%). Забезпеченість підростом ділянки деревостану з ранньою фазою старіння є незадовільною, тоді як деревостани у пізній фазі старіння та початковій фазі розпаду характеризуються добрим станом природного поновлення (I клас якості). Стан ялинового підросту добрий. Частка рослин з механічними пошкодженнями (0,5-4,3%) та пошкоджених дикими тваринами (1,1-5,5%) незначна.

Ключові слова: деревостан; фази розвитку; підріст; облікові площадки; кругові проби; висотні групи; трав'яне вкриття.

Вступ (Introduction).

У нинішніх кліматичних умовах ліс – це єдина макроструктурна формація рослинності, здатна до саморегуляції і самовідновлення. Модельним об'єктом лісової рослинності виступає праліс. Він не лише зберігає структуру та склад деревних рослин, але й тривалий час підтримує високу біотичну стійкість і лісівничо-таксаційні ознаки деревостану. Завдяки здатності гнучко адаптуватися до зовнішніх порушень, пралісові екосистеми забезпечують своє безперервне існування у первісному стані (Korpel, 1995).

Стойко (2002) розглядав праліси як екосистеми, що виникли внаслідок спонтанного філоценогенезу, де взаємодія між автотрофами, гетеротрофами і ґрунтовим середовищем не порушена. Структурна організація таких екосистем охоплює повний спектр вікових генерацій дерев – від самосіву до перестійних екземплярів, що дає змогу відстежувати неспотворені природні цикли лісової динаміки. У цьому контексті праліс постає як гомеостатична система, здатна до самовідтворення завдяки досконалим внутрішнім чинникам біотичної стійкості.

Праліси відіграють ключову роль у збереженні біорізноманіття, забезпеченні екологічної рівноваги в біосфері та підтриманні еволюційних процесів (Стойко, 2013). Вони також мають виняткове значення як природні моделі для відновлення трансформованих лісових угруповань і є важливими для забезпечення сталого лісового господарства.

Еколого-лісівничі дослідження підтверджують значний негативний вплив кліматичних змін на природні біогеоценози, зокрема на смерекові пралісові угруповання. Аналіз динаміки флористичного покриву підтвердив низьку швидкість адаптації лісових екосистем до зміни

клімату. Основними чинниками, які посилюють екологічний стрес, є збільшення середньорічної температури повітря та зменшення кількості атмосферних опадів, що становить потенційну небезпеку для виживання деревних видів з вузькою екологічною амплітудою, зокрема *Picea abies* (L.) Karst. Ці процеси визначають зміну меж ареалів основних лісотвірних деревних видів, що, своєю чергою, впливає на структурну характеристику лісових екосистем та їхню біологічну продуктивність (Cannone et al., 2007; Jump et al., 2006; Shukla et al., 2019; Дебринюк, 2011; Дідух та ін., 2016; Шпарик та ін., 2020).

Окрім глобальних кліматичних трансформацій, які змінюють лісорослинні умови та потенційно спричиняють зміну породного складу лісостанів, на пралісові екосистеми негативний вплив також виявляють стихійні природні явища (вітровали, буреломи, сніголами), що здатні зруйнувати ярусну структуру пралісових угруповань (насамперед – смерекових) на значних територіях (Janda et al., 2014; Калущкий, Олійник, 2007; Ю. Шпарик, Вітер, В. Шпарик, 2020).

Основою відновлення лісових угруповань, зокрема і пралісових, є інтенсивність проходження процесу природного поновлення в них. Цей процес залежить від багатьох чинників і є ключовим механізмом підтримання структурної та функціональної цілісності пралісів, забезпечуючи безперервність поколінь і стабільність лісового фітоценозу. Завдяки природному поновленню, відбувається збереження локальних генетичних ресурсів того чи іншого деревного виду, що сприяє адаптивному потенціалу популяцій і довготривалій еволюційній стабільності пралісових угруповань (Korpel, 1995; Leibundgut,

1993; Štefan, 1995; Гамор та ін., 2008; Стойко, 2002; Чорній, Шпарик, 2025).

Саме у пралісових угрупованнях, сформованих ялиною (смерекою) європейською, здійснено дослідження інтенсивності проходження процесів природного поновлення з урахуванням різних фаз розвитку пралісу. Детальну лісівничо-таксаційну характеристику досліджуваних смерекових пралісів подано у нашій попередній роботі (Дебринюк та ін., 2025).

Мета роботи полягала в обліку підросту за висотними групами у смерекових пралісах для встановлення інтенсивності проходження процесу природного поновлення залежно від фази розвитку пралісового угруповання.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси природного поновлення у смерекових пралісах, які перебувають у різних фазах розвитку. Предмет дослідження – кількість, видовий склад і стан підросту під наметом смерекових пралісів. Об'єкти досліджень знаходяться на території лісового фонду Національного природного парку «Верховинський», а саме, на території двох природоохоронних науково-дослідних відділень (ПНДВ) – Прикордонного і Чивчинського. Лісостани цих ПНДВ є одними із найвіддаленіших в Українських Карпатах, займаючи складні за рельєфом території на межі з державним кордоном України та Румунії.

Методика проведення лісівничо-таксаційних досліджень є загальноприйнятою для лісівництва та лісової таксації (Миклуш та ін., 2022; Площі пробні..., 2006). Для вивчення процесу природного поновлення на території згаданих вище ПНДВ було відібрано три смерекові лісостани, які повною мірою відповідають всім ознакам пралісових угруповань. Під наметом кожного із трьох смерекових лісостанів відібрано ділянку, яка якнайповніше відображає певну фазу розвитку пралісу. Для встановлення фази розвитку пралісового угруповання використовували методичні підходи Leibundgut (1993). Під час закладання пробних площ (ПП) з метою дослідження процесів природного поновлення використано методичні напрацювання Швейцарського федерального інституту досліджень лісу, снігу і ландшафтів, згідно з якими їхній розмір становить $71,2 \times 71,2$ м. (Stillhard et al., 2023). Межі пробної площі по периметру позначено білою фарбою, а саму пробну площу поділено на квадрати розміром $12,8 \times 12,8$ м (всього 16 шт.), кути яких стали центром облікових площадок (рис. 1). Кути квадратів позначено дерев'яними кілками.

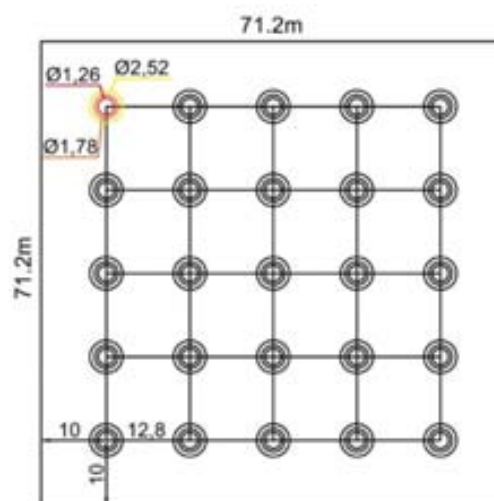


Рис. 1. Схема закладання облікових площадок і кругових проб на пробній площі

Fig. 1. The layout of the tally areas and circular sample plots in the experimental plot

На кожній обліковій площадці закладали по три кругових проби (всього 75 шт. на пробній площі), серед яких 25 кругових проб мали площу по 5 м^2 , 25 кругових проб – по 10 м^2 і ще 25 кругових проб – по 20 м^2 . Радіус кругових проб майже в усіх випадках уточнювали за спеціальною шкалою, оскільки вони знаходились переважно на схилах, які характеризувались різною стрімкістю.

Під час закладання облікових площадок від кожної сторони пробної площі відступали по 10 м. З цього місця починали закладання площадок $12,8 \times 12,8$ м, кути яких слугували центром кругових проб. Діаметр першої кругової проби становив 1,26 м (без поправки на схил), другої – 1,78 м, третьої – 2,52 м. На першій круговій пробі обліковували весь підріст заввишки 10-39 см, на другій – заввишки 40-129 см, на третій – 130 см і більше. На третій круговій пробі підріст обліковували за діаметром на висоті 1,3 м з внесенням його до однієї із шести груп: 1) до 0,9 см; 2) 1-1,9 см; 3) 2-2,9 см; 4) 3-3,9 см; 5) 4,9 см; 6) 5-5,9 см. За ступенем пошкодження підріст поділяли на три групи: 1) без пошкоджень; 2) з пошкодженнями; 3) пошкоджені дичиною. Дані вносили в облікову відомість. Місце для закладання ПП у лісостані підбирали таким чином, щоб ділянка якнайповніше відображала певну фазу розвитку пралісу.

Досліджені смерекові пралісові угруповання характеризуються чистим складом та утворені аборигенним видом – *Picea abies*, що є характерною особливістю вологих високогірних сусмеречин (C₃-См).

Досліджені смерекові лісостани відзначаються триярусною будовою, значною різновіковістю, що ускладнює встановлення їхнього віку. Тому вік деревостанів приймали за даними лісовпорядкування станом на 2019 рік, хоча він визначений доволі наближено.

Під час закладання пробних площ визначали їхні координати за чотирма точками (по кутах квадрату) та висоту над рівнем моря (н.р.м.) по кожній точці. Характеристику досліджених ділянок смерекових лісостанів наведено в табл. 1.

Таблиця 1. Характеристика досліджених ділянок смерекових пралісів
Table 1. Characteristics of the studied areas of primeval spruce forests

	№ пробної площі		
	12	13	14
Місцезнаходження та координати	Чивчинське ПНДВ, ур. Балясинів, кв. 20, вид. 26; Пд-3х схил 20°; (т. №1: N 47°50.518' E 024°50.396'; т. №2: N 47°50.544' E 024°50.370'; т. №3: N 47°50.535' E 024°50.446'; т. №4: N 47°50.562' E 024°50.409')	Прикордонне ПНДВ, ур. Лійка, кв. 19, вид. 43; Пн-Сх схил 12°; (т. №1: N 47°49.546' E 024°50.150'; т. №2: N 47°49.579' E 024°50.182'; т. №3: N 47°49.566' E 024°50.233'; т. №4: N 47°49.526' E 024°50.212')	Чивчинське ПНДВ, ур. Балясинів, кв. 23, вид. 7; Пн-Сх схил 35°, на окремих ділянках – до 50°; т. №1: N 47°50.295' E 024°50.997'; т. №2: N 47°50.332' E 024°50.981'; т. №3: N 47°50.339' E 024°51.027'; т. №4: N 47°50.301' E 024°51.054'
Площа лісостану і форма ділянки	19,8 га; форма ділянки наближена до прямокутної.	13,6 га; лісостан є частиною ялинового пралісу, до складу якого входять також вид. 16 пл. 4,8 га, а також низка виділів кв. 17 загальною площею більше 20 га. Форма ділянки – неправильний витягнутий прямокутник.	10,5 га; лісостан є частиною ялинового пралісу разом з вид. 6 площею 9,5 га із загальною площею 20,0 га. Форма ділянки близька до прямокутної.
Висота н.р.м., м	т. №1: 1463 т. №2: 1425 т. №3: 1430 т. №4: 1455	т. №1: 1484 т. №2: 1483 т. №3: 1466 т. №4: 1468	т. №1: 1420 т. №2: 1423 т. №3: 1400 т. №4: 1393
Антропогенний вплив	Сліди рубок, випасання худоби, заготівлі недеревної продукції лісу, сліди іншої господарської діяльності, сліди від багать, влаштування наметів повністю відсутні. Також відсутня задокументована інформація щодо наявності колишньої лісоексплуатаційної інфраструктури та ведення господарської діяльності в минулому. Лісостани функціонували і продовжують функціонувати за відсутності впливу людської діяльності.		
	Вище по схилу (~ 200 м) розташована полонина Балясинів, яка припинила функціонувати на початку 2000-их років. Між полониною і ділянкою пралісу росте молодий ялиник. Будь-які сліди минулої присутності на ділянці свійських тварин відсутні.	Ділянка характеризується дуже складною транспортною доступністю, внаслідок чого ялиновий праліс зберігся в первозданному стані. Будь-які сліди антропогенної дії відсутні.	По краю площі пралісу проходить туристична стежка. Верхня частина виділу межує з альпійськими луками. Проте сліди будь-якої господарської діяльності відсутні, насамперед, внаслідок дуже високої стрімкості ділянки (35-50° і навіть більше).

Для оцінювання успішності природного поновлення у смерекових пралісах використано діючі «Нормативи інвентаризації та атестації лісових культур і природного поновлення» (Інструкція..., 2010). При цьому, якщо кількість підросту *Picea abies* на 1 га становила 12,1 тис. шт.·га⁻¹ і більше, стан природного поновлення оцінювали як добрий (1 клас якості); 8,1-12,0 тис. шт.·га⁻¹ – добрий (2 клас якості); 6,1-8,0 тис. шт.·га⁻¹ – задовільний (3 клас якості); 6,0 тис. шт.·га⁻¹ і менше – незадовільний стан.

Всього у смерекових пралісах було закладено три пробні площі по 5069 м² кожна. В їхніх межах було закладено 75 облікових площадок (по 25 на кожній пробній площі) для обліку підросту під наметом смерекових пралісів. Окрім цього, для безпосереднього обліку підросту за висотними групами було закладено 225 кругових проб (по три в межах кожної облікової площадки).

Результати (Results).

У досліджених смерекових пралісах деревостани характеризуються наявністю дерев різних вікових груп, значною їхньою мінливістю за діаметром і висотою, наявністю лежачої деревини усіх стадій розкладання, насамперед, III і IV стадій, присутністю дерев на межі фізіологічного розвитку та сухостійних дерев різної висоти і діаметра (Дебринюк та ін., 2025). Досліджені лісостани віднесено до формації

ялини європейської (*Piceetae abietae*) субформації чистих ялинових лісів (*Piceeta*) (Голубець, 1978). Лісівничо-таксаційна характеристика досліджених смерекових пралісових лісостанів представлена в табл. 2.

Видовий склад трав'яного вкриття доволі різноманітний. Для всіх трьох ділянок пралісових угруповань характерними є безщитник жіночий (*Athyrium filix-femina* (L.) Roth), чорниця звичайна (*Vaccinium myrtillus* L.), квасениця звичайна (*Oxalis acetosella* L.) та ожика лісова (*Luzula sylvatica* (Huds.) Gaudin).

Ділянка деревостану, у межах якої закладено **пробну площі №12**, знаходиться у *фазі старіння*. Лісостан 170-річного віку характеризується наявністю значної кількості старих великих дерев у першому ярусі. У деревостані спостережено початок процесу випадання окремих дерев через вікове ослаблення, появи прогалів. Фазу розвитку, в якій знаходиться лісостан, можна ідентифікувати як *ранню фазу старіння*, яку у свій час було виділено Leibundgut (1993). У цій фазі деревостан нагромаджує максимальний запас деревини. Тип лісу на ділянці можна охарактеризувати як сируватий підтип вологої високогірної сушмеречини внаслідок виходу на поверхню численних підземних джерел. Проте через значну стрімкість схилу перезволоження площі відсутнє.

Таблиця 2. Лісівничо-таксаційна характеристика пралісових смерекових лісостанів у лісовому фонді Чивчинського та Прикордонного ПНДВ

Table 2. Forest-Mensuration Indicators of Primary Spruce Stands in the Forest Fund of the Chyvchynske and Prykordonne Nature Conservation Research Departments

N, шт./га		H, м		D, см		G, м ² ·га ⁻¹		M, м ³ ·га ⁻¹	
живі	сухі	живі	сухі	живі	сухі	живі	сухі	живі	сухі
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ПП №12; Чивчинське ПНДВ; кв. 20, вид. 26; 170 р.; 10См; С ⁴ ₃ -См; 1425-1463 м н.р.м.									
I ярус									
211	10	32,4	31,2	49,6	43,4	42,21	1,48	538	19
II ярус									
33	8	23,6	22	27,2	24,3	2,01	0,39	21	4
III ярус									
93	10	8,1	8,6	11,7	12,4	1,15	0,22	5	1
ПП №13; Прикордонне ПНДВ; кв. 19, вид. 43; 180 р.; 10См; С ₃ -См; 1466-1484 м н.р.м.									
I ярус									
153	41	29,9	29,8	50,9	50,9	33,45	8,57	391	105
II ярус									
61	32	18,9	17,3	26,7	23	3,46	1,74	30	13
III ярус									
49	38	9,6	10,9	11,2	12,6	0,58	0,51	3	3
ПП №14; Чивчинське ПНДВ; кв. 23, вид. 7; 170 р.; 10См; С ^d ₃ -См; 1393-1420 м н.р.м.									
I ярус									
166	20	34,3	34,6	52,8	54,6	37,50	4,83	513	64
II ярус									
18	10	22,2	19,5	26,8	22,8	1,02	0,46	10	4
III ярус									
55	18	9,3	11,5	10,8	13,1	0,60	0,33	3	2

Деревостан відзначається добрим санітарним станом. Вірогідно, доволі висока біотична стійкість деревостану пояснюється саме достатньою кількістю вологи. На ділянці наявні як старі дерева діаметром понад 70 см у першому ярусі, так і молоде покоління лісу, яке утворює третій ярус. У межах цілого виділу сухостійних дерев поки-що небагато, вони трапляються поодинокі або невеличкими групами. Деревостан характеризується середньою зімкнутістю, наявні вікна і прогалини повністю зайняті підростом.

За результатами досліджень, розмах таксаційних показників дерев дуже високий – як за діаметром (від 8 до 74 см), так і за висотою (від 8,1 до 32,4 м). Перший ярус деревостану характеризується доволі високим запасом живих дерев – $538 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, тоді як запас сухостійних екземплярів становить лише 3,5% від деревного запасу першого ярусу (див. табл. 2). На пробній площі обліковано лише п'ять сухих дерев діаметром від 36 до 54 см.

Кількість дерев другого ярусу більш ніж у шість разів менша порівняно з першим, а запас живих дерев менший у 25 разів. Якщо загальний запас деревостану першого ярусу становить $557 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, то запас другого – лише $25 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. При цьому середня висота другого ярусу на 27% менша, ніж першого, а середній діаметр живих дерев майже в два рази менший. Найбільша кількість живих дерев другого ярусу за товщиною зосереджено в діапазоні 29-31 см.

Третій ярус представлений молодим поколінням з середньою висотою 8,1 м. Кількість ростучих дерев доволі висока (93 шт./га), тоді як сухостійних обліковано лише 10 шт./га. Діаметр живих дерев змінюється в межах 8-18 см, сухостійних – 8-15 см. Хоча запас деревини третього ярусу невеликий ($6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), але значна кількість ростучих дерев третього ярусу формує дуже важливу частину пралісового угруповання.

Загальний запас стовбурової деревини на ПП №12 становить $588 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, з якої лише 4% або $24 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ посідає сухостійна деревина. Тобто, знаходячись у фазі раннього старіння, ялиновий праліс нагромаджує максимальні запаси ростучої деревини за наявності незначних обсягів сухою. Початок відмирання дерев зумовлює покращення світлового режиму, що, своєю чергою, активізує процес природного поновлення у вікнах, які утворюються в осередках всохлих дерев.

У зв'язку з сируватим підтипом лісорослинних умов, на ділянці присутня гігрофітна рослинність. Найінтенсивніший розвиток трав'яного вкриття виявлено на прогалинах. Окрім трав'яних видів, характерних

для всіх ділянок, на ПП-12 спостережено аконіт молдавський (*Aconitum moldavicum* Насц.), гадючник в'язолистий (*Filipendula ulmaria* (L.) Maxim.), жовтозілля гайове (*Senecio nemorensis* L.), молочай мигдалеподібний (*Euphorbia amygdaloides* L.), нечуй-вітер муровий (*Hieracium murorum* L.), осот оманolistий (*Cirsium helenioides* (L.) Hill), підбілик альпійський (*Homogyne alpina* (L.) Cass.), сугайник австрійський (*Doronicum austriacum* Jacq.), тирлич ваточниковий (*Gentiana asclepiadea* L.), ціцербіта альпійська (*Adenostyles alliariae* (Gouan) A.Kern.), щитник австрійський (*Dryopteris dilatata* subsp. *dilatata* (Hoffm.) A.Gray), щитник шартрський, (*Dryopteris carthusiana* (Vill.) H.P.Fuchs). Частка проективного вкриття становить 50-60%.

Ділянка пралісового лісостану, у межах якої закладено **пробну площу №13**, перебуває у фазі прогресуючого всихання, де майже третина деревостану представлена сухостійними екземплярами. Спостережено масове відмирання дерев найбільшого віку, внаслідок чого сформувалися значні за площею прогалини зі щільним трав'яним покривом. В основному прогалини утворені внаслідок випадання дерев, які досягли межі фізіологічного розвитку, що підтверджується наявністю у деревостані сухою діаметром 65-74 см. Відмирання дерев зумовлює покращення світлового режиму, що активізує процес природного поновлення, внаслідок чого складаються сприятливі умови для відновлення пралісового угруповання. У деревостані існує поєднання молодого покоління лісу із залишками старих живих дерев. На площі виділу також спостережено значну кількість мертвих лежачих дерев різного ступеня розкладання.

Фаза розвитку деревостану в межах пробної площі, яка нами визначена як *фаза розпаду*, підтверджена наявністю доволі високої частки дерев на межі фізіологічного розвитку. Тип лісу ялинового пралісу можна ідентифікувати як вологу високогірну сушмеречину.

Деревостан характеризується триярусною будовою. У першому ярусі нагромаджено запас стовбурової деревини в обсязі $496 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, частка сухою в якому становить дещо більше 21%. Найбільша кількість живих дерев у першому ярусі за товщиною зосереджена у діапазоні 40-56 см. Серед 194 облікованих дерев на 1 га 41 з них представлені сухостійними екземплярами. При цьому сухостійні дерева трапляються рівномірно по всьому діапазоні товщини стовбура – від 32 до 74 см, що є прямим підтвердженням знаходження лісостану у фазі розпаду.

У другому ярусі обліковано 93 дерева, з яких живі екземпляри становлять 61 шт./га. Деревний запас другого ярусу невисокий ($43 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і складає лише 1/10 від запасу першого ярусу, але за висотою цей ярус доволі чітко вирізняється. Висота другого ярусу на 37% менша порівняно з першим.

Діаметр дерев другого ярусу змінюється в межах з 19 до 31 см. Найбільша кількість живих дерев зосереджена в діапазоні товщини стовбура 27-30 см, тоді як сухостійні екземпляри рівномірно розташовані у всьому діапазоні товщин.

Третій ярус представлений молодим поколінням дерев, запас якого становить лише $6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ при тому, що частка відмерлих дерев складає $3 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Висота третього ярусу приблизно в два рази менша, ніж другого, і становить в середньому 10-11 м (див. табл. 2).

Із загальної кількості дерев третього ярусу (87 шт./га), 38 екземплярів або 44% є сухостійними. Високий відпад пояснюється як внутрішньовидовою конкуренцією дерев за екологічні фактори, так і негативним впливом з боку трав'яного вкриття і корневих систем дерев другого і першого ярусів. Основна частка як живих, так і сухостійних дерев третього ярусу зосереджена в діапазоні товщини стовбура від 8 до 12 см.

На значних за площею прогалинах щільність трав'яного вкриття дуже висока. Домінуючим видом є ожика лісова (*Luzula sylvatica*). Окремими осередками трапляється безщитник жіночий (*Athyrium filix-femina*), вайї якого досягають довжини 1 м і навіть більше. Із інших видів спостережено безщитник розставлено-листяний (*Athyrium distentifolium* Tausch ex Opiz), блехнум колосистий (*Blechnum spicant* (L.) Sm.), щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott). Частка проективного вкриття становить 80-90%.

Отже, виходячи із лісівничо-таксаційних характеристик лісостану, на пробній площі можна підтвердити наявність *початкової фази розпаду деревостану*, оскільки частка запасу сухостійних дерев від загального запасу деревостану становить лише 22,2%, тоді як Leibundgut (1993) відзначав, що у фазі розпаду у стані прогресуючого всихання повинно знаходитись близько половини стовбурового запасу. Якщо всихання не таке сильне, то саме цю фазу Korpel (1995) вважав початковою фазою розпаду пралісового угруповання.

Лісостан на лісовій ділянці, де закладена **пробна площа №14**, за ознаками його стану доцільно віднести до *пізньої фази старіння*. За Leibundgut (1993), ця фаза передбачає

присутність значної кількості старих дерев у першому ярусі, частина з яких перебуває на межі фізіологічного розвитку. Їхній приріст різко знижується, а біотичний стан погіршується. На пробній площі наявні прогалини, які виникли внаслідок випадання як окремих дерев, так і невеликих їхніх груп внаслідок вікового старіння. У прогалинах інтенсивно розвивається як трав'яне вкриття, так і молоде покоління дерев, що також є характерною рисою цієї фази розвитку пралісу.

Ялиновий деревостан вміщає дерева різних вікових груп, як і живих, так і сухостійних. Частина дерев уражена фітопатогенами та ентомошкідниками, однак цілісність намету лісостану зберігається. Деревостан розташований на північно-східному схилі з середньою стрімкістю $30-35^\circ$, а в окремих частинах ділянки стрімкість схилу становила 50° . Водночас трапляються невеликі за розмірами плоскі ділянки. На ділянці також присутні і мертві лежачі дерева на всіх стадіях розкладання.

Найбільша частка деревини зосереджена у першому ярусі ($577 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ або 96,8%), а загальний запас деревостану ($596 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) доволі високий. Загальна частка сухостійних дерев на пробній площі становить 19,8% від фактичної кількості всіх дерев на ділянці, а запас деревини – $70 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ або 11,7% (див. табл. 2). У деревостані наявні дерева з доволі повнодеревними стовбурами, висота яких перевищує 40 м. Деревостан росте за I класом бонітету, а наявність мегатрофної трав'яної рослинності свідчить про високий потенціал типу лісу, який можна визначити як грудуватий підтип вологої високогірної сушмеречини ($\text{C}^{\text{d}}_3\text{-См}$). Лісостан можна вважати зразком пралісу, який перебуває у пізній фазі старіння.

Перший ярус характеризується високим запасом живих дерев – $513 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, і запасом сухою – $64 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ або 11,1%. Середня висота дерев як живих, так і сухостійних становить понад 34 м, середній діаметр – більше 54 см. Загальний розмах дерев за висотою та діаметром стовбура є доволі значним, відповідно, від 28 до 39 м та від 33 до 76 см.

Найбільша кількість живих дерев знаходиться у діапазоні товщини стовбура 41-63, сухою – 48-65 см. Із загальної кількості дерев першого ярусу (186 шт./га), 10,8% представлено сухостійними екземплярами. Це дерева значної висоти і діаметра, середній об'єм стовбура яких становить $3,2 \text{ м}^3$.

Живі дерева також відзначаються значним об'ємом стовбура ($3,1 \text{ м}^3$). Висота окремих дерев перевищує 40 м, а діаметр – 70 см. Незважаючи на пізню фазу старіння, в якій перебуває

досліджуваний деревостан, значна кількість живих великомірних дерев свідчить про доволі високу його біотичну стійкість.

Кількість дерев, які формують другий ярус (28 шт./га), є значно меншою, порівняно з кількістю дерев першого ярусу. Значна частка дерев (35,7%) є сухостійними. Відповідно, запас деревини другого ярусу складає всього $14 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. З них, $10 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ або 71% становлять живі дерева. Середня висота другого ярусу на 35% менша, ніж першого, а середній діаметр становить лише половину цього показника дерев першого ярусу.

Найбільша кількість живих дерев другого ярусу зосереджена у діапазоні товщини стовбура 27-30 см. Найбільшу частку сухою становлять дерева діаметром 20-24 см. На відміну від першого ярусу, загальний розмах дерев за висотою та діаметром стовбура є невеликим – від 17 до 24 м та від 20 до 30 см.

Третій ярус представлений молодим поколінням лісу, середня висота якого становить 9,3 м, а загальний запас деревини – $5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, з яких $3 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ представлено живими екземплярами. Хоча запас деревини третього ярусу незначний, його густота значно більша, ніж другого ярусу, і становить 73 шт./га, з яких 55 шт./га представлено ростучими екземплярами (див. табл. 2). Найбільша кількість живих дерев характеризуються товщиною 8-11 см з максимальним показником 18 см і висотами від 17,2 до 21,5 м.

Внаслідок багатства типу лісорослинних умов і достатнього зволоження, на прогалинах спостережено інтенсивний розвиток трав'яного вкриття, серед якого домінують *Luzula sylvatica* і кущики *Vaccinium myrtillus*. Вайї *Athyrium filix-femina* сягають довжини більше 1 метра. Із інших видів трапляються *Athyrium distentifolium*, *Homogyne alpina*, *Dryopteris dilatata*. На ділянці також виявлено осередки плауна колючого (*Lycopodium annotinum* L.), якого внесено до Червоної книги України (2009). Частка проективного вкриття становить 60-70%.

Таким чином, у досліджуваному деревостані нагромаджено відносно високий обсяг сухостійної деревини – $70 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, на відкритих ділянках спостережено інтенсивний процес природного поновлення, локально відбувається сильний розвиток трав'яного вкриття. На ділянці також присутні повалені дерева різного ступеня розкладання. Сукупність цих ознак та наявність прогалин, зумовлених випаданням найвищих дерев, підтверджують віднесення цієї ділянки пралісу до *пізньої фази старіння* (Leibundgut, 1993).

Окрім лісівничо-таксаційних характеристик пралісових лісостанів, не менш важливим

аспектом є дослідження самовідновних процесів під їхнім наметом. Вивчення природного поновлення є критично важливим, адже саме молодий підріст забезпечує безперервну зміну поколінь, замінюючи старий деревостан, що поступово відмирає.

Результати дослідження засвідчують, що самосів на досліджуваних ділянках зосереджений переважно на повалених стовбурах IV ступеня розкладання. Безпосередньо на поверхні ґрунту самосіву мало, насамперед через сильний розвиток трав'яного вкриття. Розташування самосіву дуже нерівномірне – окремими локалітетами як у добре освітлених, так і в затінених місцях по не задернілих прогалинах. Методикою не передбачено обліку самосіву у зв'язку з невисокою часткою його виживання.

Кількість підросту під наметом досліджених деревостанів відзначається значною варіабельністю. Підріст в основному розташований локально і зосереджений переважно на мертвій лежачій деревині IV ступеня розкладання. Найменше його на ПП №12 внаслідок доволі високої горизонтальної та вертикальної зімкнутості намету, наявності порівняно невеликої кількості вікон і прогалин. В окремих локалітетах зосереджена значна кількість підросту, але на більшій частині площі він відсутній. Загальна кількість підросту за обліковими площадками становить 5,12 тис. шт. на 1 га. На ділянці переважає підріст заввишки 10-39 см (1,82 тис. шт./га), що становить 35,5% від його загальної кількості (табл. 3).

Розташування підросту на ПП №12 дуже нерівномірне. Встановлені нами пікети (25 шт.) для обліку підросту на пробній площі у переважній більшості випадків потрапляли за межі осередків природного поновлення. Стан природного поновлення на ділянці оцінюється як незадовільний ($< 6,0$ тис. шт./га). Склад підросту – 10Ялс + Гор.

Підросту з механічними пошкодженнями внаслідок негативної дії абіотичних чинників (падіння гілок зі старих дерев, погодні умови) порівняно мало (близько 16%), а пошкодження підросту дикими тваринами не виявлено зовсім.

Хоча стан поновлення на ділянці незадовільний, варто відзначити загалом подібну кількість підросту за висотними групами – 1820, 1760 та 1440 шт./га (35,5; 34,4 і 28,1%). На двох інших ділянках кількість підросту більша, що пов'язано, вірогідно, з іншими фазами розвитку пралісового угруповання і, відповідно, з меншою зімкнутістю намету.

На ПП №13, як і на попередній пробі, розташування підросту нерівномірне. Наявність значних за площею прогалин сприяла

бурхливому розвитку трав'яного вкриття, що дуже ускладнило розвиток самосіву і підросту. Основна кількість підросту зосереджена на лежачих деревах IV стадії розкладання, і майже весь підріст відноситься до дрібного. Розподіл підросту за висотними групами наступний: 10-39

см – 13120, 40-129 см – 1680, 130 см і більше – 180 шт. на 1 га. Частка підросту при цьому становить, відповідно, 87,6; 11,2 та 1,2%. Склад підросту – 10Ял + Гор. Його густоту (15,12 тис. шт./га) можна оцінити, як добрий стан I класу якості.

Таблиця 3. Кількість підросту на облікових площадках кругових проб за висотними групами в смерекових пралісах НПП «Верховинський» (шт. на ПП / на 1 га)

Table 3. The number of young growth plants (advance regeneration) in the tally area of circular sample plots by height class in the spruce primeval forests of the Verkhovynskiy NNP (pcs per sample plot / per ha)

Деревна порода	Кругові проби з висотою підросту 10-39 см			Кругові проби з висотою підросту 40-129 см			Густота підросту ялини / горобини (шт./га) та успішність природного поновлення за трьома круговими пробами
	без пошкодження	з пошкодженням	пошкодження дичиною	без пошкодження	з пошкодженням	пошкодження дичиною	
ПП №12; Чивчинське ПНДВ; кв. 20, вид. 26, пл. 19,8 га; 170 р.; 10См; С ⁴ ₃ -См							
Ялина	19 / 1520	4 / 320	—	29 / 1160	12 / 480	—	4780 / 340; незадовільний стан
Горобина	1 / 80	—	—	3 / 120	—	—	
Разом	20 / 1600	4 / 320	—	32 / 1280	12 / 480	—	
ПП №13; Прикордонне ПНДВ; кв. 19, вид. 43, пл. 13,6 га; 180 р.; 10См; С ₃ -См							
Ялина	163/13040	1 / 80	—	38 / 1520	—	4 / 160	14980 / 140; добрий стан (І клас якості)
Горобина	—	—	—	—	—	—	
Разом	163/13040	1 / 80	—	38 / 1520	—	4 / 160	
ПП №14; Чивчинське ПНДВ; кв. 23, вид. 7, пл. 10,5 га; 170 р.; 10См; С ^d ₃ -См							
Ялина	120 / 9600	4 / 320	6 / 480	34 / 1360	7 / 280	7 / 280	13620 / 260; добрий стан (І клас якості)
Горобина	—	—	—	—	—	—	
Разом	120 / 9600	4 / 320	6 / 480	34 / 1360	7 / 280	7 / 280	

Примітки. *ялина / горобина; **успішність природного поновлення, тис. шт. на 1 га: < 6,0 – незадовільний стан; 6,1-8,0 – задовільний стан (III клас якості); 8,1-12,0 – добрий стан (II клас якості); 12,1 і > – добрий стан (I клас якості); ***успішність природного поновлення визначали за кількістю підросту лише Яле

Механічно пошкодженого та об'їденого дикими тваринами підросту дуже мало (0,5 та 1,1% відповідно).

Оскільки досліджуваний фрагмент ялинового пралісу знаходиться у початковій фазі розпаду, то, вірогідно, на ділянці повинен переважати великомірний підріст. Однак через сильний розвиток трав'яного вкриття на ділянці повною мірою превалює дрібний підріст, а частка великого підросту незначна.

Розподіл підросту за висотними групами на ПП №14 доволі подібний до такого на пробі №13. Його кількість на обох пробах оцінюється добрим станом I класу якості (12,1 і більше тис. шт./га). Як і раніше,

суттєва перевага належить дрібному підросту, проте великомірного підросту помітно більше. Так, кількісний розподіл підросту за висотними групами становить 10400, 1920 та 1300 шт. на 1 га або 76,4; 14,1 та 9,5%.

Порівняно з ПП №13, дещо збільшилась частка механічно пошкодженого та об'їденого дикими тваринами підросту (4,3 та 5,5%). Більшому пошкодженню підросту дикими тваринами могла сприяти невелика стрімкість ділянки.

Кількість підросту горобини звичайної на досліджених ділянках незначна (140-340 шт./га), а частка підросту деревного виду становить від 0,9 (ПП №13) до 7,1% (ПП №12).

Кількість підросту по облікових площадках за круговими пробами №3 представлена в табл. 4. Згідно з методичними положеннями, великомірний підріст обліковують за діаметром на висоті грудей з розподілом на шість груп. На всіх досліджених пробних площах кількість великомірного підросту, порівняно з висотними групами 10-39 та 40-129 см, найменша.

Найбільшу частку великого підросту виявлено на ПП №12 (1440 шт./га або 28,1%), де загальна кількість підросту найменша, а забезпечення ділянки природним поновленням

незадовільне. Відносний розподіл кількості підросту в межах шести груп в порядку збільшення діаметра доволі нерівномірний і має такий вигляд: 31,9; 22,2; 6,9; 13,9; 8,3 та 16,8%. Отже, помітну перевагу має підріст діаметром до 0,9 см та 1,0-1,9 см. Найбільший підріст, діаметр якого знаходиться в межах 5,0-5,9 см, також посідає доволі значну частку.

На ПП №12 переважає здоровий підріст (69,4%). Пошкодження підросту зумовлене наявністю як абіотичних, так і біотичних чинників.

Таблиця 4. Кількість підросту на облікових площадках кругових проб за висотними групами в смерекових пралісах НПП «Верховинський» (шт. на ПП / на 1 га)

Table 4. The amount of advance regeneration (young growth) in the tally area of circular sample plot by height class in the spruce primeval forests of the Verkhovynskiy NNP (pcs per sample plot / per ha)

Деревна порода	Кругові проби з висотою підросту 130 см і більше											
	до 0,9 см D _{1,3}		1-1,9 см D _{1,3}		2-2,9 см D _{1,3}		3-3,9 см D _{1,3}		4-4,9 см D _{1,3}		5-5,9 см D _{1,3}	
	без пош-кодж.	з пош-кодж.	без пош-кодж.	з пош-кодж.	без пош-кодж.	з пош-кодж.	без пош-кодж.	з пош-кодж.	без пош-кодж.	з пош-кодж.	без пош-кодж.	з пош-кодж.
ПП №12; Чивчинське ПНДВ; кв. 20, вид. 26, пл. 19,8 га; 170 р.; 10См; C ₃ -См												
Ялина	13/260	6/120	9/180	4/80	5/100	–	7/140	3/60	5/100	1/20	9/180	3/60
Горобина	2/40	2/40	–	3/60	–	–	–	–	–	–	–	–
Разом	15/300	8/160	9/180	7/140	5/100	–	7/140	3/60	5/100	1/20	9/180	3/60
ПП №13; Прикордонне ПНДВ; кв. 19, вид. 43, пл. 13,6 га; 180 р.; 10См; C ₃ -См												
Ялина	–	–	1/20	1/20	3/60	–	–	–	3/60	–	1/20	–
Горобина	–	7/140	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–
Разом	–	7/140	1/20	1/20	3/60	–	–	–	3/60	–	1/20	–
ПП №14; Чивчинське ПНДВ; кв. 23, вид. 7, пл. 10,5 га; 170 р.; 10См; C ₃ -См												
Ялина	10/200	4/80	6/120	6/120	11/220	2/40	10/200	1/20	6/120	2/40	7/140	–
Горобина	2/40	4/80	3/60	3/60	–	1/20	–	–	–	–	–	–
Разом	12/240	8/160	9/180	9/180	11/220	3/60	10/200	1/20	6/120	2/40	7/140	–

На ПП №13 переважає дрібний підріст, тоді як великомірного підросту дуже мало (2,1%). Тут помітну перевагу має підріст діаметром до 0,9 см (43,8%).

На ПП №14 великомірного підросту обліковано значно більше – 1560 шт./га, що становить 11,2% від загальної кількості підросту на ділянці. Спостережено чітку тенденцію до зниження відносної кількості підросту із збільшенням діаметра деревних рослин – 25,6; 23,1; 17,9; 14,1; 10,3 та 9,0%.

Розподіл підросту ялини за висотними групами доволі специфічний (рис. 2). Деревостан, який перебуває у ранній фазі

старіння (ПП №12), характеризується відносно подібним відносним розподілом підросту за трьома висотними групами з рівномірним зменшенням кількості підросту. Однак на двох інших пробних площах, де деревостани перебувають у початковій фазі розпаду (ПП №13) та пізній фазі старіння (ПП №14), однозначно превалює підріст заввишки 10-39 см. Частка підросту заввишки 40-129 см досить подібна, тоді як частка великомірного підросту сильно різниться. Отже, зі зміною фази розвитку деревостану (рання фаза старіння → пізня фаза старіння → початкова фаза розпаду)

можна відзначити певну тенденцію у розподілі підросту за висотними групами: збільшення частки дрібного (38,5; 76,4; 87,6%), зменшення частки середнього (34,3; 14,1; 11,2%) та великомірного (27,2; 9,5; 1,2%) підросту.

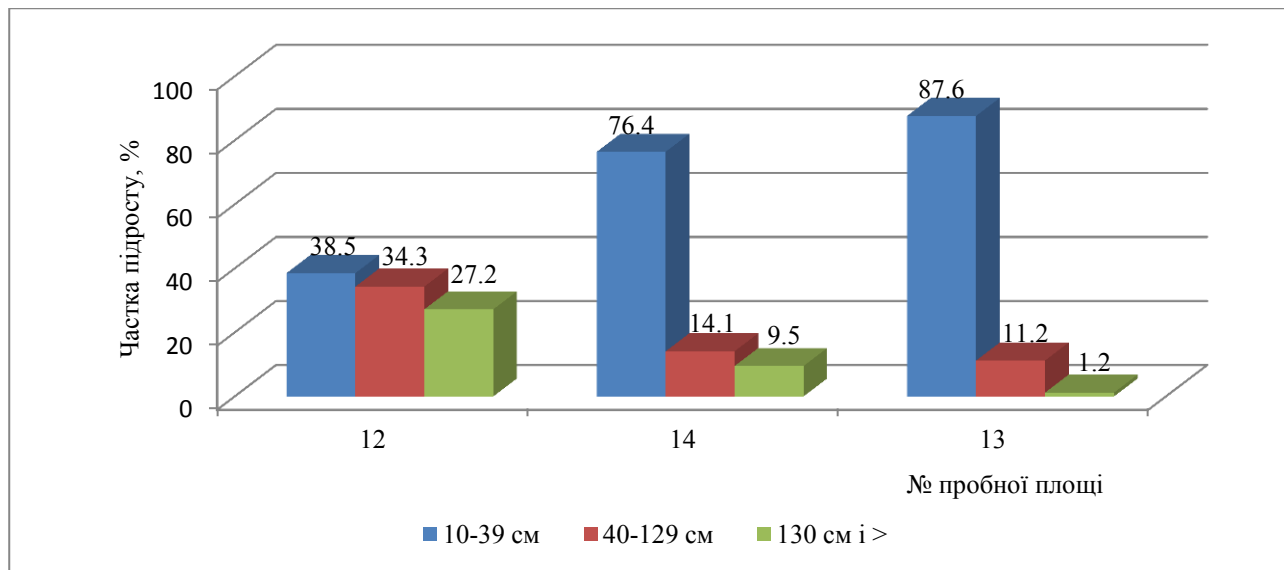


Рис. 2. Розподіл підросту *Picea abies* за висотними групами
Fig. 2. Distribution of *Picea abies* advance regeneration (young growth) by height class

Загалом аналіз розподілу поновлення ялини за висотними групами під наметом смерекових пралісів, які перебувають на різних фазах розвитку, показав перевагу дрібного підросту (10-39 см).

Дискусія (Discussion).

У високогір'ї Українських Карпат на території НПП «Верховинський» сформувалися клімаксові угруповання *Picea abies* (L.) Karst., які адаптувалися до високогірних умов і досягли стану стійкої рівноваги. Упродовж майже двохсот років тут встановився завершений етап розвитку рослинного покриву, який перебуває у постійній, але збалансованій взаємодії з навколишнім середовищем. У результаті структура і видовий склад цих угруповань залишаються майже незмінними протягом тривалого часу.

За даними Шпарика та ін. (2021) старовікові ліси Карпатського НПП представлені переважно корінними триярусними смерековими деревостанами низької повноти і продуктивності. Досліджені нами пралісові лісостани також характеризуються триярусною будовою, а найвищий запас деревини зосереджений у першому ярусі. Запас деревостану ярусів II і III доволі низький, ярус II є слабо вираженим, однак повнота кожного ярусу є не меншою, ніж 0,3. Різниця між середніми висотами ярусів складає помітно більше, ніж 20%, а середня висота нижнього

(третього) ярусу становить більше $\frac{1}{4}$ висоти основного (першого) ярусу.

З іншого боку, продуктивність пралісових ялинових деревостанів є доволі високою, запас стовбурової деревини змінюється в межах 545-596 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, серед якої запас рстучої частини деревостану становить 424-564 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Запас деревини залежить, насамперед, від повноти деревостану, яка, своєю чергою, визначається фазою розвитку пралісового угруповання. Так, найнижчий запас рстучих дерев зафіксовано на ПП №13, де деревостан перебуває на початковій фазі розпаду, а найвищий – на ПП №12 (рання фаза старіння деревостану).

Процеси старіння і розпаду є характерними для будь-якої живої природної екосистеми, а їхнім продовженням є настання процесів відновлення (Korpel, 1995). Для пралісових угруповань процеси старіння і розпаду деревостану є своєрідним стимулятором запускання відновних процесів у природній екосистемі. У цьому аспекті розвиток підросту під наметом смерекових пралісових угруповань сприяють формуванню різновікової просторової структури лісостанів, яка підвищує стійкість пралісових екосистем до кліматичних змін, біотичних ушкоджень та стихійних чинників. У смерекових пралісах природне поновлення є основним регулятором їхньої горизонтальної та вертикальної структури, визначаючи формування мозаїчних

мікробіотопів і параметрів біорізноманіття (Shukla et al., 2019; Дебринюк, 2011; Шпарик та ін., 2020).

Процес природного поновлення досить повно вивчено у букових пралісах Українських Карпат (Commarmot, et al., 2013; Манько та ін., 2019; Парпан, Стойко, 1999 та ін.). На відміну від букових, особливості природного поновлення у карпатських смерекових пралісах вивчено недостатньо. Ситуація пояснюється тим, що букові праліси внесено у світову спадщину ЮНЕСКО, і тому існує підвищена цікавість до їх вивчення, тоді як смерекові пралісові угруповання займають меншу територію і тому є менш відомими.

За результатами досліджень природного поновлення (Чорній, Шпарик, 2025; Шпарик та ін., 2021), під старовіковими смерековими лісостанами формується достатня кількість підросту для наступного успішного природного відновлення деревостанів. Поряд з цим варто зауважити, що густина підросту залежить, насамперед, від фази розвитку лісостану (Дебринюк та ін., 2025). Так, під наметом деревостанів, які знаходяться у пізній фазі старіння (ПП №14) та початковій фазі розпаду (ПП №13) природне поновлення характеризується добрим станом (15,0 та 13,6 тис. шт./га відповідно). Під наметом деревостану, який знаходиться у ранній фазі старіння (ПП №12), природне поновлення характеризується як незадовільне (4,8 тис. шт./га). Отже, густина підросту не завжди є достатньою, а залежить від фази розвитку деревостану, яка виявляє вплив на розвиток поновлення через зімкнутість намету, інтенсивність освітленості поверхні ґрунту та розвиток трав'яного вкриття.

Кількість підросту за висотними групами на чотирьох об'єктах моніторингу відповідає класичному для пралісів розподілу – переважає дрібний (10-30) і середній (30-130) підріст, а кількість великого (130-300) і дуже великого (вище 300 см) підросту незначна (Шпарик та ін., 2021). Незважаючи на відмінності у використанні методики щодо виділення висотних груп підросту, отримані нами дані засвідчують, що розподіл частки підросту за висотними групами доцільно ув'язувати з фазою розвитку пралісового угруповання: якщо у ранній фазі старіння частка дрібного підросту становить 38,5, то у пізній фазі старіння – 76,4, а в початковій фазі розпаду – вже 87,6%.

За результатами наших попередніх досліджень на прикладі шести пробних площ (Дебринюк та ін., 2025) було зроблено припущення, що зміна співвідношення висотних груп підросту є певним індикатором

життєвого циклу смерекового пралісу. Так, переважання дрібного підросту (10-39 см) свідчить про настання оптимальної фази розвитку, а рівномірне представлення середнього (40-129 см) та великого (130 см і більше) підросту з одночасним зменшенням частки дрібного – про настання фази розпаду.

Отримані нами дані з кількості підросту на трьох пробних площах не повною мірою співпадають з попередньо отриманими даними: найбільшу кількість дрібного підросту зафіксовано саме під наметом деревостану, який знаходиться у фазі розпаду, тоді як у попередньому випадку частка дрібного підросту у деревостані, що перебував у стані розпаду, була найменшою. Таке неспівпадіння може бути зумовлене різною інтенсивністю розвитку трав'яного вкриття на ділянках: подібна фаза розвитку деревостану та розподіл підросту за висотними групами, а також і сама кількість підросту не завжди корелюють між собою.

Низький рівень освітленості під наметом букових пралісів і наявність товстого шару підстилки не сприяють розвитку трав'яного вкриття, флористичний склад якого є доволі бідним (Устименко та ін., 2012). На відміну від букових, у смерекових пралісах добре розвинуте трав'яне вкриття, чому сприяє нерівномірне змикання крон дерев, особливо у фазах старіння та розпаду. Спостережено цікаву тенденцію між зміною кількості підросту та часткою трав'яного вкриття на ділянці. Так, на ПП №12 (рання фаза старіння) частка проективного вкриття становить 50-60% за густоти підросту 5,1 тис. шт./га; на ПП №14 (пізня фаза старіння) частка проективного вкриття становить 60-70% за густоти підросту 13,9 тис. шт./га; на ПП №13 (початкова фаза розпаду) частка проективного вкриття становить 80-90% за густоти підросту 15,1 тис. шт./га. Тобто, зі збільшенням віку деревостану і прямуванням його до фази розпаду зімкнутість крон зменшується, зростає проективне вкриття ділянок з одночасним збільшенням кількості підросту. Ситуація пояснюється тим, що більша частка підросту зосереджена на повалених деревах IV стадії розкладання. Під наметом деревостанів, які перебувають у фазі розпаду, повалених дерев із найвищим ступенем розкладання найбільше, і вони є місцем розвитку максимальної кількості підросту.

Смерекові праліси Українських Карпат становлять неповторний природний комплекс, який на сьогодні залишається недостатньо оціненим і водночас зазнає реальної загрози з

боку антропогенного тиску та кліматичних змін. Попри наявність певних передумов для стриманого оптимізму (прийняття відповідних урядових постанов, розширення природоохоронних територій, громадський контроль, проведення наукових досліджень із залученням міжнародних експертів), брак ефективних практичних механізмів щодо збереження пралісів від різних корпоративних впливів (зокрема енергетики, туризму, будівництва рекреаційної інфраструктури тощо) значною мірою нівелює можливі позитивні результати таких ініціатив і може спричинити незворотню деградацію пралісових екосистем.

Сучасні дослідження лісових екосистем свідчать про важливу роль спільних мікоризних мереж у перенесенні вуглецю та поживних речовин між деревами і підростом (Simard et al., 1997; Simard et al., 2025). Такі взаємозв'язки можуть підтримувати регенерацію та стійкість лісових фітоценозів в умовах кліматичного стресу. Особливу цікавість викликає можливість поширення цього твердження на міжвидові взаємодії у високогірних умовах Чивчино-Гринявських гір (Коляджин та ін., 2017; Коляджин, Осадчук, 2024). Традиційні уявлення про конкуренцію не повною мірою пояснюють високу життєздатність підросту *Picea abies* під щільним наметом криволісся *Pinus mugo* Туґа. У суворих екотопах субальпійського поясу ценози *Pinus mugo*, як потужні едифікатори, потенційно можуть функціонувати як донори вуглецю та мінеральних сполук через спільні ектомікоризні мережі, забезпечуючи метаболічну підтримку пригніченого кліматичними стресами підросту ялини. Тому потрібні детальніші дослідження цього припущення для кращого розуміння механізмів стійкості високогірних фітоценозів на верхній межі лісу.

Висновки (Conclusions).

1. Досліджені ялинові лісостани характеризуються природним походженням, різновіковістю, наявністю дерев на межі фізіологічного розвитку, наявністю самосіву і підросту, лежачої мертвої деревини усіх стадій розкладання, відсутністю антропогенного впливу, тобто мають всі ознаки приналежності до пралісових угруповань.

2. Запас стовбурової деревини ростучих дерев на ділянці, що представляє ранню фазу старіння, становить 588, пізню фазу старіння – 596, початкову фазу розпаду – 545 м³·га⁻¹. Запас сухостою становить, відповідно, 24, 70 та 121 м³·га⁻¹. Досліджені деревостани є триярусними.

3. Кількість підросту змінюється у значних межах і залежить загалом від фази розвитку деревостану: 5,1 (рання фаза старіння), 13,9

(пізня фаза старіння), 15,1 (початкова фаза розпаду) тис. шт./га. Окрім фази розвитку деревостану, причиною значної варіабельності кількості підросту на ділянках є різна інтенсивність розвитку трав'яного вкриття, яка залежить від ступеня зімкнутості намету та інтенсивності освітлення лісової ділянки. Підріст і самосів зосереджені в основному на лежачих стовбурах IV стадії розкладання, тому від обсягу останніх значною мірою залежить успішність проходження процесу природного поновлення.

4. У зміні підросту зі зміною фази розвитку деревостану прослідковується певна тенденція. Так, у напрямі зміни фази розвитку деревостану *рання фаза старіння* → *пізня фаза старіння* → *початкова фаза розпаду* частка дрібного підросту (10-39 см) збільшується (38,5; 76,4; 87,6%), тоді як частка середнього (40-129 см) та великого (130 см і більше) підросту зменшується (відповідно, 34,3; 14,1; 11,2% та 27,2; 9,5; 1,2%).

5. Порівняння кількості підросту за висотними групами засвідчує певні фазові відмінності у розвитку пралісів. Так, деревостан, що перебуває у ранній фазі старіння, характеризується відносно подібним розподілом підросту за висотними групами (38,5; 34,3 та 27,2%). У деревостанах, що перебувають у пізній фазі старіння та початковій фазі розпаду, спостережено значну перевагу дрібного підросту (76,4 та 87,6%). Забезпеченість підростом ділянки деревостану з ранньою фазою старіння є незадовільною, тоді як деревостани у пізній фазі старіння та початковій фазі розпаду характеризуються добрим станом природного поновлення (I клас якості).

6. Поряд з підростом *Picea abies*, під наметом смерекових пралісів трапляється підріст *Sorbus aucuparia*, кількість якого незначна (140-340 шт./га) і визначається особливістю поширення деревного виду, специфікою мікрорельєфу пробної площі, розвитком трав'яного вкриття.

7. Стан ялинового підросту добрий. Частка рослин з механічними пошкодженнями (0,5-4,3%) та пошкоджених дикими тваринами (1,1-5,5%) незначна.

8. Незважаючи на негативний вплив низки абіотичних чинників, зокрема зміни клімату, можна констатувати, що під наметом смерекових пралісів НПП «Верховинський» в умовах відсутності безпосереднього антропогенного впливу відбувається інтенсивний процес природного поновлення *Picea abies*, що свідчить про саморегульованість пралісових екосистем та важливість їхнього збереження як еталонних об'єктів для лісівничої науки і практики.

Подяка (Acknowledgments).

Автори статті вдячні майстру з охорони природи Прикордонного ПНДВ Шарабуряку Івану Дмитровичу, інспекторам з охорони природо-заповідного фонду Прикордонного ПНДВ Шарабуряку Івану Юрійовичу і Дроняку Василю Васильовичу за їхню вагому допомогу у проведенні польових досліджень. Автори статті також висловлюють вдячність доктору

біологічних наук, професору НЛТУ України Сороці Мирославі Іванівні за допомогу у визначенні видового складу трав'яного та мохового вкриття.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Cannone, N., Sgrobat, S., & Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology and the Environment*, 5(7), 360–364. [https://doi.org/10.1890/1540-9295\(2007\)5\[360:UOCCO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[360:UOCCO]2.0.CO;2)
- Chornij, M., & Shparyk, Y. (2025). Primeval and quasi-primeval forests of the Carpathian National Nature Park: diversity, dynamics, management. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 28, 99–111. <https://doi.org/10.15421/412508> [Чорній, М.С., Шпарик, Ю. С. (2025). Праліси і квазіпраліси Карпатського національного природного парку: різноманіття, динаміка, менеджмент. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 28, 99–111] (in Ukrainian)
- Commarmot, B., Brändli, U.-B., Hamor, F., & Lavnyy, V. (2013). *Inventory of the largest primeval beech forest in Europe*. WSL, Birmensdorf, 69. https://www.researchgate.net/publication/329019447_Inventory_of_the_largest_primeval_beech_forest_in_Europe_A_Swiss-Ukrainian_scientific_adventure
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Dieback of the spruce forests: causes and onsequences. *Scientifi Bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 21(16), 32–38. http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_16/index21_16.htm [Дебрінюк, Ю. М. (2011). Відмирання ялинових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету*, 21(16), 32–38] (in Ukrainian)
- Debryniuk, V., Nechai, M., Koliadzhyn, I., Lavnyy, V., Soroka, M., & Debryniuk, Iu. (2026). Structural and mensurational characteristics of spruce stands in primeval forest communities of the Verkhovynskyi National Nature Park. *Forestry and Forest Melioration*, 148, 14–27. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.148.2026.14> [Дебрінюк, В. Ю., Нечай М. М., Коляджин, І. І., Лавний, В. В., Сорока, М. І., Дебрінюк, Ю. М. (2026). Структурно-таксаційна характеристика ялинових лісостанів у пралісових угрупованнях НПП «Верховинський». *Лісівництво і агролісомеліорація*, 148, 14–27.]
- Didukh, J. P., Chorney, I. I., & Budzhak, V. V. (2016). *Climatogenic changes in the plant world of the Ukrainian Carpathians*. Chernivtsi: Druk art [Дідух, Я. П., Чорней, І. І., Буджак, В. В. (2016). *Кліматогенні зміни в рослинному світі Українських Карпат*. Чернівці: Друк арт. 280 с.] (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 [Плющі пробні лісовпорядні. Метод закладання. (2006). СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України] (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., Покинчереда, В. Ф., Сухарюк, Д. Д., Бундзяк, Й. Й., Беркела, Ю. Ю., ... Кабаль, М. В. (2008). *Праліси Закарпаття. Інвентаризація та менеджмент*. Рахів: Карпатський біосферний заповідник. 86 с.] (in Ukrainian)
- Golubets, M. A. (1978). *Spruce forests of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv: Scientific thought [Голубец, М. А. (1978). *Ельники Українських Карпат*. Київ: Наукова думка. 262 с.] (in Russian)
- Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of forestry objects (2010). Kyiv: State Committee of the State Forest Service of Ukraine. 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)
- Janda, P., Svoboda, M., Bače, R., Čada, V., Lynn, J., & Peck, E. (2014). Three hundred years of spatio-temporal development in a primary mountain Norway spruce stand in the Bohemian Forest, central Europe. *Forest Ecology and Management*, 330(15), 304–311. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.041>
- Jump, A. S., Hunt, J. M., & Peñuelas, J. (2006). Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology*, 12, 2163–2174. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2006.01250.x>
- Kalutsky, I. F., & Oliynyk, V. S. (2007). *Natural disturbance in the mountain and forest conditions of the Ukrainian Carpathians (windthrow, floods, soil erosion)*. Lviv: Kamula [Калущкий, І. Ф., Олійник, В. С. (2007). *Стійкі явища в гірсько-лісових умовах Українських Карпат (вітровали, наводки, ерозія ґрунту)*. Львів: Камула. 240 с.] (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 Natrional 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., Zytenyuk, 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)*
- Korpel, S. (1995). *The virgin forests of the Western Carpathians*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag [Korpel, S. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Stuttgart: Gustav Fischer Verlag. 310 s.] (in German)
- Leibundgut, H. (1993). *European primeval forests: A guide to near-natural forestry*. Bern; Stuttgart; Vienna: Haupt. https://books.google.com.ua/books/about/Europ%C3%A4ische_Urw%C3%A4lder.html?id=tPV7PQAACAAJ&redir_esc=y [Leibudgut, H. (1993). *Europäische Urwälder: Wegweiser zur naturnahen Waldwirtschaft*. Bern; Stuttgart; Wien: Haupt. ISBN 3-258-04713-8] (in German)
- 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)
- Myklush, S. I., Debrynyuk, Y. M., Zayachuk, V. Ya., Kramarets, V. O., Krynytskyi, H. T., Mazepa, V. G., ... Chaskovskyi, O. G. (2022). *Fundamentals of forestry*. Lviv: Galician Publishing Union. ISBN 978-617-8092-42-9. https://manusbook.com/9097_Basics_Forestry/index.html [Основи лісогосподарювання / С. І. Миклуш, Ю. М. Дебринюк, В. Я. Заячук, В. О. Крамарець, Г. Т. Криницький, В. Г. Мазепа, О. Б. Михайлів, Л. С. Осадчук, М. І. Сорока, О. Г. Часковський; за ред. проф. Ю.М. Дебринюка. Львів: Галицька видавнича спілка, 2022. 824 с.] (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 народознавства НАН України*, 4, 81–86] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. S., Krynytskyi, H. T., & Debryniuk, Iu. M. (2020). Trends of dynamics in the site conditions types and species composition of the forest stands in the Ukrainian Carpathians caused by climate changes. *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. 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. С., Вітер, Р. І., Шпарик, В. Ю. (2020). Структурні зміни букового (*Fagus sylvatica* L.) пралісу в контексті кліматично орієнтованого лісівництва. *Український журнал лісівництва та деревинознавства*, 11(1), 87–97] (in Ukrainian)
- Shukla, P. R., Skea, J., Slade, R., van Diemen, R., Haughey, E., Malley, J., Pathak, M., Portugal Pereira, J. (eds.), (2019). *Technical Summary. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/03_Technical-Summary-TS.pdf
- Simard, S. W., Perry, D. A., Jones, M. D., Myrold, D. D., Durall, D. M., & Molina, R. (1997). Net transfer of

- carbon between ectomycorrhizal tree species in the field. *Nature*, 388, 579–582. <https://doi.org/10.1038/41557>
- Simard, S. W., Ryan, T. L., & Perry, D. A. (2025). Opinion: Response to questions about common mycorrhizal networks. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1512518. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1512518>
- Stillhard, J., Murzynowska, I., Projer, G., Tellenbach, C., Hobi, M., Bugmann, H., & Brang, P. (2023). *Sample Plot Inventory in Swiss Natural Forest Reserves – Manual of the Field Survey*. Version 4.2.0. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL, Birmensdorf
- 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. <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 багатоганне значення та охорона. *Лісівнича академія наук України: Наукові праці*, 1, 27–31] (in Ukrainian)
- Štefan, K. (1995). *The primeval forests of the Western Carpathians*. Stuttgart; Jena; New York: G. Fischer. ISBN 3-437-30702-9 [Štefan, K. (1995). *Die Urwälder der Westkarpaten*. Stuttgart; Jena; New York: G. Fischer] (in German)
- Ustyomenko, P. M., Dubyna, D. V., Ziman, S. M., Tjukh, Y. Y., & Derbak, M. Y. (2012). Primeval beech forests in the territory of the Synevir National Nature Park: state and prospects. *Black Sea Botanical Journal*, 8(4), 354–361. https://geobot.org.ua/files/publication/466/chbj_2012_8_4_3.pdf [Устименко, П. М., Дубина, Д. В., Зиман, С. М., Тюх, Ю. Ю., Дербак, М. Ю. (2012). Букові праліси національного природного парку «Синевир»: стан та перспективи. *Чорноморський ботанічний журнал*, 8(4), 354–361] (in Ukrainian)

Structure and Features of Natural Regeneration of *Picea abies* (L.) Karst. in the Primeval Forest Communities of the Verkhovynskyi National Nature Park

V. Debryniuk¹, M. Nechai², I. Koliadzhyn³, V. Lavnyy⁴, Iu. Debryniuk⁵

The study sites are located within the forest lands of the Verkhovynskyi National Nature Park, namely, in two nature conservation research departments (NPRDs): Prykordonne and Chyvchynske. These forest stands are among the most remote in the Ukrainian Carpathians, occupying topographically complex terrains along the state border between Ukraine and Romania. The study aimed to assess natural advance regeneration by height class in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) primeval forests in order to determine the

intensity of the natural regeneration process depending on the developmental phases of the primeval forest community.

The investigated spruce primeval forest communities are composed of the native species *Picea abies* (L.) Karst. and are characterized by pure species composition, natural origin, and an uneven-aged stand structure, as well as the presence of trees approaching the limit of their physiological lifespan. These stands also feature abundant advance regeneration (seedlings and

¹ *Vasyl Debryniuk* – PhD 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 *Mykhailo Nechai* – Director of the National Nature Park “Verkhovynskyi”, the village of Verkhniy Yaseniv, Verkhovyna district, Ivano-Frankivsk region, 78712, Ukraine. E-mail: nppverhovyna@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4479-2307>

³ *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>

⁴ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Vice-Rector for Research, 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.

⁵ *Iurii Debryniuk* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the FASU, Doctor of Agricultural Sciences, Professor at the Department of Forest Cultures and Forest Tree-breeding, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynkа St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

saplings), downed deadwood (coarse woody debris) at all stages of decomposition, and a complete absence of anthropogenic impact.

The stemwood volume of living trees in the plot representing the early ageing phase is $588 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, while in the late ageing and initial decay phases, it is 596 and $545 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively. The volume of standing deadwood (snags) amounts to 24, 70, and $121 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, respectively. The investigated forest stands exhibit a three-storeyed structure.

The abundance of advance regeneration (young growth) varies significantly and is dependent on the developmental phase of the forest stand: 5.1 (early ageing phase), 13.9 (late ageing phase), and 15.1 (initial decay phase) thousand individuals per hectare. In addition to the developmental phase, the substantial variability in the amount of natural regeneration across the study plots is attributable to differences in the intensity of herbaceous vegetation development, which depends on the degree of canopy closure and the light intensity within the forest site. Self-sown seedlings and saplings are concentrated mainly on downed trunks in stage IV of decomposition.

A distinct trend is observed in the dynamics of advance regeneration (young growth) across the developmental phases of the forest stand. Thus, following the developmental sequence of the forest stand from the early ageing phase to the late ageing phase and then to the initial decay phase, the proportion of small-sized young growth (10-39 cm) increases (38.5%, 76.4%, and 87.6%, respectively), while the proportions of medium-sized (40-129 cm) and large-sized (130 cm and taller) young growth plants decrease (from 34.3% to 14.1% and 11.2%, and from 27.2% to 9.5% and 1.2%, respectively).

A comparison of the number of saplings across height classes reveals distinct phase-related differences in the development of primeval forests.

Thus, the forest stand in the early ageing phase is characterized by a relatively uniform distribution of young growth among height classes (38.5%, 34.3%, and 27.2%). In contrast, stands in the late ageing and initial decay phases show a significant predominance of small-sized young growth plants (76.4% and 87.6%, respectively). The advance regeneration (young growth) density in the early ageing phase plot is considered to be unsatisfactory, whereas the stands in the late ageing and initial decay phases are characterized by a successful state of natural regeneration, corresponding to Quality Class I.

Alongside the *Picea abies* young growth the presence of *Sorbus aucuparia* L. saplings is observed under the canopy of the spruce primeval forests, the amount of which is insignificant ($140\text{--}340 \text{ individuals ha}^{-1}$). This quantity is determined by the specific distribution pattern of the woody species, the microrelief features of the sample plot, and the development of the grass cover.

The condition of the Norway spruce advance regeneration is good. The proportion of plants with mechanical damage (0.5-4.3%) and those damaged by wild animals (1.1-5.5%) is insignificant.

Despite the negative impact of a number of abiotic factors, particularly climate change, it can be concluded that under the canopy of the *Picea abies* primeval forests of the Verkhovynskyi National Nature Park, an intensive process of natural regeneration is occurring in the absence of direct anthropogenic influence. This evidence supports the self-regulating capacity of primeval forest ecosystems and the importance of their preservation as reference sites (benchmarks) for forest science.

Key words: forest stand; developmental phases; young growth (saplings); sample plots; circular plots; height classes; grass cover.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412605>
Article received 2025.12.16
Article revised 2026.04.03
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Lavnyy
lavnyy@gmail.com
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*2

Інтегровані методи наближеного до природи лісівництва в ялицевих лісах Українських Карпат

В.В. Лавний¹, А.П. Іванюк², О.Б. Михайлів³, Т.В. Юськевич⁴, Б.З. Нагорняк⁵,
П. Шпатгельф⁶

Висвітлено результати закладання мартелоскопа у 85-річному ялицевому деревостані вологої букової яличини Розлуцького лісництва Самбірського надлісництва ДП «Ліси України» у рамках міжнародної програми Європейського лісового інституту «Integrate+». Мартелоскоп закладено у формі квадрата площею 1 га (100 x 100 м) з поділом на чотири секції розміром 50 × 50 м.

На ділянці знаходиться 663 дерев, з них 97,6% дерев ялиці білої, 1,6% – ялини європейської і 0,8% – інші види. Деревостан відзначається високою продуктивністю (запас – 788 м³·га⁻¹, I клас бонітету, середній діаметр – 34,5 см, середня висота – 27,4 м). Розподіл за діаметром характеризується помірно правосторонньою асиметрією ($A = 0,261$) та негативним ексцесом ($E = -0,275$). Для висот зафіксовано виражену лівосторонню асиметрію ($A = -0,743$) та негативний ексцес ($E = -0,561$).

На мартелоскопі обліковано 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких

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 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>

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 Юськевич Тарас Васильович – кандидат сільськогосподарських наук, завідувач 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>

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>

встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільше дерев відмічено з ранами і наростами на стовбурі та скелетних гілках, спричинених раком ялиці (GR3).

Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить $197,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Основним депонентом вуглецю є ялиця біла, акумулюючи 99,1% від загальної маси. У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу припадає 18,1% депонованого вуглецю, а компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю.

Змодельовано і порівняно лісівничо-екологічну ефективність трьох способів проведення рубок переформування у ялицевому деревостані (групово-вибіркового, вибіркового та комбінованого) з урахуванням вимог щодо збереження біорізноманіття. Серед них найперспективнішим є комбінований спосіб. Він інтегрує одночасне створення відновлювальних «вікон» для появи самосіву і підросту тіньовитривалої ялиці білої та рівномірне розріджування прилеглих смуг деревостану.

Ключові слова: мартелоскоп; біорізноманіття; ялиця біла; лісівничо-таксаційні показники; мікрооселища; лісознавство.

Вступ (Introduction).

Ялиця біла (*Abies alba* Mill.) є одним із основних лісотвірних деревних видів Європи. Вона формує як чисті, так і мішані деревостани та росте у різноманітних природно-кліматичних умовах і є

важливим екологічним стабілізатором європейських лісів (Mauri et al., 2016). Ялицеві ліси займають площу понад 10 млн га і поширені в Європі від Піренеїв до Карпат і Балканського півострова (Bledý et al., 2024) (рис. 1).



Рис. 1. Ареал ялиці білої (Caudullo et al., 2017)

Fig. 1. Range of silver fir (Caudullo et al., 2017)

Реакція лісостанів ялиці білої на зміну клімату суттєво відрізняється залежно від регіону (Gazol et al., 2015; Mihai et al., 2021). Це переважно гірський деревний вид, який зазвичай росте на висотах від 500 до 1500 м над рівнем моря, але в окремих випадках трапляється на висотах від 300 до 2000 м (Takhtajan, 2009). Адаптаційний потенціал і динаміка радіального приросту ялицевих деревостанів в умовах периферійних або екологічно напружених лісорослинних зон значною мірою лімітуються гідротермічним режимом вегетаційного періоду (Tudoran et al., 2021).

За даними Державного агентства лісових ресурсів (2025), ялиця біла в Україні займає близько 1,4% площі всіх лісів і посідає десяте місце серед лісотвірних деревних видів. Її поширення має виражений регіональний характер із переважанням у західній частині країни в гірських умовах Карпат.

За геоботанічним районуванням Українських Карпат (Голубець, 2003) ялицеві ліси формують три субформації – передгірські дубово-буково-ялицеві, гірські буково-ялицеві та смереково-буково-ялицеві ліси.

Ялиця біла в Карпатах не формує самостій-

ного рослинного поясу, а також не утворює природних монодомінантних лісостанів. Чисті яличники, якщо трапляються, то тільки антропогенного походження, які виникли на нелісових землях або внаслідок цілеспрямованого видалення супутніх порід під час проведення рубок догляду (Генсірук, 2002).

Ялицю білу відносять до групи основних типотвірних деревних видів Українських Карпат і за площею поширення в цьому регіоні вона посідає третє місце після ялини європейської та бука лісового (Гриник, 2011). Типи лісу формує виключно в сугрудах і грудях. Оптимальними умовами зволоження для ялиці білої є вологі гіротопи, у свіжих вона трапляється рідше (Герушинський, 1996).

У зоні Українських Карпат ялицеві типи лісу розповсюджені на площі понад 250 тис. га і загалом ялиця біла формує дев'ять типів лісу. Найбільш поширеними і господарсько-цінними є вологі смереково-букові суяличини та яличини, частка яких становить близько 80% ялицевих типів лісу. Часто трапляються вологі дубово-букові суяличини і яличини (16%). Свіжі ялицеві типи лісу займають площу не більше 2% (Герушинський, 1996).

Важливо, що перебуваючи майже на східній межі ареалу поширення виду, в гірських умовах Карпат ялицеві деревостани досягають I класу бонітету, а інколи – навіть I^a та I^b класів бонітету (Гриник, 2011; Тереля, 2004).

Затверджена в Україні «Стратегія переходу до наближеного до природи лісівництва» (2025) повністю гармонізує з «Лісовою стратегією ЄС до 2030 року» (2021) і спрямована на підвищення

багатофункціональної ролі лісів щодо збереження біорізноманіття та стійкості до зміни клімату.

Одним із основних напрямів реалізації стратегії з наближеного до природи лісівництва є відмова від суцільних рубок головного користування на користь вибіркового, що забезпечить безперервність лісового вкриття, відновлення природної структури лісів, формування різновікових багатоярусних деревостанів (Krynytskyu & Lavnyu, 2024). Виконання цих завдань вимагає розробки нових підходів, які визначатимуть, як саме і з якою інтенсивністю проводити заходи з переформування лісів. Окремі дослідники (Dobrowolska et al., 2017) зазначають, що природне поновлення *Abies alba* буде мінімальним або взагалі припиниться, якщо і надалі використовувати суцільно-лісосічний спосіб рубки. Тому автори рекомендують впроваджувати наближені до природи системи лісівництва – дрібноконтурні поступові і вибіркові рубки, які зберігають необхідний для самосіву і підросту ялиці рівень затінення.

Процес переформування одновікових ялицевих деревостанів у різновікові реалізують через систему вибіркового та комбінованого рубок (рис. 2). У разі недостатності природного поновлення практикують створення піднаметових культур ялиці білої (Lavnyu et al., 2025). Успішність та просторова конфігурація природного поновлення ялиці білої під наметом мішаних деревостанів безпосередньо залежить від світлового режиму лісового середовища та наявності мікроосередків підросту (Hofmeister et al., 2008).



Рис. 2. Процес переформування одновікових ялицевих деревостанів
Fig. 2. The process of the transformation of even-aged silver fir stands

Особливу увагу потрібно приділити формуванню «вікон» для появи і розвитку підросту, площа яких не повинна перевищувати 700 м² (Tkach et al., 2023). Для стимуляції світлового режиму в прилеглих зонах навколо «вікон» доцільно проектувати зрізання смуг.

Інтенсивність першого прийому рубки переформування зазвичай не перевищує 25% за запасом, тоді як подальші прийоми рубки регламентуються величиною поточного приросту. Оптимальний інтервал повторюваності становить 5-10 років, проте за умов незадо-

вільної динаміки природного поновлення термін проведення робіт може бути скорочено.

Селекція дерев для видалення базується на принципах фітоценотичної стійкості. Першочерговому видаленню підлягають інвазійні види. Лісівничий догляд спрямований на розріджування густих біогруп для інтенсифікації розвитку крон перспективних дерев та стимуляції їхньої репродуктивної здатності (Лавний та ін., 2025a).

Ефективна трансформація структури деревостанів потребує попереднього закладання репрезентативних пробних площ (Debryniuk et al., 2025). Такий захід дає змогу здійснити комплексне оцінювання видового складу, вертикальної та горизонтальної структури деревостану, біотичної резистентності деревних видів і стану природного поновлення. Порівняльний аналіз фактичних параметрів деревостану із цільовим еталоном є основою для проектування лісівничих заходів. Використання вичерпних демонстраційних даних мартелоскопа дає змогу моделювати різноманітні сценарії проведення рубок, забезпечуючи можливість для їхнього порівняльного аналізу (Лавний та ін., 2025b).

Мета дослідження – комплексно оцінити лісівничо-таксаційну структуру та біотопний потенціал одновікового ялицевого деревостану на базі закладеного мартелоскопу в умовах вологої букової яличини для наукового обґрунтування та розроблення інтегрованих підходів і вдосконалення методичних засад проведення рубок переформування на принципах наближеного до природи лісівництва.

Для досягнення поставленої мети роботи проаналізовано просторову структуру та видовий склад досліджуваного деревостану; здійснено кількісний облік і картування біотопних дерев і наявних мікрооселищ; змодельовано і здійснено порівняння лісівничо-екологічної ефективності трьох сценаріїв рубок переформування (групово-вибіркового, вибіркового та комбінованого) з урахуванням вимог щодо збереження біорізноманіття.

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

Об'єкт дослідження – процес природного формування, просторово-таксаційна структура та біотопний потенціал 85-річного деревостану з перевагою у складі ялиці білої в умовах вологої букової яличини Розлуцького лісництва Самбірського надлісництва ДП «Ліси України».

Предмет дослідження – лісівничо-таксаційні особливості росту, диференціація дерев за ступенями товщини, кількісна та якісна структура мікрооселищ, а також характер структурно-просторових змін у деревостані за

реалізації різних сценаріїв рубок переформування.

Експериментальну пробну площу (мартелоскоп) закладено у формі квадрата площею 1 га (100 × 100 м). Географічні координати кутових точок фіксували за допомогою GPS-позиціонування. Полігон розділяли на чотири секції розміром 50 × 50 м у напрямку проти годинникової стрілки, починаючи з північно-східного кута. Геометричний центр кожної секції визначали методом трикутника.

Для забезпечення довговічності нумерації на постійній пробній площі здійснювали попередню підготовку надійної поверхні стовбурів. У дерев із грубою тріщинуватою корою верхній відлущуваний шар забирали стругом без пошкодження камбіальної зони. Стовбури з гладкою корою очищали від епіфітів металевою щіткою.

Постійне маркування наносили стійкою фарбою на висоті 1,3 м. Елементи маркування включали горизонтальну лінію завдовжки 10 см (орієнтир для вимірювання діаметра стовбура), вище якої зазначали порядковий номер дерева та індекс відповідної секції.

Суцільному обліку підлягали всі живі дерева з діаметром стовбура більше 7 см. Програма таксаційних вимірювань включала визначення діаметра стовбура на висоті 1,3 м (з точністю до 1 мм за допомогою мірної стрічки); загальної висоти дерева та висоти початку крони (з точністю до 0,1 м); просторових координат кожного стовбура. Збір просторово-геодезичних даних та вимірювання висот виконували з центру кожної секції за допомогою лазерного далекоміра-висотоміра VERTEX LASER GEO, фіксуючи координати (азимут та відстань) до кожного дерева. Карти просторового розподілу дерев формували за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення «Integrate+» (Kraus et al., 2018).

Паралельно з таксаційними вимірюваннями проводили експертно-візуальну оцінку біотопного потенціалу дерев. Ідентифікацію та класифікацію мікрооселищ здійснювали згідно з міжнародним каталогом Європейського лісового інституту (Kraus et al., 2016). Оцінювали наявність та морфологічні параметри мікроструктур, які є екологічними нішами для супутньої біоти: дупел і порожнин, механічних пошкоджень стовбура, локальних відшарувань кори, мертвих гілок у кроні, деформацій, епіфітної флори, гнізд, а також смоловиділень та нагромаджень мікрогрунту. На основі отриманих даних сформовано базу вихідних екологічних матриць для оцінювання мікросередовищ існування деревостану.

Результати досліджень (Results).

Для закладання мартелоскопа у травні 2025 р. було вибрано ділянку деревостану відповідного віку, складу і повноти у лісовому фонді Розлуцького лісництва (кв. 6, вид. 24). Мартелоскоп закладено у деревостані, що представляє зональний тип карпатських ялицевих лісів (Герушинський, 1996). За лісівничо-екологічною типологією ділянка належить до типу лісу волога букова яличина (*Dз-бкЯц*) з висотою над рівнем моря 570-590 м. Рельєф ділянки неоднорідний, схили східної та південної експозицій, ухил поверхні становить 5-10°. Ґрунти бурі гірсько-лісові суглинки середньої потужності. Основні

кліматичні характеристики району розташування ділянки такі: середньорічна температура становить 7,0 град., середньорічна кількість опадів – 870 мм, тривалість вегетаційного періоду – 192 дні.

На ділянці обліковано 663 дерева, з них 97,6% дерев ялиці білої, 1,6% – ялини європейської і 0,8% – інших деревних видів. Розташування дерев характеризується випадковим типом, горизонтальні проекції крон дерев вкривають значну частину площі, що свідчить про відсутність прогалин, які зумовлені впливом господарської діяльності. Основні лісівничо-таксаційні показники деревостану наведені в табл. 1.

Таблиця 1. Лісівничо-таксаційні показники деревостану на мартелоскопі
Table 1. Forest mensuration indicators of stand on the marteloscope

Склад деревостану	Вік, років	Клас бонітету	Елемент лісу	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Абсолют. повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Кіль- кість дерев, шт.·га ⁻¹
10Яцб + Ялє, Вбк, Бп, Гз	85	І	Ялиця біла	34,5	27,4	60,7	782	647
			Ялина європейська	27,7	21,7	0,5	6	11
			Верба козяча	10,8	7,9	—	—	3
			Береза повисла	16,0	10,8	—	—	1
			Граб звичайний	8,0	11,4	—	—	1
Разом						61,2	788	663

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Продуктивність та вертикальний розвиток панівного ярусу у вологій буковій яличині є результатом інтегральної взаємодії між лісорослинним потенціалом екотопу та міжвидовою конкуренцією всередині деревостану (Pinto et al., 2008). В умовах досліджуваного типу лісу у віці 85 років сформувався високопродуктивний деревостан I класу бонітету зі значним запасом стовбурової деревини. Варто відзначити відсутність у складі характерної домішки у цьому типі лісу – бука лісового, що може бути пов'язано з високою повнотою ялицевого деревостану. Таксаційні показники деревостану свідчать про максимальне використання лісорослинного потенціалу та високу товарну цінність стовбурової деревини. З лісівничого погляду,

такий стан деревостану підтверджує доцільність проведення рубок переформування, спрямованих на розріджування намету панівного деревного виду, деконцентрацію біогруп з метою появи підросту та стимулювання розвитку різновікової структури деревостану.

Для об'єктивного оцінювання структурно-просторової організації лісового масиву та прогнозування динаміки його розвитку в процесі переформування ключове значення має дослідження статистичних закономірностей розподілу біометричних показників дерев. Математично-статистичний аналіз розподілу за діаметром та висотою дає змогу оцінити ступінь неоднорідності деревостану і рівень його фітоцено-тичної диференціації (табл. 2).

Таблиця 2. Статистики розподілу деревостану за діаметром та висотою
Table 2. Statistics of stand diameter and height distribution

Таксаційний показник	Середнє значення	Статистичні показники							
		Ліміти		Розмах варіації	Дисперсія	Коефіцієнт варіації	Точність	Асиметрія	Екцес
		min	max						
Діаметр	31,3 ^{+0,54}	8,0	95,3	87,3	189,98 ^{+10,44}	44,0 ^{+1,21}	1,71	0,261 ^{+0,104}	-0,275 ^{+0,193}
Висота	23,9 ^{+0,29}	5,5	36,4	30,9	56,93 ^{+3,13}	31,5 ^{+0,87}	1,22	-0,743 ^{+0,107}	-0,561 ^{+0,195}

Аналіз отриманих даних свідчить про глибоку фітоценотичну диференціацію та складну просторову структуру досліджуваного деревостану: коефіцієнт варіації діаметрів дерев є дуже високим ($V = 44,0\%$), що підтверджує природне походження лісостану. Варіабельність за висотою є дещо меншою ($V = 31,5\%$), проте залишається значною. Показники точності дослідів ($P = 1,22-1,71\%$) свідчать про високу репрезентативність вибірки та достовірність отриманих результатів. Оскільки значення P є значно меншим ніж 5% , розраховані середні показники можуть вважатися надійними для подальшого аналізу та формулювання висновків.

Розподіл за діаметром характеризується помірно правосторонньою асиметрією ($A = 0,261$) та негативним ексцесом ($E = -0,275$), що вказує на розсіяний розподіл діаметрів із чисельним переважанням дерев дрібних ступенів товщини. Для висот зафіксовано виражену лівосторонню асиметрію ($A = -0,743$) та негативний ексцес ($E = -0,561$), що вказує на те, що більшість дерев зосереджено у класах з відносно значними висотами, а невелика кількість дерев має значно менші висоти порівняно зі середньою.

Виявлена структурна неоднорідність деревостану (значний розмах варіації) свідчить про його готовність до трансформації. Насадження має сформовані природні передумови для

успішного проведення рубок переформування з метою створення стійкого різновікового і багаторусного лісостану.

У контексті інтегрованого управління лісовими ресурсами та збереження біорізноманіття особливу увагу приділяють деревам-носіям спеціальних морфологічних структур – мікрооселищ (Лавний та ін., 2025а). Аналіз емпіричних даних, отриманих на базі експериментального полігону (мартелоскопу), дав можливість диференціювати кількісний та якісний склад екологічних ніш, інтегрованих у структуру ялицевого деревостану.

Детальне візуальне обстеження кожного дерева на ділянці мартелоскопу дало змогу виділити 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільше дерев відзначено з ранами та наростами на стовбурі і скелетних гілках, спричинених раком ялиці (GR3). Також обліковано доволі багато дерев з втратою кори (IN1) та зі зламаними стовбурами чи пошкодженими кронами (IN2).

Картографічна модель просторової структури ділянки демонструє дифузне і куртиноподібне розміщення дерев із мікрооселищами (рис. 3). Збереження цих екземплярів під час лісівничих втручань є фундаментальною вимогою для збереження біорізноманіття.

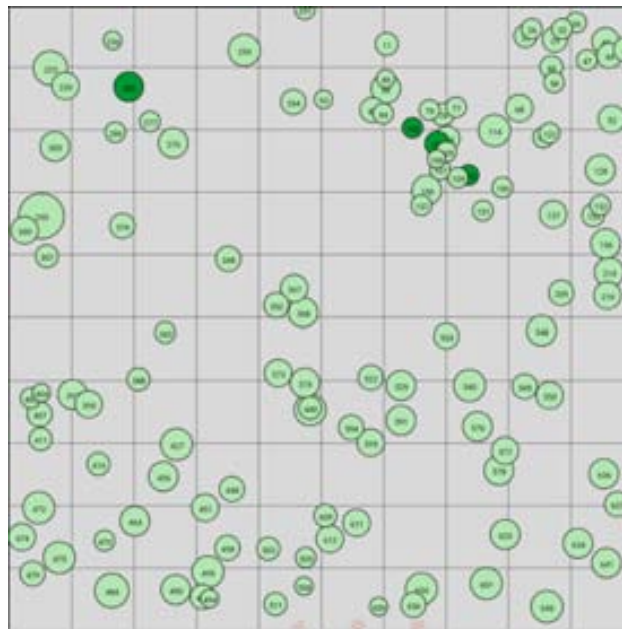


Рис. 3. Розміщення дерев з мікрооселищами на мартелескопі
Fig. 3. Location of trees with microhabitats on the marteloscope

Умовні позначення / Legend: ● *Abies alba* Mill.; ● *Picea abies* [L.] Karst.

На схемі доволі чітко виділяється локальне ядро концентрації біотопних дерев у верхній правій чверті полігону (зокрема, дерева з номерами 102, 103, 110 та суміжні з ними). Таке групування свідчить про наявність осередку

підвищеного біотопного різноманіття, який функціонує як локальний екологічний резерват всередині ялицевого деревостану.

Відповідно до результатів обліку, представлених на гістограмі розподілу мікро-

оселищ за типами, у лісостані домінують структури, пов'язані з механічними пошкод-

женнями стовбурів дерев і деструкцією деревини (рис. 4).

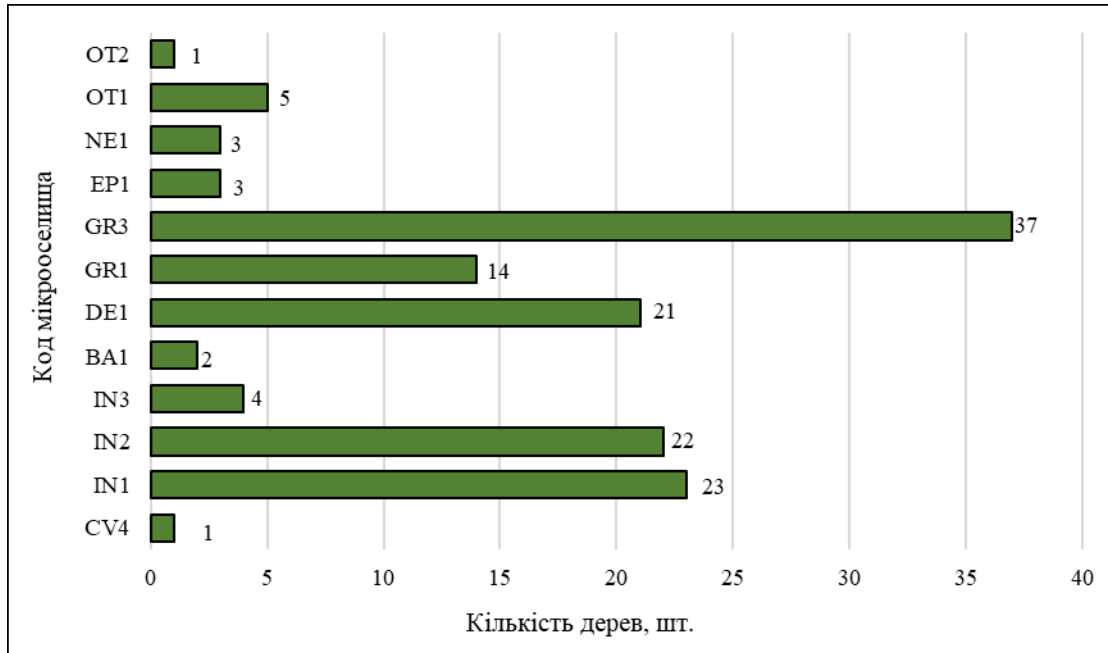


Рис. 4. Кількість дерев з мікрооселищами на мартелескопі
Fig. 4. Number of trees with microhabitats on the marteleoscope

Умовні позначення / Legend: CV4 – дендротельми і наповнені водою дупла / dendrotelms and water-filled holes; IN1 – втрати кори, відкрита заболонь / bark loss / exposed sapwood; IN2 – злами стовбура і крон, відкрита серцевина / exposed heartwood, trunk and crown breakage; IN3 – тріщини і розколювання / cracks and scars; BA1 – відмерла кора / bark pockets; DE1 – мертві гілки в кроні або відмерла верхівка / small vertebrate nest; GR1 – дупла у корневих лапах / root buttress cavities; GR3 – ракоподібні нарости / cankers and burrs, EP1 – плодові тіла грибів / fruiting bodies fungi; NE1 – гнізда дрібних хребетних тварин / small vertebrate nest; OT1 – витоки живиці і смоляні кишеньки / sap and resin run; OT2 – мікрогрунт у корі / bark microsoil.

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Абсолютним лідером за частотою трапляння є ракоподібні нарости на деревах (GR3 – 37 дерев), що вказує на специфічний фітопатологічний стан і вікову структуру популяції. Високою представленістю характеризуються також оселища, пов'язані з оголенням заболоні внаслідок втрати кори (IN1 – 23 дерева) та зламами стовбурів чи великих скелетних гілок із відкриттям серцевини (IN2 – 22 дерева). Ці структури є первинними екологічними нішами для комах-ксилофагів та початкових стадій грибної сукцесії.

Наявність мертвих гілок або суховершинності зафіксовано у 21 дерева. Цей тип мікрооселищ забезпечує кормову базу та місця для гніздування орнітофауни, зокрема дуплогнізних птахів. Дупла у корневих лапах (GR1 – 14 дерев) формують захисні притулки для дрібних ссавців та амфібій. Глибокі тріщини і розколи стовбура (IN3 – 4 дерева), а також ділянки відмерлої кори (BA1 – 2 дерева) відіграють важливу роль як місця зимівлі безхребетних видів і кажанів.

Витоки живиці та смоляні кишеньки (OT1 – 5 дерев) приваблюють спеціалізовану ентомо-

фауну. Рідкісними, але критично важливими елементами є дендротельми і наповнені водою дупла (CV4 – 1 дерево), що підтримують гідрофільні організми у лісовому середовищі, а також нагромадження мікрогрунту в тріщинах кори (OT2 – 1 дерево).

Отриманий профіль різноманіття мікрооселищ свідчить про високу екологічну цінність досліджуваної ділянки. Переважання пошкоджень стовбурової частини (IN1, IN2) та наростів (GR3), поряд із наявністю великої кількості відмерлих гілок (DE1), вказує на проходження ялицевим деревостаном стадії природного старіння та диференціації.

Збереження виявленого спектра мікрооселищ у процесі лісгосподарської діяльності дасть змогу поєднати лісівничо-економічні цілі з охороною біологічного різноманіття.

Екологічне значення ялицевих деревостанів визначається не лише їхньою здатністю забезпечувати формування різноманітних мікрооселищ та підтримувати високий рівень біорізноманіття, але й важливою роллю у депонуванні вуглецю. Завдяки значним запасам фітомаси і тривалому нагромадженню органічної

речовини такі ліси виконують функцію довготривалих резервуарів вуглецю, сприяючи зменшенню концентрації парникових газів в атмосфері. У сучасних умовах зміни клімату та глобального потепління ялицеві ліси набувають особливого значення як важливий компонент регулювання кліматичних процесів і підтримання екологічної стійкості лісових екосистем. Моделювання процесів депонування органічного вуглецю у хвойних лісах має спиратися на верифіковані алометричні рівняння надземної біомаси головних лісотвірних порід (Jagodziński et al., 2019). Просторова мінливість нагромад-

ження мортмаси та акумуляції органічного вуглецю у підстилці ялицевих лісостанів безпосередньо корелює з просторовим розміщенням крон верхнього ярусу (Penne et al., 2010).

Дослідження фітомаси та кількісне оцінювання органічного вуглецю в лісових екосистемах є важливим складником моніторингу їхньої кліматорегулювальної ролі. На основі конверсії таксаційних показників ялицевого деревостану розраховано запаси органічного вуглецю за фракційними компонентами деревостану на мартелоскопі (табл. 3).

Таблиця 3. Запаси органічного вуглецю в дослідженому деревостані, т·га⁻¹
Table 3. Organic carbon stocks in the studied stand, t·ha⁻¹

Деревний вид	Крона			Стовбур	Надземна фітомаса	Корені	Деревостан
	Хвоя (листя)	Гілки	Разом				
Ялиця біла	11,717	14,060	25,777	134,156	159,933	35,345	195,278
Ялина європ.	0,089	0,107	0,196	1,019	1,215	0,269	1,484
Інші	0,018	0,022	0,041	0,212	0,252	0,056	0,308
Разом	11,824	14,189	26,013	135,387	161,400	35,670	197,070

Джерело: результати власних наукових досліджень авторів

Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить 197,1 т·га⁻¹. Головний лісотвірний деревний вид – ялиця біла відіграє роль основного депоненту вуглецю, акумулюючи 99,1% від загальної маси. У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу (корені) припадає 18,1% депонованого вуглецю, що підтверджує потужний розвиток кореневих систем ялиці білої в цих лісорослинних умовах. Компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю, причому всередині самої крони спостережено відносний паритет між масою скелетних гілок та асиміляційним апаратом.

Досліджуваний ялицевий деревостан має надзвичайно високий екологічний потенціал за рахунок депонування значних обсягів вуглецю. Проектування рубок переформування за комбінованим або групово-вибірковим способом дасть можливість зберегти стабільність цього екологічного чинника, вилучаючи лише незначну частку фітомаси, та водночас створюватиме умови для підвищення асиміляційної здатності майбутнього різновікового ялицевого деревостану.

Дискусія (Discussion).

Перехід до наближеного до природи

лісівництва передбачає відмову від суцільнолісососічних систем на користь вибіркового рубок з метою формування різновікових, багатоярусних та біотично стійких деревостанів. Важливим інструментом для моделювання таких лісогосподарських заходів та оцінювання їхніх наслідків є мартелоскопі (Лавний та ін., 2025б). Моделювання динаміки розвитку біогруп у ялицевих деревостанах Карпатського регіону повинно враховувати специфіку міжвидової конкуренції та відмінності в екологічних реакціях дерев на глобальні кліматичні зміни (Bošela et al., 2018). На основі аналізу структурно-просторових моделей експериментального полігону у ялицевому деревостані обґрунтовано три потенційні сценарії лісівничого втручання. Згідно з таксаційними даними розподілу дерев за ступенями товщини та об'ємом, досліджуваний лісостан представлений практично чистим деревостаном ялиці білої, частка якої за запасом становить 99,2%. Ялина європейська виступає як поодинокі домішка і становить 0,7% від загального запасу. Загальна структура деревостану на початковому етапі переформування характеризується високою повнотою та горизонтальною зімкнутістю, що обмежує світловий режим під наметом лісу і стримує процеси природного поновлення.

У процесі переформування хвойних насаджень Карпатського регіону необхідно

враховувати довгострокові екологічні прогнози щодо стійкості панівних деревних видів до посилення аридності клімату (Vitasse et al., 2019). Проектування лісгосподарських заходів та оцінювання ходу росту ялиці білої у вологій буковій яличині повинні базуватися на комплексному врахуванні орографічних, едафічних та кліматичних чинників конкретного регіону (Dinca et al., 2022). Потрібно поєднувати лісівничі заходи з регулюванням освітленості та захистом підросту від пошкодження дикими тваринами (Vacek et al., 2015).

Перший лісівничий сценарій орієнтований на біогрупове регулювання структури цього ялицевого деревостану (рис. 5). Кількісні параметри втручання характеризуються мінімальним рівнем антропогенного навантаження: об'єм виленої деревини становить $77,7 \text{ м}^3$, а інтенсивність рубки за запасом – 9,9%. Технологічна концепція сценарію базується на створенні чітко локалізованих відновлювальних «вікон» (біогруп) площею 220-250 м^2 . Такий розмір галявин є біологічно обґрунтованим для ялиці білої як тіньовитривалого деревного виду.

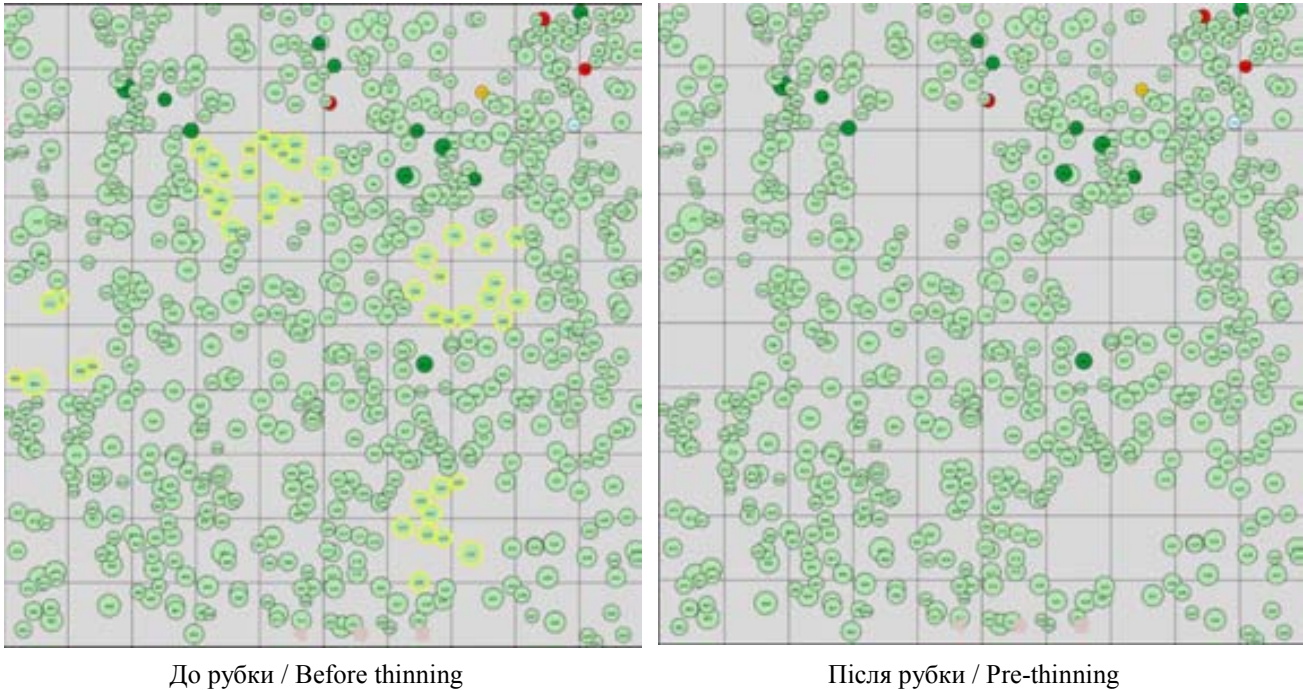


Рис. 5. Переформування групово-вибірковим способом рубки (площа відновлювальних «вікон» 220-250 м^2). Об'єм вибраної деревини – $77,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, інтенсивність рубки – 9,9%

Fig. 5. Transformation by group-selective felling method (area of regeneration “gaps” 220-250 m^2). The volume of selected wood is $77,7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, felling intensity is 9.9%

Умовні позначення:
Legend:

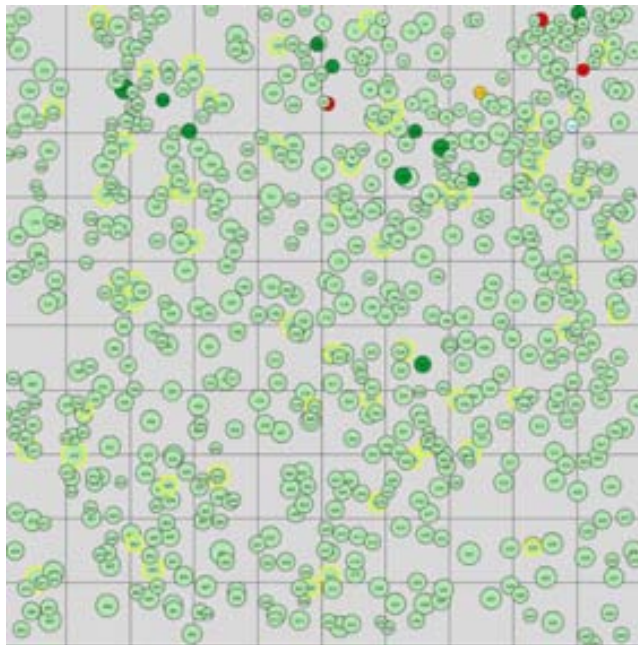
- | | |
|--|--|
| ● <i>Abies alba</i> Mill. | ● <i>Salix caprea</i> L. |
| ● <i>Picea abies</i> [L.] Karst. | ● <i>Carpinus betulus</i> L. |
| ● ДЕРЕВА, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ ЗРУБУВАННЮ / Trees to be felled | ● <i>Betula pendula</i> Roth. |

Сформовані «вікна» забезпечать оптимальне поєднання доступу фотосинтетично активної радіації та збереження захисного лісового мікроклімату, що мінімізує пересихання верхніх шарів ґрунту. З огляду на видовий склад наявного деревостану, рубка проводиться виключно за рахунок вилучення компактних груп ялиці із залишенням поодиноких екземплярів ялини європейської та цінних біотопних дерев з мікрооселищами.

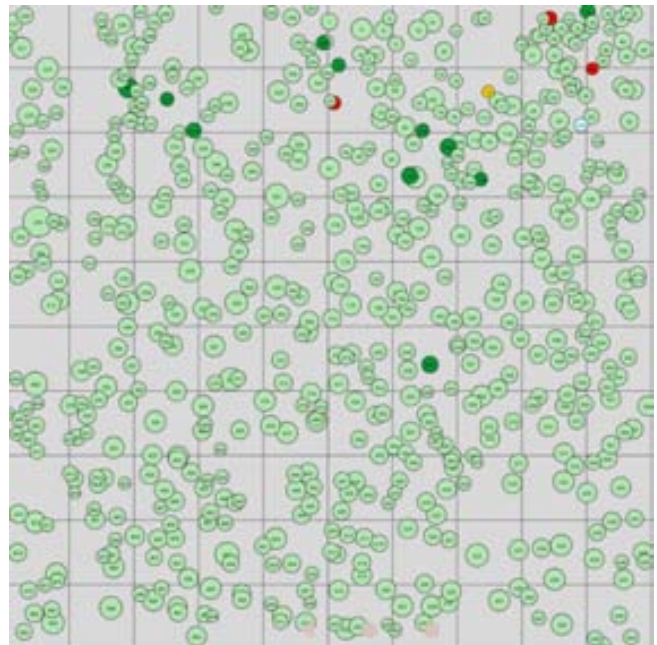
Оцінювання динаміки вертикального росту самосіву ялиці в межах сформованих відновлювальних «вікон» повинно враховувати мікρο-структурні особливості освітленості та локальні ризики пошкодження верхівкових пагонів копит-

ними тваринами (Kupferschmid et al., 2013). При цьому виникнення природних порушень у гірських лісостанах докорінно трансформує просторову поведінку мисливської фауни та інтенсивність її пасовищного тиску на молодий підріст (Szwagrzyk et al., 2020). Потрібно також враховувати, що успішність природного поновлення та динаміка нагромадження біомаси молодим поколінням ялиці білої значною мірою лімітуються конкурентним тиском з боку трав'яного вкриття (Prokupková et al., 2021). Переформування групово-вибірковим способом забезпечує найвищий рівень екологічної безпеки та практично нівелює ризики виникнення вітровалів (Калінін та ін., 1997). Трансформація

одновікового насадження за такого підходу відбувається найменш інтенсивно. Збільшення розмірів «вікон» (інтенсифікація розрідження) дещо прискорює ріст ялиці білої, але водночас провокує вибуховий розвиток злакової рослинності та ожини, які починають створювати жорстку конкуренцію для підросту (Ficko et al., 2016).



До рубки / Before thinning



Після рубки / Pre-thinning

Рис. 6. Переформування вибіркоким способом рубки.
Об'єм вибраної деревини – $119,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, інтенсивність рубки – 15,1%
Fig. 6. Transformation by selective felling.
The volume of selected wood is $119.0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, the felling intensity is 15.1%

Умовні позначення:
 Legend:

- | | |
|---|--|
| ● <i>Abies alba</i> Mill. | ● <i>Salix caprea</i> L. |
| ● <i>Picea abies</i> [L.] Karst. | ● <i>Carpinus betulus</i> L. |
| ● Дерева, які підлягають зрубіванню /
Trees to be felled | ● <i>Betula pendula</i> Roth. |

Загальний обсяг дерев, що підлягають зрубіванню, запроєктовано на рівні $119,0 \text{ м}^3$, що відповідає помірній інтенсивності рубки за запасом – 15,1%. Головна лісівнича мета цього варіанту полягає у розріджуванні надто щільних біогруп для інтенсифікації розвитку крон та посилення радіального приросту перспективних дерев. Вибірку дерев для зрубівання здійснюють поштучно, переважно з нижніх та середніх ярусів (ступені товщини 16-24 см), за рахунок пригнічених або незадовільних за фітосанітарним станом екземплярів ялиці. Супутні деревні види повністю вилучають з розрахунку рубки з метою збереження мішаного складу деревостану. Рівномірний характер зріджування крон підтримує високу загальну стійкість деревостану, проте відсутність чітко сформованих «вікон» поновлення знижує ефективність цього сценарію щодо масової появи нового покоління лісу під наметом материнського деревостану.

Третій варіант є найбільш комплексним лісівничим рішенням, оскільки поєднує в собі елементи рівномірного вибіркового зріджування та локального утворення галявин (рис. 7). Оптимізація кронного простору в ялицевому деревостані призводить до суттєвого підвищення ефективності надходження сонячної радіації (Forrester & Albrecht, 2014).

За об'ємом вилучених дерев останній варіант є найінтенсивнішим – проєктоване видалення $151,2 \text{ м}^3$ деревини забезпечує інтенсивність рубки на рівні 19,2%. Просторова реалізація сценарію передбачає одночасне закладання відновлювальних «вікон» площею $220\text{-}250 \text{ м}^2$ та проведення лісівничого догляду у прилеглих зонах (кулісах) шляхом розріджування крон до оптимальних лісівничих показників. Зрубіванню підлягають не лише пригнічені дерева, але й окремі екземпляри ялиці великих ступенів товщини (44-60 см) для

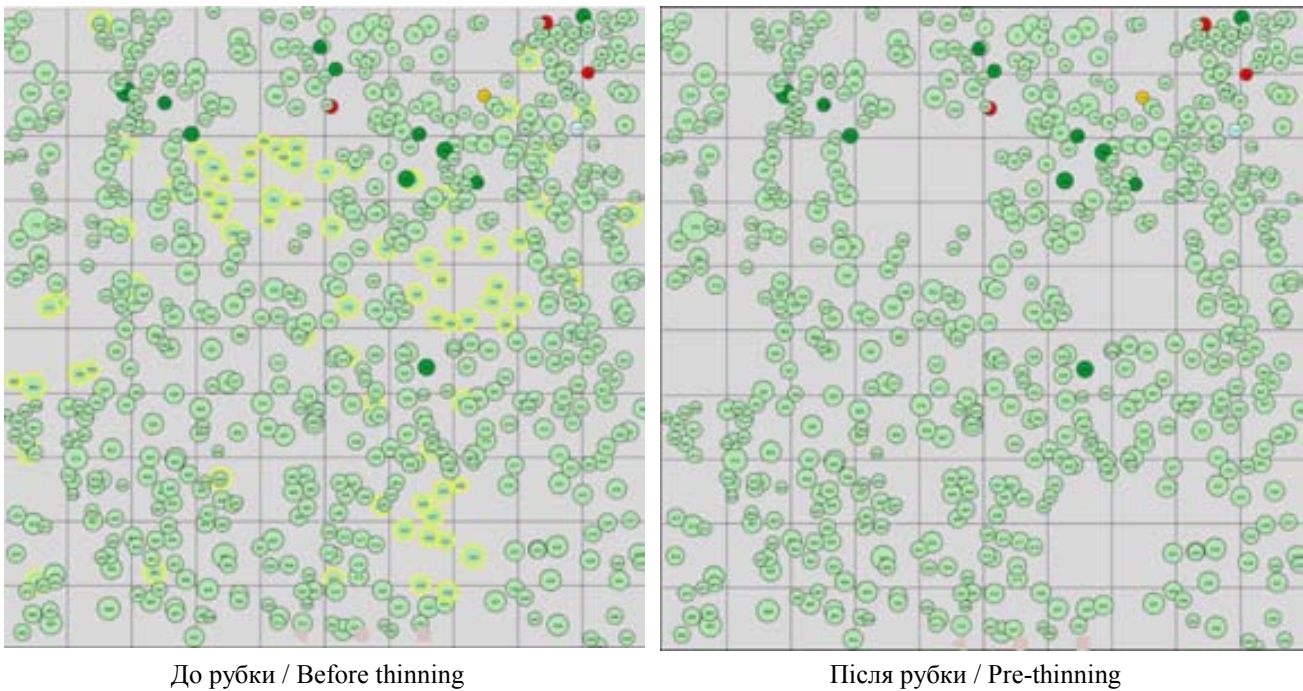


Рис. 7. Переформування комбінованим (вибірковим і групово-вибірковим) способом рубки (площа відновлювальних «вікон» 220-250 м²). Об'єм вибраної деревини – 151,2 м³·га⁻¹, інтенсивність рубки – 19,2%

Fig. 7. Transformation by combined (selective and group-selective) felling method (area of regeneration “gaps” 220-250 м²). The volume of selected wood is 151.2 м³·ha⁻¹, felling intensity is 19.2%

Умовні позначення:
 Legend:

● <i>Abies alba</i>	● Верба козяча
● Ялина європейська	● Граб звичайний
● ДЕРЕВА, ЯКІ ПІДЛЯГАЮТЬ ВИРУБУВАННЮ	● Береза повисла

покращення світлового режиму. Незважаючи на високу інтенсивність, екологічний каркас ділянки залишається непорушним: цінні осередки біотопних дерев та поодинокі екземпляри ялини повністю зберігаються. Цей спосіб є найефективнішим з погляду найшвидшої трансформації одновікового лісостану у різновіковий, оскільки комбінований вплив одночасно стимулює появу самосіву у «вікнах» і прискорює ріст дерев верхнього ярусу за товщиною стовбура.

Забезпечення високої продуктивності та стабільності лісових масивів у Карпатському регіоні тісно пов'язане з вирощуванням мішаних різновікових лісів за участю бука, ялини та ялиці (Hilmers et al., 2019). Сучасні кліматичні зміни зумовлюють стрімку втрату біологічної стійкості штучними хвойними монокультурами, що вимагає негайного коригування лісгосподарських підходів (Іванюк та ін., 2024). Оцінювання екологічної стійкості та просторової структури пристиглих ялицевих деревостанів повинно враховувати не лише внутрішньоценотичні фактори, але й регіональні геліо- та макрокліматичні особливості (Šimůnek et al., 2023). Порівняльний аналіз трьох сценаріїв свідчить

про те, що всі запропоновані варіанти переформування одновікового ялицевого деревостану знаходяться у межах біологічної обґрунтованості та не перевищують граничну нормативну інтенсивність першого прийому рубок переформування (до 25% за запасом). З екологічного та лісівничого погляду найбільш перспективним для практичного впровадження в ялицевих лісах Українських Карпат є третій сценарій. Завдяки комбінації вибіркового та групово-вибіркового способів, він забезпечує оптимальний баланс між швидкістю переформування вертикальної структури ялицевого деревостану, стимуляцією природного поновлення та збереженням унікального біорізноманіття мікрооселищ і супутніх порід.

Висновки (Conclusions).

1. Досліджуваний лісовий масив в умовах вологості букової яличини представлений високопродуктивним одновіковим і практично чистим деревостаном. Ялиця біла виявляє абсолютне домінування за всіма таксаційними показниками, формуючи основний намет лісу. Супутні хвойні та листяні деревні види представлені поодинокі, займаючи переважно підлегло фітоценотичне положення, що свідчить

про їхнє значне пригнічення в умовах високої міжвидової конкуренції.

2. Математично-статистичне оцінювання біометричних параметрів стовбурів показала екстремально високий рівень природної мінливості лісостану. Наявність вираженої правосторонньої асиметрії за діаметром підтверджує чисельне переважання дерев дрібних та середніх розмірів, тоді як основна частка запасу деревостану сформована деревами верхнього ярусу. Такий стан є характерною ознакою природного походження деревостану, що перебуває на стадії активного старіння та формування біогруп.

3. На мартелоскопі виділено 136 дерев з мікрооселищами (21% від загальної кількості), на яких встановлено 12 різновидів оселищ. Найбільшу кількість дерев зафіксовано з ранами та наростами на стовбурі й скелетних гілках, що спричинені раком ялиці (GR3). Також виявлено багато дерев з втратою кори (IN1) та зі зламаними стовбурами чи пошкодженими кронами (IN2).

4. Сумарний запас органічного вуглецю, депонованого у фітомасі досліджуваного лісостану, становить $197,1 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Основним депонентом вуглецю є ялиця біла (99,1% від загальної маси). У просторовій структурі фітомаси найбільша кількість органічного вуглецю зосереджена у стовбуровій деревині – 135,4 т (68,7% від загальної кількості). На підземну фітомасу припадає 18,1% депонованого вуглецю, а компоненти крони акумулюють сумарно 13,2% вуглецю.

5. Виявлена структурна неоднорідність ялицевого деревостану та різноманіття мікрооселищ створюють оптимальні передумови для впровадження наближеного до природи лісівництва. Серед змодельованих варіантів рубки переформування найбільш перспективним є комбінований спосіб. Він інтегрує одночасне створення відновлювальних «вікон» для появи самосіву і підросту тіншовитривалої ялиці білої та рівномірне розріджування прилеглих смуг деревостану. Такий підхід забезпечує м'яку, але ефективну трансформацію однієї та одноярусної структури ялицевого деревостану в стійку різновікову та багаторярусну лісову екосистему.

Подяка (Acknowledgments).

Автори висловлюють подяку Федеральному міністерству продовольства та сільського господарства Німеччини (BMELH) за фінансову підтримку досліджень через Федеральне агентство сільського господарства та продовольства на основі рішення Парламенту Федеративної Республіки Німеччина.

The project is supported by funds of the Federal Ministry of Agriculture, Food and Regional Identity of Germany (BMELH) based on a decision of the Parliament of the Federal Republic of Germany via the Federal Office for Agriculture and Food (BLE).

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Bledý, M., Vacek, S., Brabec, P., Vacek, Z., Cukor, Černý, J., Ševčík, R., & Brynychová, K. (2024). Silver Fir (*Abies alba* Mill.): Review of Ecological Insights. *Forest Management Strategies, and Climate Change Impact on European Forests*, 15(6), 998. <https://doi.org/10.3390/f15060998>
- Bošela, M., Lukac, M., Castagneri, D., Sedmák, R., Biber, P., Carrer, M., ... Buntgen, U. (2018). Contrasting effects of environmental change on the radial growth of co-occurring beech and fir trees across Europe. *Science of The Total Environment*, 615, 1460–1469. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.09.092>
- Caudullo, G., Welk, E., & San-Miguel-Ayanz, J. (2017). Chorological maps for the main European woody species. *Data in Brief*, 12, 662–666. <https://doi.org/10.1016/j.dib.2017.05.007>
- Debryniuk, V., Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Orikhovskyy, R., & Spathelf, P. (2025). Monitoring of Forest Sites by Establishing Martelosopes. In *International Conference of Young Professionals «GeoTerrace-2025»*. Vol. 2025, No. 1, pp. 1–5. European Association of Geoscientists & Engineers. <https://doi.org/10.3997/2214-4609.202552068>
- Dinca, L., Marin, M., Vlad, R., Murariu, G., Drasovean, R., Cretu, R., Georgescu, L., & Voichița, T.-G. (2022). Which are the best site and stand conditions for silver fir (*Abies alba* Mill.) located in the Carpathian Mountains? *Diversity*, 14(7), 547. <https://doi.org/10.3390/d14070547>
- Dobrowolska, D., Bončina, A., & Klumpp, R. (2017). Ecology and silviculture of silver fir (*Abies alba* Mill.): A review. *Journal of Forest Research*, 22(6), 326–335. <https://doi.org/10.1080/13416979.2017.1386021>
- European Commission. (2021). New EU forest strategy for 2030 (COM(2021)572final). European Parliament. <https://eur-lex.europa.eu/legal->

- content/EN/TXT/?uri=CELEX:52021DC0572
- Ficko, A., Roessiger, J., & Boncina, A. (2016). Can the use of continuous cover forestry alone maintain silver fir (*Abies alba* Mill.) in central European mountain forests? *Forestry*, 89(4), 412–421. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpw011>
- Forrester, D. I., & Albrecht, A. T. (2014). Light absorption and light-use efficiency in mixtures of *Abies alba* and *Picea abies* along a productivity gradient. *Forest Ecology and Management*, 328, 94–102. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.05.026>
- Gazol, A., Camarero, J. J., Gutiérrez, E., Popa, I., Andreu-Hayles, L., Motta, R., ... Carrer, M. (2015). Distinct effects of climate warming on populations of silver fir (*Abies alba*) across Europe. *Journal of Biogeography*, 42, 1150–1162. <https://doi.org/10.1111/jbi.12512>
- Gensiruk, S. A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Scientific society Shevchenko. [Генсірук, С. А. (2002). *Ліси України*. Львів: Наук. тов. ім. Шевченка. 324 с.] (in Ukrainian)
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of the forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramid. [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Hilmers, T., Avdagić, A., Bartkiewicz, L., Bielak, K., Binder, F., Boncina, A., ... Pretzsch, H. (2019). The productivity of mixed mountain forests comprised of *Fagus sylvatica*, *Picea abies*, and *Abies alba* across Europe. *Forestry*, 92(5), 512–522. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpz035>
- Hofmeister, Š., Svoboda, M., Souček, J., & Vacek, S. (2008). Spatial pattern of Norway spruce and silver fir natural regeneration in uneven-aged mixed forests of northeastern Bohemia. *Journal of Forest Science*, 54(3), 92–101. <https://doi.org/10.17221/4/2008-JFS>
- Holubets, M. (2003). Geobotanical division of the Ukrainian Carpathians – a basis of rational natural use. *Ecological collection: Ecological problems of the Carpathian region, the T. Shevchenko Scientific Society, XII*, 283–292. <https://nasplib.isoftware.kiev.ua/handle/123456789/38711> [Голубець, М. А. (2003). Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Екологічний збірник: Екологічні проблеми Карпатського регіону, Праці НТШ*. Т. XII, 283–292] (in Ukrainian)
- Hrynyk, G. G. (2011). Forestry and taxonomic characteristics of fir stands of the Ukrainian Carpathians taking into account the features of the relief. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 21(13), 17–28. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/17_Hrynyk.pdf [Гриник, Г. Г. (2011). Лісівничо-таксаційна характеристика ялицевих деревостанів Українських Карпат з урахуванням особливостей рельєфу. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*, 21(13), 17–28] (in Ukrainian)
- Ivanyuk, A. P., Holubchak, O. I., & Hnatyuk, O. R. (2024). The influence of economic measures on the condition of spruce protective forests of the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 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 Національного лісотехнічного університету України*, 34(6), 41–48] (in Ukrainian)
- Jagodziński, A. M., Dyderski, M. K., Gęsikiewicz, K., & Horodecki, P. (2019). Tree and stand level estimations of *Abies alba* Mill. aboveground biomass. *Annals of Forest Science*, 76(56), 1–14. <https://doi.org/10.1007/s13595-019-0842-y>
- Kalinin, M. I., Kalutsky, I. F., & Ivanyuk, A. P. (1997). *Winds in the mountain and foothill regions of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Manuscript. [Калінін, М. І., Калущкий, І. Ф., Іванюк, А. П. (1997). *Вітровали в гірських та передгірських регіонах Українських Карпат*. Львів: Манускрипт. 286 с.] (in Ukrainian)
- Kraus, D., Büttler, 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., Schuck, A., Krumm, F., Büttler, 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
- Krynytsky, H. T., & Lavnyy, V. V. (2024). Introducing nature-based forestry in Ukraine. In *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects*, 124–128. Lviv, October 23–25. Lviv: National Forestry University of Ukraine. <https://doi.org/10.36930/conf150.1.30> [Криницький, Г. Т., Лавний, В. В. (2024). Запровадження наближеного до природи лісівництва в Україні. *Лісотехнічна наука і*

- освіта: виклики сьогодення та перспективи розвитку. Міжнарод. наук.-практ. конф. з нагоди 150-річчя НЛТУ України, Львів, 23-25 жовтня 2024 р. Львів: НЛТУ України, 124–128] (in Ukrainian)
- Kupferschmid, A., Zimmermann, S., & Bugmann, H. (2013). Browsing regime and growth response of naturally regenerated *Abies alba* saplings along light gradients. *Forest Ecology and Management*, 310, 393–404. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.08.048>
- Lavnyy, V., Holubchak, O., Hnatiuk, O., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Nagorniak, B., & Spathelf, P. (2025). The effects of silvicultural treatments on natural regeneration in forests of the Ukrainian Carpathians. *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The Series: Agronomy and Biology*, 61(3), 24–36. <https://doi.org/10.32782/agrobio.2025.3.3>
- Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Yuskevych, T. & Spathelf, P. (2025a) Conservation of forest biodiversity through establishment of martelosopes. In *Practical aspects of the activities of protected areas and objects in the context of sustainable development: Materials of the international scientific and practical conference National Natural Park "Vyzhnytskyi": proceedings of International Scientific and practical Conference*, 102–104. Vyzhnytsya: Cheremosh, https://vyzhnytskyi-park.in.ua/wp-content/uploads/2025/10/NPPV_zbirnyk-konferentsii-ostatochnyy.pdf. [Лавний, В. В., Іванюк, А. П., Михайлів, О. Б., Юськевич, Т. В., Шпатгелф, П. (2025а). Збереження біорізноманіття лісів завдяки мартелоскопам. *Практичні аспекти діяльності природно-заповідних територій і об'єктів у контексті збалансованого розвитку*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. НПП «Вижницький». Вижниця: Черемош, 102–104] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., Ivaniuk, A., Mykhayliv, O., Yuskevych, T. & Spathelf, P. (2025b). Martelosopes – a key tool for teaching, understanding and sharing knowledge about close-to-nature silviculture. In *The main tasks of forestry science in forest management based on close-to-nature forestry principles in the mountain forests of the Ukrainian Carpathians: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 46–49. Ivano-Frankivsk, NAIR. https://www.researchgate.net/publication/399002454_MARTELOSKOPI_-_KLUCOVII_INSTRUMENT_DLA_NAVCANNA_ROZUMINNA_TA_OBMINU_ZNANNA_MI_PRO_NABLIZENE_DO_PRIRODI_LISIV_NICTVO_MARTELOSCOPES [Лавний, В. В., Іванюк, А. П., Михайлів, О. Б., Юськевич, Т. В., Шпатгелф, П. (2025b). Мартелоскопи – ключовий інструмент для навчання, розуміння та обміну знаннями про наближене до природи лісівництво. *Основні завдання лісівничої науки щодо ведення лісового господарства на засадах наближеного до природи лісівництва в гірських лісах Українських Карпат*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., Івано-Франківськ: НАІР, 46–49] (in Ukrainian)
- Mauri, A., de Rigo, D., & Caudullo, G. (2016). *Abies alba* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In J. San-Miguel-Ayanz, D. de Rigo, G. Caudullo, T. Houston Durrant, & A. Mauri (Eds.), *European atlas of forest tree species* (pp. e01493b+). Publication Office of the European Union. <https://w3id.org/mtv/FISE-Comm/v01/e01493b>
- Mihai, G., Alexandru, A. M., Stoica, E., & Birsan, M. V. (2021). Intraspecific growth response to drought of *Abies alba* in the Southeastern Carpathians. *Forests*, 12(4), 387. <https://doi.org/10.3390/f12040387>
- Paluch, J. (2005). The influence of the spatial pattern of trees on forest floor vegetation and silver fir (*Abies alba* Mill.) regeneration in uneven-aged forests. *Forest Ecology and Management*, 205(1-3), 283–298. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.10.010>
- Penne, C., Ahrends, B., Deurer, M., & Böttcher, J. (2010). The impact of the canopy structure on the spatial variability in forest floor carbon stocks. *Geoderma*, 158(3-4), 282–297. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2010.05.007>
- Pinto, P. E., Gégout, J.-C., Hervé, J.-C., & Dhôte, J.-F. (2008). Respective importance of ecological conditions and stand composition on *Abies alba* Mill. dominant height growth. *Forest Ecology and Management*, 255(3-4), 619–629. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2007.09.031>
- Prokupková, A., Brichta, J., Vacek, Z., Bielak, K., Andrzejczyk, T., Vacek, S., ... Fuchs, Z. (2021). Effect of vegetation on natural regeneration of mixed silver fir forests in lowlands: a case study from the Rogów region in Poland. *Sylvan*, 165(11), 779–795. <https://doi.org/10.26202/sylvan.2021092>
- Šimůnek, V., Prokupková, A., Vacek, Z., Vacek, S., Cukor, J., Remeš, J., ... Ripullone, F. (2023). Silver fir tree-ring fluctuations decrease from north to south latitude–total solar irradiance and NAO are indicated as the main influencing factors. *Forest Ecosystems*, 10, 100150. <https://doi.org/10.1016/j.fecs.2023.100150>
- State Forest Resources Agency of Ukraine (2025). Ukraine has approved a strategy for transitioning

- to close-to-nature forestry. <https://forest.gov.ua/news/v-ukraini-zatverdily-stratehiu-z-perekhodu-do-nablyzhenoho-do-pryrody-lisivnytstva> [Державне агентство лісових ресурсів України. (2025). В Україні затвердили стратегію з переходу до наближеного до природи лісівництва] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine (n.d.). Improving the quality of forests. <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/polipshennya-yakisnogo-skladu-lisiv> [Державне агентство лісових ресурсів України. (б.р.). Поліпшення якісного складу лісів] (in Ukrainian).
- Szwagrzyk, J., Gazda, A., Muter, E., Pielech, R., Szewczyk, J., Zięba, A., ... Bodziarczyk, J. (2020). Effects of species and environmental factors on browsing frequency of young trees in mountain forests affected by natural disturbances. *Forest Ecology and Management*, 474, 118364. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118364>
- Takhtajan, A. L. (2009). *Flowering Plants*. 2nd ed. New York: Springer. URL: <https://docs.google.com/file/d/0B3A8pmAgeNOoOFZjOTBnSXNiMTA/edit?resourcekey=0-2RAFxHqUffgJhUDbFywsPw>
- Terelya, I. P. (2004). *White fir (Abies alba Mill.) in the forests of the Ukrainian Carpathians: condition, reproduction and economic use*. Abstract doctoral dissertation, Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University, Lviv, Ukraine. [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: УкрДЛТУ] (in Ukrainian)
- Tkach, V. P., Romanovskyi, V. F., Krynytskyi, H. T., Shinkarenko, I. B., Parpan, V. I., Kobets, O. V., ... Zhezhkun, A. M. (2023). *Features of forest formation and forest rehabilitation felling (methodical recommendations)*, Kharkiv: UkrNDILGA. <https://uriffm.org.ua/static/main/files/osobl.pdf>. [Ткач, В. П., Романовський, В. Ф., Криницький, Г. Т., Шинкаренко, І. Б., Парпан, В. І., Кобець, О. В., ... Жежкун, А. М. (2023). *Особливості проведення рубок формування і оздоровлення лісів (методичні рекомендації)*, Харків: УкрНДІЛГА] (in Ukrainian)
- Tudoran, G.-M., Avram, C., Ciceu, A., & Dobre, A.-C. (2021). Growth relationships in silver fir stands at their lower-altitude limit in Romania. *Forests*, 12(4), 439. <https://doi.org/10.3390/f12040439>
- Vacek, S., Vacek, Z., Bulušek, D., Bílek, L., Schwarz, O., Simon, J., & Štícha, V. (2015). The role of shelterwood cutting and protection against game browsing for the regeneration of silver fir. *Austrian Journal of Forest Science*, 132(2), 81–102. https://www.researchgate.net/publication/282255626_The_role_of_shelterwood_cutting_and_protection_against_game_browsing_for_the_regeneration_of_silver_fir
- Vitasse, Y., Bottero, A., Rebetez, M., Conedera, M., Augustin, S., Brang, P., & Tinner, W. (2019). What is the potential of silver fir to thrive under warmer and drier climate? *European Journal of Forest Research*, 138(4), 547–560. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01192-4>

Integrated methods of close-to-nature silviculture in silver fir forests of the Ukrainian Carpathians

V. Lavnyy¹, A. Ivaniuk², O. Mykhayliv³, T. Yuskevych⁴, B. Nagorniak⁵, P. Spathelf⁶

The stand structure, measurement indicators and biotope potential of an 85-year-old stand with dominant silver fir in beech-fir forests on rich soils of the Rozluch forest district of the Sambir forestry enterprise of the State Service "Forests of Ukraine" were studied. The experimental trial area (marteloscope) was laid out in the form of a square with an area of 1 ha (100 × 100 m) and a division into four sections of 50 × 50 m.

The plot contains 663 trees, of which 97.6% are silver fir trees, 1.6% are Norway spruce and 0.8% are other species. The stand is characterized by high productivity (growing stock – 788 m³·ha⁻¹, I site class, average diameter – 34.5 cm, average height – 27.4 m). The diameter distribution is characterized by a moderate right-sided asymmetry ($A = 0.261$) and negative kurtosis ($E = -0.275$), which indicates a more scattered diameter distribution with a numerical predominance of small trees. For heights, a pronounced left-sided asymmetry ($A = -0.743$) and negative kurtosis ($E = -0.561$) were recorded, which indicates that the majority of trees are concentrated in classes with relatively large heights, and a small number of trees have heights significantly lower than the average. The identification and classification of microhabitats was carried out according to the international catalogue of the European Forest Institute. A total of 136 trees with microhabitats were identified (21% of the total number), on which 12 habitat types on average were established. The largest number of trees were noted with wounds and growths on the trunk and skeletal branches caused by fir cancer (GR3). There are also many trees with bark loss (IN1) and broken trunks or crowns (IN2).

The total stock of organic carbon deposited in the phytomass of the studied forest stand is 197.1 t·ha⁻¹. The

main carbon storage is silver fir, accumulating 99.1% of the total phytomass. In the spatial structure of the phytomass, the largest amount of organic carbon is concentrated in the stem wood – 135.4 t (68.7% of the total amount). The underground phytomass (roots) accounts for 18.1% of the deposited carbon, and the crown components accumulate a total of 13.2% of carbon.

The silvicultural and ecological efficiency of three methods of conducting transformation felling (group-selective, selective and combined) was modelled and compared, taking into account the requirements for preserving biodiversity. With the group-selective method, the volume of harvested wood will be 77.7 m³·ha⁻¹, and the intensity of felling will be 9.9%. With the selective method, the volume of felled trees is projected at 119.0 m³·ha⁻¹, which corresponds to a moderate intensity of felling – 15.1%. The most intensive is the combined method – it is planned to cut down 151.2 m³·ha⁻¹ of wood, and the intensity of felling – 19.2%.

Among the simulated options for transformation felling, the combined method is the most promising. It integrates the simultaneous creation of regeneration “windows” for the appearance of self-seeding and undergrowth of shade-tolerant silver fir and selective felling of adjacent strips of the stand. This approach ensures a soft but effective transformation of the even-aged and single-tier structure of the silver fir stand into a sustainable multi-aged and multi-tier forest ecosystem.

Key words: marteloscope; biodiversity; silver fir; silvicultural and stand measurement indicators microhabitats, forest ecology.

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 *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>

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 *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>

⁵ *Nagorniak Bogdan* – 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>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412606>
Article received 2025.08.25
Article revised 2026.01.09
Article accepted 2026.02.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Polyak
v_v_simpol@ukr.net
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*524.61

Лісостани Буковинського низькогір'я та середньогір'я Покутсько-Буковинських Карпат: поширення та лісівничо-таксаційна характеристика

В.В. Поляк¹, Ю.М. Дебринюк²

На території Буковинських Карпат хвойні деревні види посідають близько 52,4% площі лісів низькогірної частини підрайону, тоді як листяні види – 47,6%. Водночас за структурою лісів домінують лише три основні лісотвірні деревні види – *Picea abies* (L.) Karst., *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill., на які припадає понад 95% загальної площі та майже 97% загального запасу деревини.

У низькогірній частині Буковинських Карпат перевагу мають деревостани *Fagus sylvatica* та *Abies alba*, то у середньогір'ї беззаперечним едифікатором стає *Picea abies*.

Вкрита лісовою рослинністю площа низькогірної частини Буковинських Карпат становить 36,8, середньогірної – 41,8 тис. га. Порівняно з низькогір'ям, у середньогірній частині помітно біднішим є видовий склад деревних рослин (відповідно, 24 і 15 види). Проте деревостани середньогір'я є більш продуктивними ($305 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), ніж деревостани низькогір'я ($273 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). У деревостанах низькогірної частини Буковинських Карпат зосереджено 10053,74 тис. м^3 , середньогірної частини – 12756,04 тис. м^3 деревного запасу.

Вікова структура лісостанів регіону є розбалансованою. Так, за відносним показником найбільшу площу (44,2%) займають середньовікові насадження. Значно меншу площу займають пристиглі та стиглі лісостани (14,9 та 11,1%). Незначну частку займають перестійні насадження (1,9%), і дещо більшу частку – молодянки I і II класів віку (11,1 і 12,4%).

Лісостани підрайону є доволі високобонітетними. Насадження I і вище класів бонітету займають 80,6, II бонітету – 15,8, III бонітету – 2,7%. Насадження IV і нижче класів бонітету виявлені лише на 0,9% площі.

Лісостани досліджуваного регіону переважно середньоповнотні (66,9%). Низькоповнотні насадження займають площу 29,9%, рідколісся – 1,5%. Високоповнотні деревостани представлені слабо (1,7%).

¹ Поляк Василь Васильович – аспірант кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: v_v_simpol@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-8872-6903>

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: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

На території регіону зафіксовано 43 типи лісу, з яких чотири суборових, 23 сугрудових і 16 грудових. Серед типів лісорослинних умов найбільшу частину (75,3%) займають сугруди, 23,9% – груди і 0,8% – субори.

Найбільш розповсюдженою є смерекова група типів лісу, яка займає 58,2% від загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель Буковинських Карпат. Ялицева група типів лісу займає значно меншу частку (35,7%), букова – ще меншу (5,2%). Серед смерекових типів лісу найбільші площі насаджень зосереджені у сугрудових типах лісорослинних умов, серед ялицевих – у сугрудових і грудових, у букових – у грудових типах.

Ключові слова: підрайони; групи типів лісу; ялина європейська; бук лісовий; ялиця біла; низькогірна і середньогірна частини; бонітет; повнота; запас деревостану.

Вступ (Introduction).

За фізико-географічним районуванням України (1968), Українські Карпати поділено на шість фізико-географічних областей – Передкарпаття (I), Зовнішні Карпати (II), Вододільно-Верховинську (III), Полонинсько-Чорногірську (IV), Рахівсько-Чивчинську (V) та Вулканічних Карпат і міжгірських котловин (VI). Область Зовнішніх Карпат (II) вміщає дві підобласті – Скибових Карпат і Покутсько-Буковинських Карпат. Останні поділено на два райони – район низькогір'я та район середньогірських хребтів.

Підобласть Покутсько-Буковинських Карпат (ПБК) відповідає структурі Покутських складок і складок Буковинських Карпат. Зовнішня південно-східна частина Покутсько-Буковинських Карпат обмежена низькогірними хребтами, а внутрішня частина характеризується гірським рельєфом з вершинами заввишки 1300-1400 м н.р.м. Підобласть поділено на дві частини – низькогірну та середньогірну (Рибін, Цись, 1968). Інші дослідники (Воропай, Куниця, 1966) територію Покутсько-Буковинських Карпат відносили до середньогір'я.

За геоботанічним районуванням України (Білик та ін., 1977) виділено окрему рангову одиницю – Покутсько-Буковинський підрайон, територію якого поділено на дві частини: низькогір'я з пологими (до 800 м н.р.м.) та середньогір'я зі стрімкими схилами – до 1500 м н.р.м. (г. Ротило, 1483 м). За лісогосподарським районуванням (Генсірук та ін., 1981) територію ПБК віднесено до Зовнішніх Карпат з буковими і темнохвойно-буковими лісами Гірсько-карпатського лісогосподарського округу.

Цись (1964) виділив окрему фізико-географічну область – Скибові Карпати, яку поділив на дві підобласті – Бескидсько-Горганську і Покутсько-Буковинську. Сучасні підходи (Кравчук, 2021) ґрунтуються на геоморфологічній регіоналізації області Скибових Карпат, за якою таксономічні одиниці (підобласті, райони) виокремлено на основі чинника поздовжнього структурно-літологічного поділу території. За цим підходом Кравчук (2021) область Скибових Карпат поділив на три підобласті (Бескиди, Скибові

Горгани, Покутсько-Буковинські Карпати). Останні поділено на два райони – низькогірного рельєфу та середньогірного рельєфу, кожен з яких поділено на два підрайони – Покутське низькогір'я і Буковинське низькогір'я та Покутське середньогір'я і Буковинське середньогір'я.

Покутсько-Буковинські Карпати розчленовані долинами річок системи Прута, Черемоша та Сирета. Незважаючи на загальну подібність за фізико-географічними, геоморфологічними та ландшафтними характеристиками, між Покутськими та Буковинськими Карпатами існують певні відмінності в природних умовах (Гостюк, 2018). Покутськими Карпатами вважають невисокі за абсолютними висотами (700-800 м н.р.м.) гори (низькогірні хребти), які простягаються від р. Лючки до долини р. Черемош в межах Бориславсько-Покутської підзони Передкарпатського прогину (Койнов, 1973; Гілецький, 2012). Інші автори (Гостюк, Мельник, 2017b) розглядають Покутські Карпати як історико-географічний або природно-господарський район, який охоплює гірську карпатську частину Покуття і знаходиться в межах Косівського і частково – Верховинського районів Івано-Франківської області. Південно-східною межею Покутських Карпат автори вважають р. Черемош, а північно-східна, північно-західна та південно-західна межі співпадають з межами фізико-географічних районів низькогірних і середньогірних хребтів Покутсько-Буковинських Карпат.

Район *низькогір'я Покутсько-Буковинських Карпат* характеризується поєднанням низькогірних положень з терасово-долинними або котловинно-терасовими місцевостями. Низькогір'я починається в межах Покутської передгірської височини (250-300 м), піднімаючись до відмітки 900 м н.р.м. Терасово-долинні структури добре виражені в долинах річок Пістинька, Рибниця, Черемош, Сирет, Путила, Бісків. Тут переважають дерново-підзолисті ґрунти різного ступеня оглеєності в комплексі з лучними опідзоленими ґрунтами. Погоді схили вкриті буковими та ялицево-буковими лісами

(Рибін, Цись, 1968). За результатами сучасних досліджень (Кравчук, 2021), район низькогірного рельєфу ПБК утворений декількома низькогірними гірськими ланцюгами з переважаючими абсолютними висотами 700-900 м н.р.м., які зростають від краю району вглиб гір.

Район *середньогірських хребтів Покутсько-Буковинських Карпат* приурочений до внутрішньої частини підобласті (Рибін, Цись, 1968). Стрімкі або середньої стрімкості схили північно-східної частини ПБК вкриті мішаними буково-ялицевими, буково-ялицево-ялиновими, ялицево-ялиновими або чистими ялиновими лісами, займаючи місцезоположення від 900 до 1500 м (г. Ротил, 1485 м н.р.м.). Найвищі вершини хребтів знаходяться в межах прохолодної термічної зони. У ґрунтовому покриві переважають середньопідзолисті буроземи, у верхній частині хребтів сформувалися гірсько-підзолисті лісові ґрунти. Район характеризується доволі високою лісистістю.

За даними Кравчука (2021), підрайон Покутського середньогір'я розташований між вододілом Прута і Черемоша та самою долиною р. Черемош. Гірські ланцюги простягаються у напрямі Пн-Зх → Пд-Сх і представлені найбільшими вершинами Покутсько-Буковинських Карпат, серед яких Біла Кобила (1477 м), Гордя (1479 м), Версале (1407 м), Ротило (1483 м).

Якщо підрайон Покутських Карпат, як природно-лісогосподарський регіон Українських Карпат, доволі повно досліджено у попередніх роботах (Гостюк, Мельник, 2017а, 2017б; Ванджурак, Дебринюк, 2022; Ванджурак, Дебринюк, Савчин, 2023), то підрайон Буковинських Карпати у лісівничому аспекті вивчено слабо. При цьому геоботанічні (Білик та ін., 1977) та фізико-географічні межі підобласті Покутсько-Буковинські Карпати описано доволі ґрунтовно (Рибін, Цись, 1968; Кравчук, 2021), проте до цього часу однозначно не розглянуто питання розподілу лісового фонду за організаціями-користувачами, за видовим складом деревостанів, типами лісу, повнотою, бонітетом тощо.

Кульбанська та ін. (2025) на території Покутсько-Буковинських Карпат виділили 41 тип лісу, в межах яких формуються деревостани за участю *Abies alba*. За даними цих же авторів, субори (В) на території ПБК займають площу 1013,5 га (5,9%), сугруди (С) – 14975,6 га (85,7%), груди (D) – 1482,8 га (8,4%).

Актуальність дослідження зумовлена тим, що на сьогодні як лісівничі, так і таксаційні характеристики лісостанів підрайону Буковинських Карпат опрацьовані недостатньо. Зокрема, аналіз видового складу лісостанів, запасів стовбурової деревини, повноти, бонітету тощо у

розрізі організацій-користувачів лісового фонду здійснено лише наближено, що обмежує можливості комплексного оцінювання лісоресурсного потенціалу регіону.

Мета роботи – встановити площу лісового фонду лісогосподарських підприємств за категоріями земель, що функціонують в межах підрайонів Буковинського низькогір'я та середньогір'я, визначити запаси деревини, здійснити розподіл насаджень за бонітетом, повнотою, типами лісорослинних умов і типами лісу.

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

Об'єкт досліджень – поширення лісостанів підрайону Буковинського низькогір'я та середньогір'я, їхня лісівничо-таксаційна характеристика. *Предмет досліджень* – розподіл лісостанів підрайону за лісокористувачами та основними лісівничо-таксаційними показниками.

Для виконання мети роботи використано такі методи досліджень: *рекогносцирувальні* – для встановлення площ і розташування лісових насаджень у підрайоні Буковинського низькогір'я та середньогір'я; *лісівничо-таксаційні* – для встановлення таксаційних характеристик деревостанів; *порівняльної екології* – для уточнення типу лісорослинних умов і типу лісу.

Основою для встановлення площі лісостанів на території Буковинського низькогір'я та середньогір'я, визначення їхніх лісівничо-таксаційних характеристик були матеріали базового лісовпорядкування ВО «Укрдержліспроект» досліджуваного регіону 2020-2024 рр. Детальний аналіз базових матеріалів лісовпорядкування, зокрема і картографічного матеріалу, вивчення літературних даних щодо географічних та геоморфологічних аспектів Покутсько-Буковинських Карпат дали змогу встановити чіткі межі підрайонів, дослідити поширення та лісівничо-таксаційні характеристики деревостанів, які ростуть на цій території, з'ясувати типологічну структуру і видовий склад деревостанів, оцінити лісоресурсний потенціал регіону досліджень.

Для уточнення меж підрайону Буковинського низькогір'я та середньогір'я використано топографічні карти (1 : 25 000) з горизонталями, проведеними через 20 м. Також використовували карти-схеми категорій лісів лісогосподарських підприємств, які здійснюють свою діяльність на території Покутсько-Буковинських Карпат.

Результати (Results).

Між Покутськими та Буковинськими Карпатами існують певні відмінності у природних умовах, зокрема, в геологічній будові та рельєфі (Гостюк, 2018). Ці складові мають певний вплив на ґрунтово-кліматичні умови, що, своєю чергою,

зумовлює формування на території цих рангових одиниць лісових фітоценозів характерного складу і продуктивності.

Розподіл площі земель лісогосподарського призначення за їх категоріями у розрізі організацій-користувачів лісового фонду Буковинського низькогір'я та середньогір'я наведено нами у попередній роботі (Поляк, 2025). Основними користувачами лісового фонду на Буковинській частині ПБК є Путильське, Берегометське і Чернівецьке надлісництва та НПП «Вижницький». Загальна площа земель лісогосподарського призначення на території цих об'єктів становить 85,5 тис. га. З них, вкриті і не вкриті лісовою рослинністю ділянки посідають відповідно 92,0 та 6,3% території, нелісові землі – 1,7%.

Неоднорідність рельєфу Буковинських Карпат (БК) стали причиною виділення на його території двох підрайонів – Буковинського низькогір'я та середньогір'я (Рибін, Цись, 1968;

Кравчук, 2021). Так, до низькогірної частини Буковинських Карпат віднесено більшу частину лісового фонду Чернівецького надлісництва і весь лісовий фонд НПП «Вижницький» (табл. 1). У загальній площі земель лісогосподарського призначення підрайону низькогірна частина займає 39,8 тис. га або 46,5%.

До середньогірної частини Буковинських Карпат віднесено майже всю частину лісового фонду Путильського та більшу частину – Берегометського надлісництв. Площа вкритих лісовою рослинністю земель середньогірної частини Буковинських Карпат (41,8 тис. га) є дещо більшою (на 3,2%) порівняно із низькогірної частиною.

Площа вкритих лісовою рослинністю ділянок Буковинських Карпат становить 78,6 тис. га, а загальна площа земель лісогосподарського призначення – 85,4 тис. га.

Таблиця 1. Розподіл площ земель лісогосподарського призначення в межах низькогірної та середньогірної частин Буковинських Карпат за лісокористувачами
Table 1. Distribution of forest-management land within the low-mountain and mid-mountain terrain parts of the Bukovynian Carpathians by forest management entities (forest users)

№ з.п.	Структурний підрозділ	Перелік кварталів, що відносяться до регіону	Вкриті лісовою рослинністю ділянки за висотними частинами, га	
			низькогірна	середньогірна
Путильське надлісництво				
1.	Конятинське л-во	кв. 1-8	—	471,3
2.	Карпатське л-во	кв. 1-50, 53, 54	—	4118,6
3.	Усть-Путильське л-во	усі квартали (кв. 1-51)	—	4988,4
4.	Путильське л-во	кв. 1-5	—	466,2
5.	Сергіївське л-во	усі квартали (кв. 1-37)	—	3773,6
6.	Шурдинське л-во	кв. 1-20, 22-27, 29, 34, 37-39, 43, 48-55, 58	—	3067,3
7.	Селятинське л-во	кв. 1-27, 54	—	2518,0
8.	Ялівецьке л-во	кв. 1-15	—	1220,3
9.	Розтоківське л-во	кв. 22, 29, 33, 34, 38-45	—	956,2
9.1.	Розтоківське л-во	кв. 1-21, 23-28, 30-32, 35-37	2412,2	—
Разом			2412,2	21579,9
Берегометське надлісництво				
10.	Славецьке л-во	кв. 51-58, 63-65, 81-82	1071,9	—
11.	Лопушнянське л-во	кв. 424-464, 471-473, 484-488	4049,4	—
11.1	Лопушнянське л-во	кв. 465-470, 474-483, 489-501	—	2266,4
12.	Гірсько-Кутське л-во	усі квартали (кв. 580-681)	—	8501,7
13.	Чемернарське л-во	усі квартали (кв. 682-733)	—	4486,1
14.	Фальківське л-во	усі квартали (кв. 734-786)	—	4026,6
15.	Мигівське л-во	кв. 523, 524, 534-538, 545-548, 551-579	3620,3	—
16.	Зруб-Комарнівське л-во	кв. 400-402, 406, 407, 416-419	906,1	—
Разом			9647,7	19280,8

Продовження таблиці 1

Чернівецьке надлісництво				
17.	Гільчанське л-во	усі квартали (кв. 1-29)	3627,8	–
18.	Банилівське л-во	усі квартали (кв. 1-36)	3811,6	–
19.	Красноїльське л-во	усі квартали (кв. 1-29)	3634,7	–
20.	Лаурське л-во	кв. 13-16, 18-20, 22-26	–	982,7
20.1.	Лаурське л-во	кв. 1-12, 17, 21, 27-34	2649,3	–
21.	Їжівське л-во	кв. 22, 23, 36, 37, 48, 49	486,4	
Разом			14209,8	982,7
НПП «Вижницький»				
вся площа			10508,6	–
Разом			10508,6	–
Всього			36778,3	41843,4

Лісостани Буковинських Карпат мають переважно природне походження: із 78,6 тис. га вкритих лісовою рослинністю ділянок лісові культури посідають лише 26,2 тис. га або 33,4%. Значну частину лісового фонду займають букові та ялицеві типи лісу, де процес природного поновлення відбувається добре.

Наводячи лісівничо-таксаційну характеристику лісових насаджень Буковинських Карпат, необхідно брати до уваги неоднорідність рельєфу регіону у зв'язку з його низькогірною та середньогірною частинами. Низькогірна частина БК характеризується висотами до 800 м н.р.м. і вкрита переважно буковими, ялицево-буковими, рідше – буково-ялицевими лісами. У середньогірній частині підрайону (понад 800 і до 1300 м

н.р.м.) переважають буково-ялицево-смерекові, ялицево-смерекові та чисті смерекові лісостани.

Потрібно зауважити, що лісовий фонд окремих лісництв (Розтоківського, Лопушниського, Лаурського) одночасно віднесено як до низькогірної, так і до середньогірної частин Буковинських Карпат. Проте у цих випадках низькогірна частина лісового фонду є переважаючою.

У лісостанах низькогірної частини підрайону виявлено 24 деревних види, серед яких переважаючими, як і в Покутських Карпатах (ПК), є три – *Picea abies* (L.) Karst., *Fagus sylvatica* L., *Abies alba* Mill. Нижче наводимо площі та запаси деревини окремо за деревними видами у розрізі низькогірної частини Буковинських Карпат (табл. 2).

Таблиця 2. Розподіл деревних видів за площами (га) та запасами стовбурової деревини (тис. м³) у низькогірній частині Буковинських Карпат
Table 2. Distribution of tree species by area (ha) and stemwood growing stock (thous. m³) in the low-mountain part of the Bukovynian Carpathians

Деревний вид	Лісогосподарські одиниці											Всього
	Розтоківське л-во	Славецьке л-во	Лопушниське л-во	Мигівське л-во	Зруб-Комарнівське л-во	Гільчанське л-во	Банилівське л-во	Красноїльське л-во	Лаурське л-во	Їжівське л-во	Вижницький НПП	
Бук лісовий	1195.8 276.25	713.4 188.18	878.9 320.19	1185.6 430.56	595.9 186.93	1854.3 581.11	2095.4 603.35	2158.4 655.75	1124.8 254.45	199.6 42.32	3964.3 1391.47	15966.4 4930.56
Ялиця біла	185.3 29.49	186.6 37.60	2718.7 677.31	2093.0 471.84	193.8 83.67	1286.5 379.89	1142.8 330.05	1336.3 244.77	969.8 158.09	150.3 31.82	4856.1 1126.62	15119.2 3571.15
Ялина європ.	872.7 164.04	12.1 3.45	373.2 142.02	226.1 90.63	82.7 22.55	385.4 127.88	487.2 164.94	103.0 28.64	302.5 88.39	86.5 18.33	1198.6 424.30	4130.0 1275.17
Береза повисла	58.3 14.14	56.5 5.62	14.2 2.50	2.5 0.46	19.4 2.76	34.7 2.31	11.9 1.79	31.0 3.93	222.4 36.99	45.7 9.68	26.6 4.21	523.2 84.39
Вільха сіра	45.2 5.26	2.2 0.28	–	44.8 5.12	–	13.8 1.65	41.1 5.68	–	–	1.7 0.31	72.1 8.08	220.9 26.38

Продовження таблиці 5

Дуб червоний	–	16.0 3.66	15.9 4.19	–	–	9.1 1.25	1.8 0.38	–	–	–	163.5 43.82	206.3 53.30
Граб звичайний	47.0 7.75	44.7 4.85	7.4 1.07	5.5 0.84	–	–	1.4 0.27	1.8 0.22	2.5 0.27	1.5 0.31	33.0 4.82	144.8 20.40
Дуб звичайний	0.4 0.06	3.9 0.70	–	8.2 2.92	14.3 0.10	–	–	–	–	–	101.5 34.10	128.3 37.88
Осика	–	8.5 0.77	19.0 3.50	19.2 2.55	–	1.9 0.48	0.8 0.05	3.1 0.41	12.3 1.89	1.1 0.20	18.6 2.68	84.5 12.53
Клен-явір	–	5.2 0.48	–	10.8 1.40	–	30.0 4.68	13.5 2.19	–	–	–	17.0 2.14	76.5 10.89
Вільха чорна	–	16.5 1.74	4.5 0.68	11.4 1.92	–	6.5 1.63	0.8 0.22	–	–	–	10.8 1.68	50.5 7.87
Модрина європ.	2.3 0.44	–	11.0 3.30	11.4 2.21	–	0.9 0.27	9.1 1.63	1.1 0.19	–	–	1.6 0.35	37.4 8.39
Верба біла	–	2.8 0.44	–	–	–	3.4 0.02	4.9 0.14	–	13.5 1.52	–	–	24.6 2.12
Псевдотсуга Мензіса	–	–	1.5 0.40	–	–	–	–	–	–	–	18.5 4.33	20.0 4.73
Сосна кедр. європ.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	17.0 1.52	17.0 1.52
Сосна звич.	–	0.6 0.13	5.1 1.83	0.9 0.25	–	–	–	–	–	–	2.9 0.79	9.5 3.00
Ясен звичайний	3.7 0.91	–	–	0.9 0.14	–	–	–	–	–	–	4.5 0.73	9.1 1.78
Клен гостролист.	–	1.7 0.36	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.7 0.36
Робінія звичайна	–	0.9 0.05	–	–	–	0.4 0.01	–	–	–	–	0.3 0.01	1.6 0.07
Дуб скельний	1.5 0.30	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.5 0.30
Липа дрібнол.	–	0.3 0.05	–	–	–	–	–	–	–	–	0.3 0.04	0.6 0.09
Тополя чорна	–	–	–	–	–	–	–	–	1.5 0.16	–	–	1.5 0.16
Яблуня лісова	–	–	–	–	–	0.9 0.01	0.9 0.03	–	–	–	–	1.8 0.04
Горіх грецьк.	–	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1.8 0.14	1.8 0.14
Разом	2412.2 498.64	1071.9 248.36	4049.4 1156.99	3620.3 1010.84	906.1 296.01	3627.8 1101.19	3811.6 1110.72	3634.7 933.91	2649.3 541.76	486.4 102.97	10508.6 3051.83	36779.3 10053.74

Примітка. У чисельнику – площа (га), у знаменнику – запас стовбурової деревини (тис. м³)

Аналіз розподілу площ деревостанів і запасів деревини свідчить про домінування букових та ялицевих насаджень, що є характерною особливістю лісів низькогірної частини Буковинських Карпат. Загальна площа вкритих лісовою рослинністю ділянок низькогірної частини становить 36,8 тис. га, а загальний запас деревини – 10054 тис. м³.

Переважаючим деревним видом є бук лісовий, який посідає 43,4% загальної площі та 49,0% загального запасу деревостанів, тобто бук

відіграє основну роль у формуванні сучасної структури лісів низькогірної частини Буковинських Карпат. Найбільші площі букових деревостанів зосереджені у Вижницькому НПП (3,9 тис. га), Красноїльському (2,2 тис. га), Банилівському (2,1 тис. га) та Гільчанському (1,9 тис. га) лісництвах.

Друге місце за поширенням займає ялиця біла, частка деревостанів якої за площею становить 41,1%, за запасом 35,5% від загальних площі і запасу деревостанів низькогірної частини

підрайону. Найбільші площі ялицевих насаджень зосереджені у Лопушнянському (2,7 тис. га), Мигівському (2,1 тис. га) та Вижницькому НПП (4,9 тис. га), що свідчить про наявність на цій території сприятливих лісорослинних умов для росту цього деревного виду.

Ялина європейська у низькогірній частині БК, порівняно з буком та ялицею, посідає значно меншу площу – лише 4,1 тис. га (11,2 %) із загальним запасом 1275 тис. м³ (12,7%). Основні площі ялини зосереджені у Вижницькому НПП (1,2 тис. га), Розтоківському (873 га) та Банилівському (487 га) лісництвах. У цих умовах (до 800 м н.р.м.) ялина росте переважно в ялицевих типах лісу, формуючи похідні насадження, іноді – доволі високої продуктивності, але низької біотичної стійкості.

Отже, три головні лісотвірні деревні види – бук лісовий, ялиця біла та ялина європейська формують 95,7% площі та 97,3% загального запасу деревини на території низькогірної частини Буковинських Карпат

Серед супутніх листяних деревних видів найбільше поширена береза повисла, частка площі якої становить 1,4, запасу – 1,3%. Менші площі займають вільха сіра, дуб червоний, граб звичайний та дуб звичайний (128,3 га; 37,88 тис. м³). Участь кожного з цих деревних видів не перевищує 1% загальної площі, проте їхня наявність у складі деревостанів суттєво підвищує породне різноманіття лісів. Інші деревні види представлені незначними площами.

Локально на території низькогірної частини Буковинських Карпат трапляються насадження за перевагою в їхньому складі інтродукованих видів – дуба червоного, робінії звичайної, псевдотсуги Мензіса, горіха грецького.

Отже, породна структура деревостанів є типовою для низькогірної частини Буковинських Карпат. Її основу формують високопродуктивні букові, ялицеві та ялинові насадження, тоді як інші деревні види виконують переважно супутню та екологічно важливу роль, забезпечуючи біорізноманіття, підвищуючи стійкість лісових екосистем і формуючи складні за породним складом мішані деревостани.

Розподіл деревних видів за площами та запасами стовбурової деревини середньогірної частини Буковинських Карпат дещо відрізняється від такої у низькогір'ї (табл. 3). Насамперед, видовий склад середньогір'я помітно бідніший, ніж низькогір'я (відповідно 15 і 24 деревні види).

Середньогірна частина Буковинських Карпат характеризується загальною площею лісостанів 41,8 тис. га із сумарним запасом

деревини 12756 тис. м³, що, відповідно, на 13,8 та 26,9% більше, ніж у низькогірній частині регіону. Це засвідчує значно вищий лісоресурсний потенціал середньогір'я, який формується під впливом вологішого та прохолоднішого клімату, сприятливого для розвитку високопродуктивних хвойних деревостанів.

Домінуючим деревним видом середньогірної частини є ялина європейська, площа якої становить 29,3 тис. га або близько 70,0% загальної площі деревостанів. Запас її деревини досягає 9755 тис. м³, що відповідає 76,5% загального деревного запасу середньогір'я. Найбільші площі ялинових лісів зосереджені в Усть-Путильському, Сергіївському, Карпатському, Чемернарському, Шурдинському та Путильському лісництвах, де вони формують основу лісового покриву регіону. Таке переважання ялини є характерною рисою середньогірного поясу Буковинських Карпат.

Суттєво меншу площу на території середньогір'я посідає ялиця біла – 8,9 тис. га (21,2%), із запасом деревини 2 026 тис. м³ (15,9%). Найбільші масиви ялицевих насаджень зосереджені у Чемернарському, Лопушнянському, Фальківському та Лаурському лісництвах.

Бук представлений ще меншою площею (3,1 тис. га або 7,4%) із запасом деревини 889 тис. м³ або 7,0%. Основні площі букових насаджень приурочені до Лопушнянського, Чемернарського, Фальківського, Карпатського та Лаурського лісництв. Порівняно з низькогірною частиною регіону його участь різко зменшується, що відображає закономірну зміну видового деревного складу зі збільшенням висоти над рівнем моря.

Із інших деревних видів відносно розповсюдженими є вільха сіра (322 га) та береза повисла (247 га). Деревостани решти деревних видів представлені невеликими площами і не мають істотного впливу на загальну структуру лісового фонду.

Порівняння видової структури деревостанів низькогірної та середньогірної частин Буковинських Карпат свідчить про чітко виражену висотну диференціацію лісової рослинності. Якщо у низькогірній частині підрайону основу лісів формують бук лісовий (43,4% площі) та ялиця біла (41,1%), а ялина європейська займає лише 11,2% вкритих лісовою рослинністю ділянок, то у середньогір'ї спостережено суттєву зміну у співвідношенні площ лісостанів деревних видів: частка ялини збільшується до близько 70%, тоді як участь ялиці зменшується до 21,2, а бука – до 7,4%.

Таблиця 3. Розподіл деревних видів за площами (га) та запасами стовбурової деревини (тис. м³) у середньогірній частині Буковинських Карпат.
Table 3. Distribution of tree species by area (ha) and stemwood growing stock (thous. m³) in the mid-mountain part of the Bukovynian Carpathians

Деревний вид	Лісгосподарські одиниці														Всього
	Конятинське	Карпатське	Усть-Путинське	Путинське	Путинське	Серпівське	Шурдинське	Селятинське	Липівське	Розтоківське	Лопушнинське	Гірсько-Кутське	Чемарнаське	Фальківське	Лаурицьке
Ялина	442.1	3471.4	4184.9	422.2	3657.4	2950.5	2496.1	1205.4	843.7	438.1	4132.6	2096.8	2589.5	345.7	29276.4
європейська	110.22	729.68	1472.83	135.91	1261.55	696.24	907.40	268.32	192.60	166.73	1539.80	881.36	1291.71	101.01	9755.36
Ялиця	—	28.9	469.7	34.3	25.0	49.4	10.7	—	56.6	1391.3	3704.0	1759.3	1187.3	153.5	8870.0
біла	—	4.30	147.44	6.52	6.12	5.97	3.65	—	8.81	348.91	745.15	392.20	332.47	25.02	2026.56
Бук	16.9	408.5	295.3	7.9	84.7	63.4	1.4	2.7	3.5	369.1	619.9	612.7	224.7	366.2	3077.0
лісовий	4.72	95.36	94.64	2.84	38.72	20.47	0.08	0.74	2.87	130.78	175.33	172.35	67.72	82.84	889.46
Більха	11.9	114.4	10.8	—	4.1	—	2.5	11.8	40.1	54.8	26.9	8.9	24.1	11.6	321.9
сіра	2.04	14.10	2.28	—	0.60	—	0.24	1.67	4.66	5.61	2.57	0.84	2.52	1.18	38.31
Береза	0.4	80.2	27.7	—	0.9	0.6	1.1	—	7.4	7.3	16.3	6.6	—	98.8	247.3
повисла	0.04	9.52	6.12	—	0.18	0.13	0.19	—	1.83	1.28	1.86	0.62	—	16.43	38.20
Клен-явір	—	4.6	—	—	—	—	—	—	4.9	4.7	—	1.8	—	6.9	22.9
Горіх	—	0.43	—	—	—	—	—	—	0.85	0.49	—	0.32	—	0.63	2.72
Горіх звичайний	—	5.3	—	—	—	—	—	—	—	—	—	1.5	—	1.0	7.8
Сосна	—	0.61	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.17	—	0.12	0.90
звичайна	—	—	—	—	—	—	5.6	—	—	—	—	—	—	—	5.6
Модрина	—	—	—	—	—	—	2.15	—	—	—	—	—	—	—	2.15
європейська	—	—	—	1.8	0.7	3.4	—	—	—	—	—	—	—	—	5.9
Дуб-червоний	—	—	—	0.05	0.36	0.98	—	—	—	—	—	—	—	—	1.39
Верб	—	—	—	—	0.8	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.8
біла	—	—	—	—	0.23	—	—	0.3	—	—	—	0.5	—	—	0.23
Ясен	—	—	—	—	—	—	0.6	0.04	0.03	—	—	0.05	—	—	1.4
звичайний	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	0.12
Верб-ламка	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Осіка	—	—	—	—	—	—	—	—	0.1	—	—	—	—	—	0.1
Сосна-кедрова	—	2.8	—	—	—	—	—	—	0.01	—	—	—	—	—	0.01
європейська	—	0.16	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	2.8
Разом	471.3	4118.6	4988.4	466.2	3773.6	3067.3	2518.0	1220.3	956.2	2266.4	8501.7	4486.1	4026.6	982.7	41843.4
Разом	117.02	854.50	1723.31	145.32	1307.76	723.79	913.75	270.77	211.62	653.94	2464.92	1447.69	1694.54	227.11	12756.04

Примітка. У чисельнику – площа (га), у знаменнику – запас стовбурової деревини (тис. м³)

Нас переводить до розділу

Подібні тенденції стосуються і розподілу деревного запасу. У низькогірній частині найбільшу частку запасу формують деревостани бука лісового (49,0% загального запасу), дещо меншу – деревостани ялиці білої (35,5%), тоді як частка ялини становить лише 12,7%. У середньогірній частині спостережено протилежну тенденцію: 76,5% запасу припадає на ялину європейську, тоді як частка запасу ялиці білої становить 15,9, а бука лісового – лише 7,0%.

Важливою особливістю Буковинських Карпат є також зміни у видовому складі. У низькогірній частині значно ширше представлені береза, дуби, вільха, граб, осика та інші листяні породи. У середньогір'ї їхня участь різко скорочується, що пояснюється погіршенням умов для їх росту зі збільшенням висоти над рівнем моря та зниженням середньорічних температур. Натомість різко посилюється домінування хвойних деревостанів, насамперед ялини європейської. Основні показники відображені в табл. 4.

Таблиця 4. Розподіл площі, загального запасу та видового складу деревостанів Буковинських Карпат за висотними зонами

Table 4. Distribution of area, total growing stock, and species composition of forest stands in the Bukovynian Carpathians by altitudinal zones

Показник	Низькогірна частина	Середньогірна частина
Загальна площа, га	36 779,3	41 843,4
Загальний запас, тис. м³	10 053,74	12 756,04
Частка бука, %	43,4	7,4
Частка ялиці, %	41,1	21,2
Частка ялини, %	11,2	70,0

Отримані результати щодо розподілу площ і запасів лісостанів деревних видів відповідають закономірностям висотної поясності Українських Карпат. Низькогірний пояс характеризується переважанням букових і буково-ялицевих деревостанів із домішкою ялини, тоді як у середньогір'ї відбувається поступовий перехід до ялинових та ялицево-ялинових лісів. Такі зміни зумовлені комплексною дією кліматичних чинників, насамперед зниженням температури повітря, скороченням вегетаційного періоду, збільшенням кількості атмосферних опадів і тривалості снігового покриву, що створює оптимальні умови для формування високопродуктивних хвойних лісів.

Таким чином, із переходом від низькогір'я до середньогір'я відбувається зміна домінування від буково-ялицевих до ялинових деревостанів.

Вікова структура лісостанів Буковинських Карпат є дещо розбалансованою (табл. 5). Аналізуючи розподіл вікових груп деревостанів за площею стосовно трьох основних лісотвірних деревних видів необхідно зауважити, що найбільшу частку серед ялинових лісостанів посідають середньовікові деревостани (44,2%); подібну частку займають молодняки I і II класів та пристиглі деревостани (11,1-14,9%); дещо меншу частку – стиглі (11,1%) та зовсім незначну – перестійні деревостани (1,9%).

Таблиця 5. Розподіл лісостанів за площею та запасом стовбурової деревини на вкритих лісовою рослинністю землях в межах вікових груп

Table 5. Distribution of forest stands by area and stemwood growing stock on the forested lands within year classes

Деревний вид	Вікові групи						Разом
	Молодняки I класу	Молодняки II класу	Середньовікові	Пристиглі	Стиглі	Перестійні	
Ялина європейська	4991,2 125,31	4513,8 631,63	14747,3 6004,72	4804,8 2210,43	3720,6 1758,58	628,7 299,86	33406,4 11030,53
Ялиця біла	6584,2 157,79	6512,1 815,35	4510,6 1733,93	1492,7 682,86	3535,8 1580,43	1353,8 627,35	23989,2 5597,71
Бук лісовий	2220,3 64,88	1546,5 178,26	7977,0 2873,76	3127,2 1209,69	3609,8 1308,94	562,6 184,49	19043,4 5820,02
Береза повисла	53,0 0,76	118,7 8,53	341,3 56,78	88,6 21,96	163,1 32,84	5,8 1,72	770,5 122,59
Вільха сіра	4,3 0,08	57,6 2,22	33,7 2,41	101,9 10,54	261,6 36,65	83,7 12,79	542,8 64,69
Дуб червоний	24,7 1,33	45,6 8,21	91,1 29,7	29,0 9,53	16,7 4,76	–	207,1 53,53

Продовження таблиці 5

Граб	8,2	5,5	72,7	12,8	39,2	14,2	152,6
звичайний	0,22	0,36	9,46	1,63	7,10	2,53	21,3
Дуб	20,5	28,2	41,1	15,4	12,8	10,3	128,3
звичайний	0,99	5,08	15,18	6,54	5,15	4,94	37,88
Клен-явір	15,4	37,7	46,3	—	—	—	99,4
	0,53	4,95	8,13	—	—	—	13,61
Осика	9,5	16,4	11,6	15,9	28,7	5,2	87,3
	0,42	1,17	1,23	3,02	5,65	1,20	12,69
Вільха	—	3,9	27,7	14,2	4,7	—	50,5
чорна	—	0,12	4,93	2,11	0,71	—	7,87
Модрина	6,6	7,3	17,8	4,2	4,7	2,7	43,3
європейська	0,22	1,47	4,81	0,90	1,63	0,75	9,78
Верба біла	1,1	4,6	3,9	12,1	3,9	0,4	26,0
	0,01	0,06	0,35	1,36	0,42	0,04	2,24
Псевдотсуга	1,6	4,8	8,6	2,8	2,2	—	20,0
Мензіса	0,13	0,86	2,11	0,88	0,75	—	4,73
Сосна кедрова	5,3	5,1	6,6	—	—	1,1	18,1
європейська	0,10	0,37	1,05	—	—	0,14	1,66
Сосна	—	0,5	13,4	—	1,2	—	15,1
звичайна	—	0,13	4,55	—	0,47	—	5,15
Ясен	—	—	6,0	4,2	1,4	—	11,6
звичайний	—	—	1,38	0,53	0,21	—	2,12
Яблуня	—	1,8	—	—	—	—	1,8
лісова	—	0,04	—	—	—	—	0,04
Горіх грецький	—	1,8	—	—	—	—	1,8
	—	0,14	—	—	—	—	0,14
Клен гост-ролистий	—	—	1,7	—	—	—	1,7
	—	—	0,36	—	—	—	0,36
Робінія	—	0,6	1,0	—	—	—	1,6
звичайна	—	0,02	0,05	—	—	—	0,07
Дуб	—	—	1,5	—	—	—	1,5
скельний	—	—	0,30	—	—	—	0,30
Тополя чорна	—	—	1,5	—	—	—	1,5
	—	—	0,16	—	—	—	0,16
Липа	—	—	0,6	—	—	—	0,6
дрібнолиста	—	—	0,09	—	—	—	0,09
Верба ламка	—	0,1	—	—	—	—	0,1
	—	0,01	—	—	—	—	0,01
Всього	13945,9	12912,6	27962,5	9725,8	11406,4	2668,5	78621,7
	352,77	1658,98	10755,44	4162,49	4744,29	1135,81	22809,78

Примітка. У чисельнику – площа (га), у знаменнику – запас стовбурової деревини (тис. м³)

Відносно подібним розподілом площі за віковими групами характеризуються і букові лісостани. Так, середньовікові (41,8%), пристиглі і стиглі деревостани займають, відповідно, 41,8; 16,4 та 19%, молодняки I і II класів – 11,7 та 8,1% площі. Найменшу частку площі посідають перестійні деревостани (3,0%).

Серед ялицевих деревостанів за площею переважають молодняки I і II класів віку (27,4 та 27,1%). Меншу частку площі займають середньовікові (18,8%) та стиглі (14,7%) деревостани і найменшу – пристиглі та перестійні (6,2 і 5,6%) деревостани.

Частка запасу деревостанів ялини, ялиці та бука залежить від площі і вікової групи: у молодняках I класу вона становить 1-3%, II класу – 6-15%, у середньовікових – 31-55%,

пристиглих – 12-20%, стиглих – 16-28% та перестійних деревостанах – 3-11%.

Загалом, в межах низькогірної та середньогірної частин підрайону перевага за площею і запасом належить середньовіковим деревостанам (35,6 і 47,2%). Доволі значну частку площі займають молодняки I і II класів (17,7 та 16,4%), хоча вони нагромаджують незначну частку деревини (1,5 та 7,3%). Стиглі деревостани посідають низьку частку як за площею, так і за запасом (14,4 та 20,8% відповідно) (рис.).

Нерівномірна вікова структура ялинових лісостанів зумовлена, насамперед, кліматичними змінами, які стали причиною всихання ялини європейської на значних площах, що зумовило проведення санітарних рубок, зменшення площі насаджень з перевагою у складі цього деревного

виду, порушення вікової структури деревостанів. На місці всохлих ялинників створюють лісові культури з перевагою у складі ялиці білої, про

що свідчить значна площа молодняків I і II класів віку цього деревного виду на території Буковинських Карпат (27,4 та 27,1% відповідно).

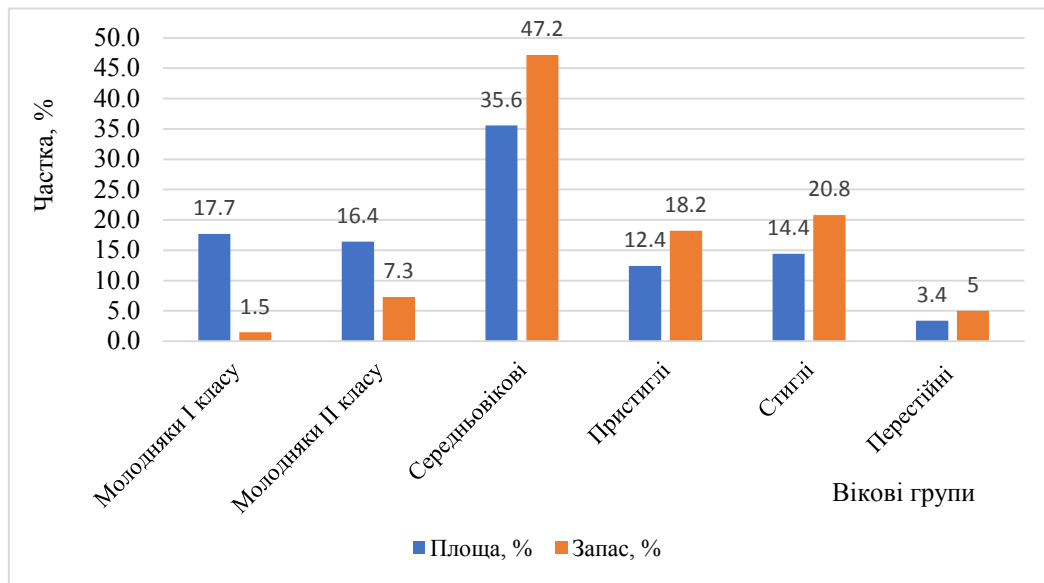


Рис. Розподіл деревостанів Буковинських Карпат за площею і запасами деревини у межах вікових груп
Fig. Distribution of forest stands in the Bukovynian Carpathians by area and growing stock across year classes

Лісостани Буковинських Карпат є доволі високобонітетними (табл. 6). Так деревостани I і вище класів бонітету посідають 80,6% вкритих лісовою рослинністю земель, зокрема деревостани I^a та I^b класів бонітету – 21,6%. Найбільшою часткою площ представлені деревостани I бонітету (59,0%). Деревостани нижчих класів бонітету (II, III, IV і V) посідають незначні частки площі (15,8; 2,7; 0,8 та 0,1% відповідно).

Головні лісотвірні деревні види Буковинських Карпат – бук лісовий, ялина європейська, ялиця біла відзначаються найвищими класами бонітету. Незважаючи на значне погіршення біотичної стійкості ялини європейської у зв'язку зі зміною клімату, насадження за її участю достатньо високобонітетні. Високими бонітетами відзначаються також лісостани берези повислої, вільхи чорної, модрини європейської, псевдотсуги Мензіса.

Таблиця 6. Розподіл насаджень на вкритих лісовою рослинністю землях за класами бонітету, га
Table 6. Distribution of forest stands in the forested areas by site classes, ha

Деревний вид	Класи бонітету								Разом
	I ^c	I ^b	I ^a	I	II	III	IV	V	
Ялина європейська	32,6	806,6	9460,6	18268,1	3845,6	693,3	269,8	29,8	33406,4
Ялиця біла	7,1	269,2	3857,8	16098,4	3036,6	476,5	208,9	34,7	23989,2
Бук лісовий	–	147,2	1988,4	11102,2	5045,1	637,3	123,2	–	19043,4
Береза повисла	1,7	9,1	128,5	431,8	175,0	22,3	0,7	1,4	770,5
Вільха сіра	–	0,7	12,9	113,1	203,3	182,3	30,5	–	542,8
Дуб червоний	–	86,6	70,5	45,7	4,3	–	–	–	207,1
Граб звичайний	–	–	–	13,6	51,4	66,9	20,7	–	152,6
Дуб звичайний	–	–	17,6	56,4	37,4	12,7	4,2	–	128,3
Клен-явір	–	–	25,6	55,9	11,1	6,8	–	–	99,4

Продовження таблиці 6

Осика	–	–	30,5	39,5	10,4	4,8	2,1	–	87,3
Вільха чорна	–	–	0,6	23,3	15,9	10,7	–	–	50,5
Модрина європейська	–	16,3	8,6	18,1	0,3	–	–	–	43,3
Верба біла	–	1,3	1,2	15,1	6,2	0,7	1,5	–	26,0
Псевдотсуга Мензіса	2,1	6,2	9,4	1,3	1,0	–	–	–	20,0
Сосна кедрова європейська	–	–	–	–	3,2	9,4	4,2	1,3	18,1
Сосна звичайна	0,3	0,5	5,7	4,8	3,8	–	–	–	15,1
Ясен звичайний	–	–	3,7	7,9	–	–	–	–	11,6
Яблуня лісова	–	–	–	–	0,9	0,4	0,5	–	1,8
Горіх грецький	–	–	–	–	–	–	1,8	–	1,8
Клен гост- ролистий	–	–	–	1,7	–	–	–	–	1,7
Робінія звичайна	–	–	–	0,5	1,1	–	–	–	1,6
Дуб скельний	–	–	–	–	1,5	–	–	–	1,5
Тополя чорна	–	–	1,5	–	–	–	–	–	1,5
Липа дрібнолиста	–	–	–	0,3	0,3	–	–	–	0,6
Верба ламка	–	–	–	0,1	–	–	–	–	0,1
Разом	43,8	1343,2	15623,1	46297,8	12454,4	2124,1	668,1	67,2	78621,7

Аналіз розподілу насаджень за класами бонітету підтверджує наявність високого природно-кліматичного потенціалу лісових площ, що дає змогу запроваджувати перспективні заходи з підвищення рівня фактичної продуктивності лісових ділянок, насамперед, за рахунок введення перспективних швидкорослих деревних видів – модрин європейської та Кемпфера, псевдотсуги Мензіса, дуба червоного (Дебринюк, Гузь, 2024).

Під час розподілу лісостанів Буковинських Карпат за відносними повнотами до високоповнотних відносили деревостани з повнотою 0,91-1,0; до середньоповнотних – 0,61-0,90; до низькоповнотних – 0,31-0,60. Деревостани з повнотою 0,3 і менше зараховували до рідколісь.

Насадження регіону загалом є середньоповнотними, площа і частка яких суттєво переважає (52688 га або 66,9%) (табл. 7).

Низькоповнотні деревостани займають відносно невелику площу (23444,8 га або 29,9%). Частка рідколісь і високоповнотних деревостанів незначна і доволі подібна (відповідно, 1,5 та 1,7%). Найбільшу частку у лісовому фонді Буковинських Карпат займають середньоповнотні насадження з повнотою 0,71-0,80 (30,2%) та 0,61-0,70 (25,1%).

Доволі складно виділити деревний вид, деревостани якого відзначалися б найвищою повнотою. Поділ деревостанів за повнотами для кожного деревного виду подібний до такого для деревостанів Буковинських Карпат в цілому. Однак, для основних лісотвірних деревних видів розподіл площ за повнотами має деяку специфіку, що зумовлено передусім лісогосподарською діяльністю, хоча певний вплив можуть мати й інші чинники.

Таблиця 6. Розподіл насаджень на вкритих лісовою рослинністю землях за відносними повнотами, га

Table 6. Distribution of forest stands in the forested areas according to relative density, ha

Деревний вид	Повноти								Разом
	0,30 і менше	0,31- 0,40	0,41- 0,50	0,51- 0,60	0,61- 0,70	0,71- 0,80	0,81- 0,90	0,91- 1,00	
Ялина європейська	288,2	830,2	1801,1	4083,5	8011,0	12641,1	5322,7	428,6	33406,4
Ялиця біла	422,1	1505,6	1817,7	3756,4	6370,8	7010,7	2358,1	747,8	23989,2
Бук лісовий	399,7	1524,4	2820,8	4241,6	4795,3	3688,5	1405,7	167,4	19043,4
Береза повисла	5,3	86,4	85,5	137,9	219,4	163,3	72,7	–	770,5
Вільха сіра	13,7	64,4	79,8	181,2	131,6	62,5	9,6	–	542,8
Дуб червоний	–	–	4,2	97,6	62,1	31,2	12,0	–	207,1
Граб звичайний	1,6	9,6	35,3	51,1	40,8	12,2	–	–	152,6
Дуб звичайний	–	6,8	23,8	8,9	6,4	69,8	12,6	–	128,3
Клен-явір	1,9	6,6	20,7	19,9	19,5	28,9	1,9	–	99,4
Осика	–	6,4	19,2	23,6	24,3	12,1	1,7	–	87,3
Вільха чорна	8,7	6,7	5,2	16,6	12,5	0,8	–	–	50,5
Модрина європейська	2,4	0,4	7,2	7,6	7,3	9,8	8,6	–	43,3
Верба біла	0,4	1,8	0,7	5,6	3,2	10,9	3,4	–	26,0
Псевдотс. Мензіса	–	–	2,5	3,6	10,4	2,4	1,1	–	20,0
Сосна кедр. європейська	1,1	3,2	9,4	2,8	1,6	–	–	–	18,1
Сосна звичайна	–	–	1,8	4,4	2,8	2,1	4,0	–	15,1
Ясен звичайний	–	2,8	–	3,2	5,6	–	–	–	11,6
Яблуна лісова	–	–	1,3	0,5	–	–	–	–	1,8
Горіх грецький	–	–	1,8	–	–	–	–	–	1,8
Клен гостролистий	–	–	1,7	–	–	–	–	–	1,7
Робінія звичайна	–	1,1	–	–	0,5	–	–	–	1,6
Дуб скельний	–	–	–	1,5	–	–	–	–	1,5
Тополя чорна	–	–	–	0,5	1,0	–	–	–	1,5
Липа дрібнолиста	–	–	0,6	–	–	–	–	–	0,6
Верба ламка	–	–	–	0,1	–	–	–	–	0,1
Разом	1145,1	4056,4	6740,3	12648,1	19727,6	23746,3	9214,1	1343,8	78621,7

Так, найбільша частка лісостанів бука лісового представлена середньоповнотними (0,61-0,70) та низькоповнотними (0,51-0,60) деревостанами (відповідно, 25,2 та 22,3%). Найбільша частка деревостанів ялиці білої є середньоповнотною (0,61-0,70 – 26,6% та 0,71-0,80 – 29,2%).

Незважаючи на значне всихання ялини європейської внаслідок кліматичних змін, все ж найпоширенішими є середньоповнотні деревостани деревного виду (0,61-0,70 – 24,0% та 0,71-0,80 – 37,8%). Поряд з цим, частка низькоповнотних ялинників є відносно невеликою (20,1%). Пояснення полягає в тому, що такі насадження зазвичай відводять під суцільні рубки, оскільки низькоповнотні ялинники характеризуються пришвидшеним всиханням.

У лісовому фонді БК виявлено невелику площу рідколісь (1,1 тис. га або 1,5%), проте вони характерні не лише для малостійкої ялини європейської, але й для таких біотично стійких видів, як ялиця біла та бук лісовий. Основна причина може полягати у сумісній негативній дії як абіотичних, так і антропогенних чинників.

Буковинські Карпати, посідаючи відносно невелику площу, відзначаються великою різноманітністю типів лісу, що пояснюється, насамперед, значним висотним діапазоном території.

Так, у лісовому фонді регіону зафіксовано 43 типи лісу, з яких чотири суборових, 23 сугрудових та 16 грудових.

Суборові типи лісу на території Буковинських Карпат займають невелику площу (665,2 га або 0,8%) і найбільшою мірою представлені вологим чистосмерековим субором (табл. 7). Значно меншу площу посідає вологий ялицево-смерековий субір (42,2 га), що поширений на північних і західних схилах. Інші два типи лісу є рідкісними не лише у Буковинських Карпатах, але й в Українських Карпатах загалом, будучи приуроченими до схилів північних або південних експозицій.

Найбільшою різноманітністю відзначаються сугрудові типи лісу, в межах яких виділено п'ять груп типів лісу (див. табл. 7). Найбільш розповсюдженою з них є смерекова група, яка вміщає шість типів лісу і займає площу близько 42 тис. га. Серед типів лісу найпоширенішими є три – волога буково-ялицева сушмеречина, волога високогірна сушмеречина та волога ялицева сушмеречина, які займають, відповідно, 62,2 24,7 і 12,5% вкритих лісовою рослинністю земель сугрудових типів лісу. Інші типи лісу розповсюджені слабо.

Таблиця 7. Розподіл насаджень на вкритих лісовою рослинністю землях за типами лісу
Table 7. Distribution of forest stands in the forested areas according to forest types

Назва та індекс типу лісу	Площа, га	Примітки
Суборові типи лісу		
Вологий чистосмерековий субір (B_3-CM)	618,6	Поширений на стрімких випуклих схилах (20-30 ⁰) на висотах понад 1000 м н.р.м.
Вологий ялицево-смерековий субір ($B_3-яцCM$)	42,2	Посідає схили північних і західних експозицій на висотах 650-1300 м н.р.м.
Свіжий чистобуковий субір (B_2-BK)	2,3	Займає північні схили на висотах 450-500 м н.р.м.
Свіжий дубово-сосновий субір ($B_2-дC$)	2,1	Трапляється зрідка, в основному на схилах південних експозицій до 500 м н.р.м.
Всього по суборах	665,2	
Сугрудові типи лісу		
<i>Смерекова група типів лісу</i>		
Волога буково-ялицева сушмеречина ($C_3-бк-яцCM$)	26126,5	Займає схили північних експозицій на висотах 800-1200 м н.р.м.
Волога високогірна сушмеречина (C_3-CM)	10386,1	Займає схили північних експозицій на висотах 1000-1500 м н.р.м.
Волога ялицева сушмеречина ($C_3-яцCM$)	5239,0	Поширена на північних схилах на висотах 850-1300 м н.р.м.
Свіжа буково-ялицева сушмеречина ($C_2-бк-яцCM$)	174,2	Поширена на схилах південних експозицій на висотах 850-1250 м н.р.м.
Сира чиста сушмеречина (C_4-CM)	39,9	Поширена фрагментарно по невеликих пониженнях на висотах 800-1450 м н.р.м.
Сира буково-ялицева сушмеречина ($C_4-бк-яцCM$)	32,9	Поширена рідко по невеликих пониженнях на висотах 800-1400 м н.р.м.
Разом	41998,6	

<i>Ялицева група типів лісу</i>		
Волога смереково-букова суяличина (C_3 - $см-бкЯц$)	14928,2	Широко розповсюджена в межах висот 600-900 м н.р.м.
Волога букова суяличина (C_3 - $бкЯц$)	109,0	Поширена на схилах північних експозицій на висотах 600-800 м н.р.м.
Волога дубово-букова суяличина (C_3 - $д-бкЯц$)	20,3	Поширена на схилах різних експозицій на висотах 400-600 м н.р.м.
Сира смереково-букова суяличина (C_4 - $см-бкЯц$)	0,8	Трапляється дуже рідко по рівнинних місцях на висотах 600-850 м н.р.м.
Разом	15058,3	
<i>Букова група типів лісу</i>		
Волога смереково-ялицева субучина (C_3 - $см-яцБк$)	1292,4	Займає схили північних експозицій в межах 600-800 м н.р.м.
Волога грабова субучина (C_3 - $гБк$)	92,8	Посідає схили північних експозицій на висотах 250-600 м н.р.м.
Волога ялицева субучина (C_3 - $яцБк$)	71,3	Трапляється на схилах північних експозицій в межах 600-900 м н.р.м.
Свіжа смереково-ялицева субучина (C_2 - $см-яцБк$)	47,4	Поширена на випуклих частинах південних схилів на висотах 700-950 м н.р.м.
Волога грабово-ялицева субучина (C_3 - $г-яцБк$)	46,3	Посідає схили північних експозицій на висотах 500-650 м н.р.м.
Свіжа грабова субучина (C_2 - $гБк$)	13,8	Поширена на випуклих схилах різних експозицій на висотах 250-600 м н.р.м.
Волога чиста субучина (C_3 - $Бк$)	9,5	Займає північні схили вище межі поширення граба в межах 600-900 м н.р.м.
Разом	1573,5	
<i>Вільхова група типів лісу</i>		
Сира сусіривільшина (C_4 - $Влс$)	426,5	Поширена у заплавах гірських річок та потоків в межах висот 500-1200 м н.р.м.
Сира сучорновільшина (C_4 - $Влч$)	30,7	Трапляється рідко на понижених місцях на висотах до 500 м н.р.м.
Вологий зеленівільховий сугруд (C_3 - $Влз$)	4,6	Трапляється невеликими осередками на висотах 1200-1400 м н.р.м.
Разом	461,8	
<i>Дубова група типів лісу</i>		
Волога грабова судіброва (C_3 - $гД$)	76,3	Займає рівнинні або понижені місцях на висотах до 450 м н.р.м.
Свіжа грабова судіброва (C_2 - $гД$)	8,9	Займає схилі місцях на висотах до 350 м н.р.м.
Свіжа грабова судіброва дуба скельного (C_2 - $гДск$)	6,0	Займає стрімкі південні схили на висотах 300-400 м н.р.м.
Разом	91,2	
Всього по сугрудах	59183,4	
<i>Грудові типи лісу</i>		
<i>Ялицева група типів лісу</i>		
Волога смереково-букова яличина (D_3 - $см-бкЯц$)	12655,5	Займає схили північних експозицій на висотах 600-1000 м н.р.м.
Волога букова яличина (D_3 - $бкЯц$)	374,1	Займає схили північних експозицій на висотах 500-1000 м н.р.м.
Волога грабово-букова яличина (D_3 - $г-бкЯц$)	11,0	Поширена на схилах всіх експозицій, окрім південних, на висотах 350-600 м н.р.м.
Разом	13040,6	

<i>Смерекова група типів лісу</i>		
Волога буково-ялицева смеречина (D_3 - $бк-яцСм$)	3091,1	Поширена на схилах всіх експозицій, окрім південних, на висотах 800-1200 м н.р.м.
Сира чиста смеречина (D_4 - $См$)	2,0	Поширена повсюдно на висотах 850-1450 м н.р.м.
Разом	3093,1	
<i>Букова група типів лісу</i>		
Волога смереково-ялицева бучина (D_3 - $см-яцБк$)	1991,5	Широко розповсюджена на схилах північних експозицій на висотах 700-900 м н.р.м.
Волога ялицева бучина (D_3 - $яцБк$)	353,1	Широко розповсюджена на схилах північних експозицій на висотах 500-800 м н.р.м.
Волога чиста бучина (D_3 - $Бк$)	107,7	Займає північні схили за межею поширення граба на висотах 600-800 м н.р.м.
Свіжа грабова бучина (D_2 - $зБк$)	36,1	Трапляється рідко на схилах південних експозицій до висоти 600 м н.р.м.
Волога грабово-ялицева бучина (D_3 - $з-яцБк$)	24,5	Розповсюджена повсюдно в межах висот 300-600 м н.р.м.
Волога грабова бучина (D_3 - $зБк$)	23,3	Слабо поширена на схилах північних експозицій до 600 м н.р.м.
Разом	2536,2	
<i>Дубова група типів лісу</i>		
Свіжа грабова діброва (D_2 - $зД$)	26,1	Слабо поширена на схилових місцезонах на висотах до 300 м н.р.м.
Волога грабова діброва (D_3 - $зД$)	20,5	Слабо поширена на рівнинних місцезонах на висотах до 400 м н.р.м.
Волога букова діброва (D_3 - $бкД$)	4,8	Трапляється дуже рідко на схилах північних експозицій на висотах 300-500 м н.р.м.
Разом	51,4	
<i>Вільхова група типів лісу</i>		
Сира сіровільшина (D_4 - $Влс$)	44,8	Поширена у заплавах гірських річок та потоків в межах висот 500-1200 м н.р.м.
Сира чорновільшина (D_4 - $Влч$)	7,0	Трапляється рідко на пониженнях місцезонах на висотах до 500 м н.р.м.
Разом	51,8	
Всього по горах	18773,1	
Всього по регіону	78621,7	

Ялицева група представлена чотирма типами лісу серед сугрудових умов, знаходячись на другому місці за поширеністю, і займаючи трохи більше 15 тис. га. У цій групі типів лісу майже всю площу посідає волога смереково-букова суяличина (99,1%). Усі типи лісу розташовані в межах 400-900 м н.р.м. з бурими гірсько-лісовими опідзоленими ґрунтами на елюві-делювії карпатського флішу.

Букова група представлена сімома типами лісу серед сугрудових умов і знаходиться на третьому місці, займаючи площу близько 1,6 тис. га (див. табл. 7). Як і в ялицевій групі, у цій групі переважаючим є один тип лісу – волога смереково-ялицева субучина, яка посідає 82,1%

від цієї групи типів лісу. Найменш розповсюдженими є свіжа грабова субучина та волога чиста субучина (відповідно, 0,9 та 0,6%). П'ять зі семи типів лісу представлені вологим гіротопом.

Вільхова група типів лісу в межах сугрудових умов займає невелику площу (близько 462 га або 0,8%). Майже всю площу групи займає сира сіровільшина (92,4%). Слабо поширеним типом лісу є вологий зелено вільховий сугруд, який посідає площу не більше 5 га.

Дубова група типів лісу в межах сугрудових умов є найменш поширеною і займає площу дещо більшу 90 га. Найпоширенішим типом лісу є волога грабова судіброва (C_3 - $зД$), яка займає 83,7% вкритої лісом площі цієї групи, хоча

загалом серед сугрудових типів лісу її частка становить лише 0,1%.

Площа грудових типів лісу є помітно меншою, ніж сугрудових. Грудові умови також представлені п'ятьма групами типів лісу, однак найпоширенішою з них, на відміну від сугрудових типів, є ялицева група (69,5%). Смеречини і бучини посідають подібну частку площі (16,4 та 13,5%). Інші групи типів лісу представлені слабо (див. табл. 7).

В ялицевій групі найпоширенішим є один тип лісу – волога смереково-букова яличина, яка посідає 97% від площі групи. Всі три типи лісу представлені вологим гігروتотом.

Смерекова група типів лісу представлена двома типами, але волога буково-ялицева смеречина посідає майже всю площу. Сира чиста смеречина трапляється фрагментарно.

Бучини у Буковинських Карпатах загалом займають невелику площу (2,5 тис. га або 13,5% серед грудових типів лісу), серед яких найрозповсюдженішими є один тип лісу – волога сме-

реково-ялицева бучина (2,0 тис. га або 78,5%). Інші два типи лісу – волога ялицева бучина та волога чиста бучина посідають значно меншу частку (13,9 і 4,2%). Інші типи лісу розповсюджені незначно.

Дубова група представлена трьома типами лісу, однак їхня площа незначна (0,3% серед грудових типів лісу). Найпоширенішими є два типи лісу – свіжа та волога грабові діброви, які займають площу 26,1 та 20,5 га відповідно.

Практично таку ж саму площу займає вільхова група типів лісу, яка представлена двома типами лісу з перевагою сирої сіровільшини (86,5%).

Розподіл вкритих лісовою рослинністю земель Буковинських Карпат за типами лісорослинних умов має свою специфіку. Найбільшу частину з них (75,3%) займають сугруди, 23,9% – груди, 0,8% – субори за повної відсутності борових типів лісорослинних умов (табл. 8). За гігрототом переважають вологі типи.

Таблиця 8. Площа вкритих лісовою рослинністю ділянок на території Буковинських Карпат за групами типів лісу

Table 8. Distribution of the forested areas in the territory of the Bukovynian Carpathians according to forest types

Група типів лісу	Площа за типами лісорослинних умов, га			Площа загальна, га
	В	С	Д	
Смерекова	660,8	41998,6	3093,1	45752,5
Ялицева	–	15058,3	13040,6	28098,9
Букова	2,3	1573,5	2536,2	4112,0
Вільхова	–	461,8	51,8	513,6
Дубова	–	91,2	51,4	142,6
Соснова	2,1	–	–	2,1
Всього по групах типів лісу	665,2	59183,4	18773,1	78621,7

Найрозповсюдженішою є смерекова група типів лісу, займаючи 58,2% від загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель Буковинських Карпат. Ялицева група типів лісу представлена помітно меншою часткою (35,7%). Ці дві групи типів лісу на території досліджуваного регіону є домінуючими. Букова група типів лісу займає значно меншу частку площі (5,2%).

Серед смерекових типів лісу найбільші площі лісостанів зосереджені у сугрудових типах лісорослинних умов (91,8%), серед ялицевих – у сугрудових (53,6%) та грудових (46,4%) типах, серед букових – у грудових (61,7%) типах. Частка вільхової (0,7%) та дубової (0,2%) груп типів лісу доволі низька. Серед вільхової групи превалюють сугруди (89,9%), серед дубової – також сугруди (64,0%), але зі значно меншою перевагою.

Дискусія (Discussion).

Буковинські Карпати характеризуються поєднанням низькогірної частини, вкритої буковими та ялицево-буковими лісами з терасово-долинними і котловинно-терасовими положеннями та середньогірної частини з мішаними хвойно-широколистяними лісами, де гірські хребти сягають висоти від 1080 м (г. Букова) до 1377 м (г. Шурдин). Унікальність регіону полягає в тому, що його територія охоплює практично всі рослинні висотні пояси – від дібров у низькогірній частині (300-500 м н.р.м.) до чистих сушмеречин у середньогірній частині (1000-1400 м н.р.м.) (Поляк, 2025).

Порівнюючи розповсюдженість деревних видів у Покутських Карпатах (Ванджурак та ін., 2023) з результатами досліджень по Буковинських Карпатах варто зауважити як подібні,

так і відмінні аспекти по цих підрайонах. Так, подібними залишаються кількість деревних видів по низькогірній (23 і 24 шт.) та середньогірній (16 і 15 шт.) частинах. В обох підрайонах превалюють три деревні види – бук лісовий, ялиця біла та ялина європейська. Якщо в низькогірній частині ПК і БК переважають букові насадження (13,7 та 16,0 тис. га), то друге місце за поширеністю в Буковинських Карпатах посідають деревостани ялиці (15,1 тис. га), а третє – деревостани ялини (4,1 тис. га). У Покутських Карпатах друге місце за поширеністю посідають деревостани ялини (5,2 тис. га), а третє – ялиці (2,2 тис. га). Тобто ялицеві насадження у Покутських Карпатах розповсюджені значно слабше, ніж у Буковинських.

У середньогірній частині як Буковинських, так і Покутських Карпат превалюють деревостани ялини (29,2 та 14,3 га). На території БК друге місце посідають деревостани ялиці (8,9 тис. га), тоді як на території ПК – деревостани бука (1,5 тис. га).

В обох підрайонах вікова структура лісостанів є розбалансованою, але помітно менше – на території Буковинських Карпат. Так, на території ПК (Ванджурак та ін., 2023) середньовікові деревостани займають 66%, а на території БК – лише 44,4%. Частка пристиглих (12 і 14,9%), стиглих (11,9 і 11,1%) і перестійних (1,6 і 1,9%) деревостанів на території обох підрайонів доволі подібна, а частка молодняків суттєво більша на території Буковинських Карпат (11,1 і 12,4%), тоді як в Покутських Карпатах їхня частка значно менша (3,1 і 5,4%).

Деревостани Покутсько-Буковинських Карпат загалом є високо бонітетними, однак вищі класи бонітету характерні саме для Буковинських Карпат. Якщо в ПК насадження І і вище класів бонітету займають частку 62,8% (Ванджурак та ін., 2023), то в БК – 80,6%. Розподіл деревостанів за іншими класами бонітету на території ПК і БК має такий вигляд: II – 29,6 і 15,8%, III – 5,8 і 2,7%, IV бонітет і менше – 4,8 і 0,9%.

Щодо відносної повноти насаджень, то більш високоповнотними є деревостани Буковинських Карпат. В обох підрайонах превалюють середньоповнотні деревостани (56,4 і 66,9%), проте частка низькоповнотних насаджень на території ПК більша (38,6 і 29,9%), як і рідколісь (3,1 і 1,5%). Частка високоповнотних насаджень невисока в обох підрайонах (1,9 та 1,7%). Переважаюча повнота деревостанів на території ПК і БК така: 0,61-0,70 (22,8 і 25,1%) та 0,71-0,80 (22,2 і 30,2%). Ймовірно, на території Покутських Карпат проводяться лісогосподарські

заходи більшої інтенсивності або насадження підрайону помітніше реагують на зміни клімату.

Розподіл вкритих лісовою рослинністю ділянок за типами лісорослинних на території ПК і БК має деяку специфіку: сугруди займають, відповідно, 84 і 75,3%, груди – 12 і 23,9%, субори – 4 і 0,8%. Отже, грудових умов на території Буковинських Карпат дещо більше.

Щодо розподілу типів лісу і типів лісорослинних умов на території Покутсько-Буковинських Карпат існують дані інших дослідників. Так, Кульбанська та ін. (2025) на території ПБК виділили 41 тип лісу, в межах яких формуються деревостани за участю ялиці білої. Хоча нами (Ванджурак та ін., 2023) на території району виділено лише вісім ялицевих типів лісу, наявність *Abies alba* у складі деревостанів інших типів лісу незаперечна. Дискусійний момент може стосуватися лише кількості типів лісу, у складі деревостанів яких може рости ялиця біла. На наш погляд, ця кількість типів лісу не перевищує 25-30. Наведена авторами завищена кількість може бути зумовлена списком типів лісу, якими користуються лісовпорядкувальні партії. У цих списках є низка типів лісу, які повторюються. Саме цим і може бути зумовлена дуже висока кількість типів лісу, у межах деревостанів яких дослідники встановили наявність ялиці білої.

Інше питання стосується площ типів лісорослинних умов. Кульбанська та ін. (2025) на території Покутсько-Буковинських Карпат встановили, що субори (В) на території району займають площу 1013,5 га (5,9%), сугруди (С) – 14975,6 га (85,7%), груди (D) – 1482,8 га (8,4%). Порівняно з площею вкритих лісовою рослинністю ділянок ПБК ці площі є дуже заниженими. Так, за результатами наших досліджень, в межах Буковинських Карпат встановлено такі площі ТЛУ: субори – 665 га, сугруди – 59184 га, груди – 18773 га. На території Покутських Карпат (Ванджурак та ін., 2023) ці площі є такими: В – 1528 га; С – 33362 га; D – 4857 га. Ймовірно, Кульбанська та ін. (2025) навели площі за типами лісорослинних умов, в яких ростуть деревостани лише за участю ялиці білої, що може доволі реально відображати саме цей аспект.

Висновки (Conclusions).

1. Хвойні деревні види посідають близько 52,4% площі лісів низькогірної частини Буковинських Карпат, тоді як листяні види – 47,6%. Водночас у структурі лісів домінують лише три основні лісотвірні деревні види – *Picea abies*, *Fagus sylvatica* та *Abies alba*, на які припадає понад 95% загальної площі та майже 97% загального запасу деревини.

2. Середньогірна частина Буковинських Карпат характеризується специфічною видовою структурою. Якщо в низькогірній частині перевагу мають деревостани бука та ялиці, то у середньогір'ї беззаперечним едифікатором стає ялина. Ця тенденція є одним із найважливіших проявів висотної диференціації лісової рослинності Буковинських Карпат і повинна враховуватися під час планування заходів зі сталого ведення лісового господарства, відтворення лісів та збереження їхнього біорізноманіття.

3. Вкрита лісовою рослинністю площа низькогірної частини Буковинських Карпат становить 36,8, середньогірної – 41,8 тис. га. Порівняно з низькогір'ям, у середньогірній частині помітно біднішим є видовий склад деревних рослин (відповідно, 24 і 15 види). Проте деревостани середньогір'я є більш продуктивними ($305 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), ніж низькогір'я ($273 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). У деревостанах низькогірної частини Буковинських Карпат зосереджено 10053,74 тис. м^3 , середньогірної частини – 12756,04 тис. м^3 деревного запасу.

4. Вікова структура лісостанів підрайону є розбалансованою. Так, за відносним показником найбільшу площу (44,2%) займають середньовікові насадження. Значно меншу площу займають пристиглі та стиглі лісостани (14,9 та 11,1%). Незначну частку займають перестійні насадження (1,9%), і дещо більшу частку – молодняки I і II класів віку (11,1 і 12,4%).

5. Лісостани Буковинських Карпат є доволі високобонітетними. Насадження I і вище класів бонітету займають 80,6, II бонітету – 15,8, III

бонітету – 2,7%. Насадження IV і нижче класів бонітету виявлені лише на 0,9% площі.

6. Лісостани Буковинських Карпат переважно середньоповнотні (66,9%). Низькоповнотні насадження займають площу 29,9%, рідколісся – 1,5%. Високоповнотні деревостани представлені слабо (1,7%).

7. На території регіону зафіксовано 43 типи лісу, з яких чотири суборових, 23 сугрудових і 16 грудових. Серед типів лісорослинних умов найбільшу частину (75,3%) займають сугруди, 23,9% – груди і 0,8% – субори. За гігротопом переважають вологі типи.

8. Найбільш розповсюдженою є смерекова група типів лісу, яка займає 58,2% від загальної площі вкритих лісовою рослинністю земель. Ялицева група типів лісу займає значно меншу частку (35,7%), букова група типів лісу – ще меншу (5,2%). Серед смерекових типів лісу найбільші площі насаджень зосереджені у сугрудових типах лісорослинних умов, серед ялицевих – у сугрудових і грудових, серед букових – у грудових типах.

Подяка (Acknowledgments).

Автори статті щиро вдячні Генеральному директору ВО «Укрдержліспроект» Віктору Мельниченку за сприяння щодо отримання бази даних з лісового фонду лісогосподарських підприємств Чернівецької області.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Bilyk, H. I., Holubets, M. A., Bradis, Ye. M., Andrienko, T. L., Tkachenko, V. S., Sheliag-Sosonko, Yu. R., ... Makhaieva, L. V. (1977). *Geobotanical zoning of the Ukrainian SSR* (A. I. Barbarich, Ed.). Kyiv: Scientific Thought. [Білик, Г. І., Голубець, М. А., Брадїс, Є. М., Андрієнко, Т. Л., Ткаченко, В. С., Шеляг-Сосонко, Ю. Р., ... Махаєва, Л. В. (1977). Геоботанічне районування Української РСР / за ред. А. І. Барбарич. Київ: Наукова думка. 303 с.] (in Ukrainian)
- Gensiruk, S. A., Shevchenko, S. V., Bondar, V. S., Sheliag-Sosonko, Yu. R., Koval, Ya. V., Zaitsev, V. T., & Kravchuk, Yu. P. (1981). *Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova*. Kyiv: Scientific Thought [Генсирук, С. А., Шевченко, С. В., Бондарь, В. С., Шеляг-Сосонко, Ю. Р., Коваль, Я. В., Кравчук, Ю. П. (1981). *Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии*. Киев: Наукова думка. 368 с.] (in Russian)
- Geographical encyclopedia of Ukraine* (1993). Kyiv: the M.P. Bazhan. URE. Vol. 3. pp. 54-55. [Географічна енциклопедія України (1993). Київ: УРЕ ім. М.П. Бажана. Т. 3. С. 54–55] (in Ukrainian)
- Gerenchuk, K. I. (1968). Landscapes. In K. I. Gerenchuk (Ed.), *Nature of the Ukrainian Carpathians* (pp. 208–238). Lviv: Lviv University Publishing House [Геренчук, К. І. (1968). Ландшафти. В кн.: *Природа Українських Карпат* (с. 208–238) / під ред. К. І. Геренчука. Львів: Вид-во Львів. ун-ту] (in Ukrainian)
- Giletskyi, Y. R. (2012). Natural-geographic zoning of the Ukrainian Carpathians as a basis for optimizing nature use in the region. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University: geography*, 612-613, 28–32. http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nvchnu_2012_612-613_9 [Гілецький, Й. Р. (2012). Природно-географічне районування Українських Карпат як основа оптимізації природокористування у регіоні. *Науковий*

- вісник Чернівецького університету: географія, 612-613, 28–32] (in Ukrainian)
- Gostyuk, Z. V. (2018). Anthropogenic modification of the Pokuttia Carpathian landscapes. *Ukrainian Geographical Journal*, 2, 43–50. <https://doi.org/10.15407/ugz2018.02.043>
- [Гостюк, З. В. (2018). Антропогенна модифікованість ландшафтів Покутських Карпат. *Український географічний журнал*, 2, 43–50] (in Ukrainian)
- Gostyuk, Z. V., & Melnyk, A. V. (2017a). Landscape structure of the Pokuttia Carpathians. *Physical geography and geomorphology*, 3(87), 38–47. http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2017_3_8
- [Гостюк, З. В., Мельник, А. В. (2017a). Ландшафтна структура Покутських Карпат. *Фізична географія та геоморфологія*, 3(87), 38–47] (in Ukrainian)
- Gostyuk, Z. V., & Melnyk, A. V. (2017b). Pokut Carpathians in the system of physiographic zoning of the Ukrainian Carpathians. *Regional problems of landscape-phthology and geomorphology*, 4(88), 12–21. http://nbuv.gov.ua/UJRN/fiz_geo_2017_4_4
- [Гостюк, З. В., Мельник, А. В. (2017b). Покутські Карпати в системі фізико-географічного районування Українських Карпат. *Регіональні проблеми ландшафтознавства та геоморфології*, 4(88), 12–21] (in Ukrainian)
- Debryniuk, I., & Huz, M. (2024). Forest plantations in the western region of Ukraine: species composition, resource potential and perspectives of implementation. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 102–110. <https://doi.org/10.15421/412407>
- [Дебрінюк, Ю. М., Гузь, М. М. (2024). Платаційні лісові насадження у західному регіоні України: видовий склад, ресурсний потенціал та перспективи впровадження. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 26, 102–110] (in Ukrainian)
- Koinov, M. M. (1973). Physico-geographic regions. In K. I. Gerenchuk (Ed.), *Nature of the Ivano-Frankivsk region* (pp. 208–238). Lviv: Higher School [Койнов, М. М. (1973). Фізико-географічні райони. В кн.: *Природа Івано-Франківської області* (с. 125–140) / під ред. К. І. Геренчука. Львів: Вища школа] (in Ukrainian)
- Kravchuk, Ya. S. (2021). *Relief of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Ivan Franko National University of Lviv. ISBN: 978-617-10-0631-7. <https://opac.lpnu.ua/bib/1137590> [Кравчук, Я. С. (2021). *Рельєф Українських Карпат*. Львів: Львівський національний університет імені Івана Франка. 576 с.] (in Ukrainian)
- Kulbanska, I., Goychuk, A., & Soroka, M. (2026). Forest-mensuration determinants of the formation of the health condition of forest stands with the participation of *Abies alba* in the Pokuttia–Bukovyna Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 88–102. <https://doi.org/10.36930/412523>
- [Кульбанська, І. М., Гойчук, А. Ф., Сорока, М. І. (2026). Лісівничо-таксаційні детермінанти формування санітарного стану деревостанів за участю *Abies alba* Mill. у Покутсько-Буковинських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 88–102] (in Ukrainian)
- Polyak, V. (2025). Structure of the forest fund of the Bukovyna low-mountain and mid-mountain areas of the Pokuttia–Bukovyna Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 149–161. <https://doi.org/10.36930/412528> [Поляк, В. В. (2025). Структура лісового фонду Буковинського низькогір'я та середньогір'я Покутсько-Буковинських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 149–161] (in Ukrainian)
- Miller, H. P., & Fedirko, O. M. (1990). Ukrainian Carpathians In F. S. Babichev, V. I. Belyaev, S. I. Dorohuntsov (Eds.) *Geographical encyclopedia of Ukraine*, vol. 2, (pp. 113–114). Kyiv: the M.P. Bazhan URE [Міллер, Г. П., Федірко, О. М. (1990). Карпати Українські / *Географічна енциклопедія України*. Київ: УРЕ ім. М.П. Бажана, Т. 2. С. 113–114] (in Ukrainian)
- Rybin, M. M., & Tsys, P. M. (1968). Subregion of the Pokuttsko-Bukovina Carpathians. In V. P. Popov, A. M. Marinich, A. I. Lanko (Eds.) *Physic-geographical zoning of the Ukrainian SSR* (pp. 606–608). Kyiv: Kyiv University Publishing House [Рыбин, М. М., Цысь, П. М. (1968). Подобласть Покутсько-Буковинских Карпат. В кн.: *Физико-географическое районирование Украинской ССР* / под ред. В. П. Попова, А. М. Маринича, А. И. Ланько. – Киев: Изд-во Киев. ун-та, 606–608] (in Russian)
- Tsys, P. M. (1964). The outer Carpathians. In K. I. Gerenchuk, M. M. Koinov, P. M. Tsys (Eds.), *Natural and geographic division of Lviv and Podil economic districts* (pp. 165–180). Lviv: Lviv University Publishing House [Цись, П. М. (1964). Зовнішні Карпати. В кн.: *Природно-географічний поділ Львівського та Подільського економічного районів* (с. 165–180) / під ред. К. І. Геренчук, М. М. Койнов, П. М. Цись. Львів: Вид-во Львів. ун-ту]

- Vandzhurak, P., & Debryniuk, I. (2022). The Pokuttia Carpathians as a natural and forestry region of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 47–55. <https://doi.org/10.15421/412204> [Ванджурак, П. І., Дебринюк, Ю. М. (2022). Покутські Карпати як природно-лісгосподарський регіон Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 47–55] (in Ukrainian)
- Vandzhurak, P., Debryniuk, Iu., & Savchyn, V. (2023). Forest stands of the Pokuttia Carpathians: distribution and forest mensuration-nal description. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 39–55. <https://doi.org/10.15421/412303> [Ванджурак, П. І., Дебринюк, 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)
- Voropai, L. I., & Kunytsia, M. O. (1966). *Ukrainian Carpathian Mountains*. Kyiv: Soviet School [Воропай, Л. І., Куниця, М. О. (1966). *Українські Карпати*. Київ: Радянська школа. 168 с.] (in Ukrainian)

Forest stands of the Bukovinian lowlands and mid-mountains of the Pokutsko-Bukovinian Carpathians: distribution and forest mensuration description

V. Polyak¹, Iu. Debryniuk²

Coniferous tree species occupy approximately 52.4% of the forest area in the low-mountain part of the Bukovynian Carpathians, whereas broadleaved species account for the remaining 47.6%. At the same time, the forest structure is dominated by only three principal forest-forming tree species – *Picea abies*, *Fagus sylvatica*, and *Abies alba* – which together account for more than 95% of the total forest area and nearly 97% of the total growing stock.

The middle-mountain part of the Bukovynian Carpathians is characterized by a distinct species composition. Whereas European beech (*Fagus sylvatica*) and silver fir (*Abies alba*) predominate in the low-mountain forests, Norway spruce (*Picea abies*) becomes the unequivocal edificatory species in the middle-mountain zone. This pattern represents one of the most prominent manifestations of the altitudinal differentiation of forest vegetation in the Bukovynian Carpathians and should be taken into account when planning measures for sustainable forest management, forest regeneration, and biodiversity conservation.

The forest-covered area of the low-mountain part of the Bukovynian Carpathians amounts to 36.8 thousand hectares, compared with 41.8 thousand hectares in the middle-mountain part. In comparison with the low-mountain zone, the middle-mountain forests exhibit lower tree species diversity, comprising 15 tree species versus 24 in the low-mountain forests. Nevertheless, the middle-mountain stands are more productive, with an average growing stock of 305 m³ ha⁻¹, compared to 273 m³ ha⁻¹ in the low-mountain zone. The total growing stock of the low-mountain forests is 10,053.74 thousand m³, whereas the middle-mountain forests contain 12,756.04 thousand m³.

The age structure of the forest stands within the subregion is unbalanced. Thus, in relative terms, middle-aged stands account for the largest area (44.2%). Maturing and mature stands occupy considerably smaller areas accounting for 14.9% and 11.1%, respectively. Overmature stands represent only a minor share (1.9%), while young stands of age classes I and II account for slightly higher proportions, comprising 11.1% and 12.4%, respectively.

¹ Vasyly Polyak – PhD Student at the Department of Forest Cultures and Forest Tree Breeding, Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: v_v_simpol@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0009-0000-8872-6903>

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: debryniuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

The forest stands of the Bukovynian Carpathians are characterized by high site productivity. Stands of Site Class I and higher occupy 80.6% of the forest area, while Site Class II and Site Class III stands account for 15.8% and 2.7%, respectively. Stands of Site Class IV and lower occur in only 0.9% of the total forest area.

The forest stands of the subregion are predominantly of medium stocking density, accounting for 66.9% of the total forest area. Low-stocking stands occupy 29.9%, while sparse woodlands represent 1.5%. High-stocking stands are poorly represented, comprising only 1.7% of the total forest area.

A total of 43 forest types have been identified within the region, including four *subor* forest types (fairly infertile pine site types), 23 *sugrud* forest types (fairly fertile site types), and 16 *grud* forest types (fertile site types). Among the forest site types, *sugruds* predominate, covering 75.3% of the area,

followed by *gruds* (23.9%) and *subors* (0.8%). In terms of soil moisture conditions, mesophytic forest site types predominate.

The spruce forest type group is the most widespread, occupying 58.2% of the total forest-covered area of the Bukovynian Carpathians. The fir forest type group accounts for a considerably smaller proportion (35.7%), while the beech forest type group occupies only 5.2%. Within the spruce forest type group, the largest forest areas occur in *sugrud* forest site types; within the fir forest type group, they are concentrated in both *sugrud* and *grud* forest site types; whereas within the beech forest type group, they are predominantly associated with *grud* forest site types.

Key words: subregions; forest type groups; *Picea abies*; *Fagus sylvatica*; *Abies alba*; low-mountain and middle-mountain parts; site class; stocking density; growing stock.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412607>
Article received 2025.09.26
Article revised 2026.03.25
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Zaika
volodymyr.zaika@cnu.edu.ua
57 Shevchenka, St.,
Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*18:581.5

Фітоценотична роль підліску під час формування підросту та живого надґрунтового покриву у соснових деревостанах Шепетівського Полісся

А.В. Сасюк¹, В. К. Заїка², В. В. Павлюк³, П.М. Дмитрик⁴, І.Ф. Коляджин⁵

Досліджено вплив підліску на формування живого надґрунтового покриву та підросту деревних видів у 56-90-річних соснових лісостанах Шепетівського Полісся, які ростуть в умовах свіжих і вологих сугрудів та суборів. Під наметом дослідних деревостанів виявлено 10 підліскових видів, а їхня загальна густина змінюється у межах 13,67-76,67 тис. шт./га. У складі живого надґрунтового покриву трапляється 58 видів рослин (зокрема сім видів мохів) з 36 родин. Найширшим представництвом у регіоні дослідження характеризуються мохи, які домінують на більшості ділянок. Їхнє середнє трапляння становить 23,3-100,0%, а середнє проективне покриття змінюється від 20,0 до 69,3%. На дослідних ділянках трав'яна рослинність представлена 9-24 видами із середньою щільністю 5,5 видів на 1 м². Найбільша кількість видів рослин представлена мезотрофами (20,0-53,4%). За відношенням до освітленості найкраще представлені світлолюбні види (48,3%). Вплив підліску на формування трав'янисто-мохового надґрунтового покриву проявляється слабо. За результатами дослідження, загальна кількість підросту в соснових деревостанах змінюється від

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: volodymyr.zaika@cnu.edu.ua 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>

⁴ Дмитрик Павло Миколайович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового та аграрного менеджменту. Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: pavlo.dmytryk@cnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-391X>

⁵ Коляджин Ігор Федорович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового та аграрного менеджменту, Карпатський національний університет ім. Василя Стефаника, вул. Шевченка, 57, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. E-mail: koliadjunif@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8045-56-78>

0,67 до 33,0 тис. екз./га. Найчастіше у його складі трапляються дуб і сосна. Здійснений кореляційний аналіз між кількістю підліску і підросту деревних видів підтвердив наявність тісної зворотної ($r = -0,718$) залежності, а зв'язок між кількістю підліску і траплянням підросту є значним і зворотнім ($r = -0,666$). Вплив соснового деревостану на формування кількості підросту та його трапляння є істотно меншим, ніж підліску, і характеризується слабким кореляційним зв'язком.

Ключові слова: трапляння видів рослин; проективне покриття; субори; сугруди; екологічні чинники; соснові деревостани; видовий склад підліску.

Вступ (Introduction).

Ріст і формування лісостанів характеризується проходженням певних динамічних процесів, зумовлених погіршенням світлового режиму піднаметового середовища (Majasalmi & Rautiainen, 2020; Міліневич та ін., 2025). Динамічні зміни особливо чітко проявляються на таких компонентах лісостанів як живий надґрунтовий покрив і підріст деревних видів. На поширення живого надґрунтового покриву та підросту значний вплив виявляють підліскові види. Їхній намет перехоплює частину сонячного світла, що посилює несприятливі умови для поширення трав'яних рослин та появи і виживання підросту деревних видів. Водночас, підлісок у лісостанах є необхідним компонентом, який виконує низку позитивних функцій (Bondarenko et al., 2025; Бондаренко, 2011; Свириденко, Швиденко, 1995а, 1995б; Погребняк, 1993а, 1993б). Особливо посилюється роль підліску у хвойних деревостанах, де за відсутності в їхньому видовому складі листяних деревних видів, підлісковий опад покращує умови для гуміфікації і мінералізації лісової підстилки, поліпшуючи агрохімічні показники ґрунту (Bondarenko et al., 2025).

Наявність у лісостанах підліскових видів покращує їхнє біологічне розмаїття та посилює біотичну стійкість до впливу різних несприятливих чинників довкілля. Під час застосування лісогосподарських заходів, спрямованих на природне насінне відновлення соснових деревостанів, необхідно регулювати зімкнутість підліскових видів з метою забезпечення сприятливих умов для росту і формування молодого покоління лісу. Такі дослідження є актуальними, оскільки спрямовані на встановлення особливостей фітоценотичного взаємовпливу компонентів лісових фітоценозів та використання отриманих результатів у практичній діяльності.

Мета дослідження полягає у встановленні особливостей впливу підліскових видів у 56-90-річних соснових деревостанах, які ростуть в умовах свіжих і вологих сугрудів та суборів Шепетівського Полісся, на формування живого надґрунтового покриву та процеси природного поновлення деревних видів.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – формування живого надґрунтового покриву та підросту деревних видів у 56-90-річних соснових лісостанах Шепетівського Полісся. **Предмет дослідження** – видовий склад, поширення, трапляння трав'янистих видів і підросту в соснових лісостанах з різним видовим складом і густотою підліску.

Програмою дослідження передбачено вивчення видового складу трав'янисто-мохової рослинності, її проективного вкриття і трапляння; лісовідновних процесів у деревостанах (кількість підросту деревних видів та його розподіл за групами висот і трапляння).

Дослідження проводили в 56-90-річних соснових деревостанах, які ростуть в умовах свіжих і вологих сугрудів та суборів Шепетівського Полісся (Природа Хмельницької області, 1980). Лісівничо-таксаційні показники цих деревостанів наведено у нашій попередній роботі (Сасюк та ін., 2022).

Встановлення кількості підросту деревних видів проводили за апробованою методикою (Ткач та ін., 2014). На ділянках закладали по 30 площадок розміром 2×2 м (4 м^2), які рівномірно розташовували по площі. Під час обліку підросту його 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 більше, нерівномірним – 40-65%, груповим або куртинами – менше 40% (Вишневський, 2015). На цих же площадках проводили дослідження живого надґрунтового покриву. Визначали його видовий склад, проективне вкриття та розраховували трапляння і коефіцієнт фітоценотичної значимості (КФЗ) для інтегрального оцінювання ролі окремих видів у структурі рослинного покриву (Смаглюк, 1974). Отримані експериментальні дані опрацьовували статистичними методами (Горошко та ін., 2004).

Результати (Results).

Формування і розвиток лісових угруповань відбувається внаслідок тісної взаємодії з чинниками довкілля, які визначають структуру лісостанів та їхню продуктивність. Лісорослинний потенціал свіжих та вологих суборів і сугрудів Шепетівського Полісся

забезпечує сприятливі умови для вирощування високопродуктивних біотично стійких соснових деревостанів. Реалізація цих продукційних процесів істотно визначається взаємодією окремих елементів лісостанів, їх наявністю, поширенням та продуктивністю.

Досліджуючи особливості формування підліску у соснових 56-90-річних деревостанах на 14 пробних площах (ПП), нами виявлено під їх наметом 10 підліскових видів. Найбільшого поширення досягли горобина звичайна, крушина ламка та ліщина звичайна, які трапляються під наметом 78,6-100,0% досліджених деревостанів.

Інші види підліску трапляються під наметом 7,1-42,9% деревостанів, зокрема терен колючий, калина звичайна та унікальний для регіону вид – барбарис звичайний. Загальна кількість підліскових рослин у соснових фітоценозах Шепетівського Полісся змінюється у межах 13,67-76,67 тис. шт./га (табл. 1), не корелюючи з типами лісорослинних умов і типами лісу. За кількістю видів суборові умови забезпечують поширення двох-трьох, а сугрудові – чотирьох-семи видів. Тому і частка середнього трапляння підліску у сугрудах дещо вища, ніж у суборах (відповідно 82,8 та 78,8%).

Таблиця 1. Трапляння та кількість підліску в деревостанах
Table 1. Indicators of ground vegetation in pine stands

№ пробної площі	Склад деревостану	Індекс типу лісу	Кількість, тис. шт./га	Трапляння, %
1	10Сз + Дз, Ялє, Гз, Бп	В ₂ -дС	73,03	88
2	10Сз + Дз, Клг, Взг, Гз, Ясз, Кля	С ₂ -гдС	29,67	80
3	10Сз + Бп	С ₂ -гдС	44,83	86
4	9Сз1Дз + Лпс, Взг, Ялє, Клг, Гз	С ₃ -гдС	45,86	83
5	10Сз	С ₂ -гдС	68,67	100
6	10Сз + Дз, Бп, Гз	С ₂ -гдС	39,33	80
7	10Сз	С ₂ -гдС	18,67	43
8	9Сз1Бп + Дз	В ₃ -дС	22,34	67
9	9Сз1Дз + Бп, Ябл	С ₂ -гдС	76,67	90
10	10Сз + Дз, Гз	С ₂ -гдС	68,33	93
11	10Сз + Дз, Бп, Ябл	В ₂ -дС	13,67	63
12	10Сз + Дз, Бп	В ₂ -дС	63,67	97
13	9Сз1Дз + Ялє, Гз	С ₂ -гдС	50,00	90
14	10Сз + Бп, Вхч	С ₂ -гдС	35,00	83
15	10Сз + Дз, Бп	В ₃ -дС	–	–

Значною міжвидовою мінливістю характеризується підлісок і за висотою – від 0,1 до 5-10 м. До високорослого підліску серед дослідних видів насамперед віднесено ліщину, горобину і барбарис, які мають суттєве поширення на досліджуваній території (відповідно 61,5-100,0; 50,0-83,3 та 63,1-100,0%). Подібною висотою характеризуються крушина ламка та бузина червона, але їхнє поширення під наметом соснових лісостанів регіону значно слабше.

Середні висоти підліскових видів на пробних площах корелюють з продуктивністю лісорослинних умов, унаслідок чого в суборах середня висота підліску складає 148,8, а у сугрудах – лише 121,8 см. Вірогідно, такий результат може бути зумовлений кращими умовами росту материнських деревостанів у сугрудових типах, підвищенням їхньої зімкнутості і, як наслідок, зменшенням піднаметового

освітлення, що призвело до зниження інтенсивності ростових процесів у підліскових видів.

Серед найрозповсюдженіших підліскових видів у Шепетівському Поліссі є ліщина звичайна, горобина звичайна, крушина ламка, барбарис звичайний і черемха пізня. Ці піднаметові деревні рослини соснових фітоценозів характеризуються значною або переважаючою поширеністю та високою енергією росту.

Наявність густого продуктивного підліску відіграє значну роль у формуванні ще одного вагомого елемента лісових угруповань – живого надґрунтового покриву, який разом з іншими компонентами лісостанів бере участь у регулюванні нагромадження та кругообігу речовин, визначає інтенсивність лісовідновлювальних процесів. Встановлено, що видова різноманітність живого надґрунтового покриву у

соснових лісостанах представлена 58 видами рослин (зокрема семи видами мохів) з 36 родин. Варто відзначити, що найширшим представництвом у регіоні дослідження характеризуються мохи, які домінують на більшості дослідних ділянок, де їхнє середнє трапляння становить 23,3-100,0%, а середнє проективне вкриття змінюється від 20,0 до 69,3% (табл. 2). Найпоширенішим видом серед мохів є плевроцій Шребера, коефіцієнт фітоценотичної значимості якого є максимальним на більшості пробних площ.

Для трав'янистої рослинності характерне ширше видове розмаїття. На дослідних ділянках виявлено від 9 до 24 трав'янистих видів з середньою щільністю 5,5 видів на 1 м². Кількісна видова відмінність в межах суборів і сугрудів на квадратному метрі є несуттєвою. Водночас у межах дослідних ділянок суборових типів лісорослинних умов середня кількість трав'янистих видів становить 12,0, а сугрудових – 17,7 видів.

Таблиця 2. Показники живого надґрунтового вкриття у соснових лісостанах
Table 2. Characteristics of the living ground cover in pine forest stands

№ пр. пл.	Група видів	Кількість видів, шт.		Проективне вкриття, %	Середнє трапляння видів, %	КФЗ, %
		всього	на 1 м ²			
1	Мохи	1	1,0	69,3	100,0	69,3
	Трав'янисті	11	5,6	6,5	51,0	3,3
2	Мохи	1	0,3	2,0	26,7	0,5
	Трав'янисті	15	4,6	2,9	34,2	1,0
3	Мохи	4	2,6	17,2	63,8	11,0
	Трав'янисті	13	4,6	4,0	35,5	1,4
4	Мохи	—	—	—	—	—
	Трав'янисті	16	4,3	2,8	28,9	0,8
5	Мохи	3	1,1	6,8	37,8	2,6
	Трав'янисті	19	5,4	0,8	28,2	0,2
6	Мохи	1	0,2	2,0	23,3	0,5
	Трав'янисті	17	5,2	2,4	29,0	0,7
7	Мохи	1	1,0	35,0	100,0	35,0
	Трав'янисті	20	5,0	2,7	29,8	0,8
8	Мохи	3	2,2	27,6	74,1	20,5
	Трав'янисті	11	4,3	8,4	39,1	3,3
9	Мохи	2	0,5	2,4	23,3	0,6
	Трав'янисті	24	8,1	2,2	33,9	0,7
10	Мохи	2	0,7	11,6	33,4	3,9
	Трав'янисті	18	6,1	2,6	34,1	0,9
11	Мохи	4	2,0	3,2	50,0	1,6
	Трав'янисті	15	5,8	4,9	38,7	1,9
12	Мохи	3	2,0	25,8	68,8	17,5
	Трав'янисті	14	6,3	2,8	31,0	0,9
13	Мохи	3	1,5	17,6	50,0	8,8
	Трав'янисті	17	7,7	2,5	36,3	0,9
14	Мохи	2	1,0	2,1	50,0	1,0
	Трав'янисті	19	4,7	3,5	24,7	0,8
15	Мохи	4	2,6	9,8	59,6	5,8
	Трав'янисті	9	4,2	7,5	38,6	2,9

За результатами досліджень встановлена тенденція у поширенні трав'янистих видів за лісорослинними умовами. Середній показник їхнього трапляння в суборах удвічі перевищує аналогічну величину у сугрудах і складає, відповідно, 60,5 та 31,5%. Подібну тенденцію спостережено і з проективним вкриттям – у суборах цей усереднений показник становить 6,0, а в сугрудах – лише 2,6%. Пояснення такого розподілу може бути подібним до такого у підліску, де лімітуючим чинником, на наш

погляд, виступають режими освітленості під наметом лісостанів. У багатших умовах сугрудів продукційні процеси у соснових деревостанах є інтенсивнішими, що призводить до збільшення зімкнутості крон та відповідного зниження інтенсивності освітлення для всіх піднаметових компонентів. Такі напружені умови росту рослин у надґрунтовому покриві мають суттєвий вплив на їхню видову різноманітність. Найінтенсивніше поширення в лісостанах притаманне чорниці, КФЗ якої є максимальним на більшості

дослідних ділянок і сягає до 60,2%. Меншим проективним покривом і траплянням характеризується ожина шорстка, в якій максимальний КФЗ під наметом лісу сягає 45,2%. В інших видів – квасениці звичайної, зірочника лісового, перестрічу гайового, орляка звичайного, брусниці, веснівки дволистої коефіцієнт фітоценотичної значимості змінюється в межах 4,0-12,4%. Цими трав'янистими видами живий надґрунтовий покрив насичений максимально і саме вони відіграють важливе значення у функціонуванні соснових деревостанів Шепетівського Полісся.

Природні умови регіону дослідження максимально відповідають еколого-біологічним характеристикам підліскових і трав'янистих видів, що підтверджено аналізом їхньої вибагливості до окремих найвагоміших екологічних факторів (рис. 1). Встановлено, що переважна кількість їхніх представників надають перевагу помірному зволоженню ґрунтів і відносяться до мезофітів (50%). Дещо менша кількість підліско-

вих видів можуть витримувати більш засушливі умови, тому їх віднесено до ксеромезофітів (40%) і лише 10% за своєю природою є мезогігрофіти та потребують зволжених умов.

Трав'янисто-мохова компонента лісостанів відображає загалом доволі подібну тенденцію за вимогами до умов зволоження, хоча їхнє представництво охоплює шкалу повністю – від ксерофітів до гігрофітів. Максимально у соснових фітоценозах досліджуваного регіону представлені мезофіти (56,9%), майже четвертина видів рослин є мезогігрофітами (24,1%), решта – представлені незначно.

Трофність ґрунтів є визначальним чинником з погляду поширення та формування лісових угруповань та їхніх компонентів зокрема. Так, розподіл підліскових і трав'янистих видів за трофністю у них доволі подібний. Максимальну кількість видів рослин віднесено до мезотрофів (20,0-53,4%), решта видів змінюється в межах 8,6-20,0% і поширені по всьому трофогенному спектрі.

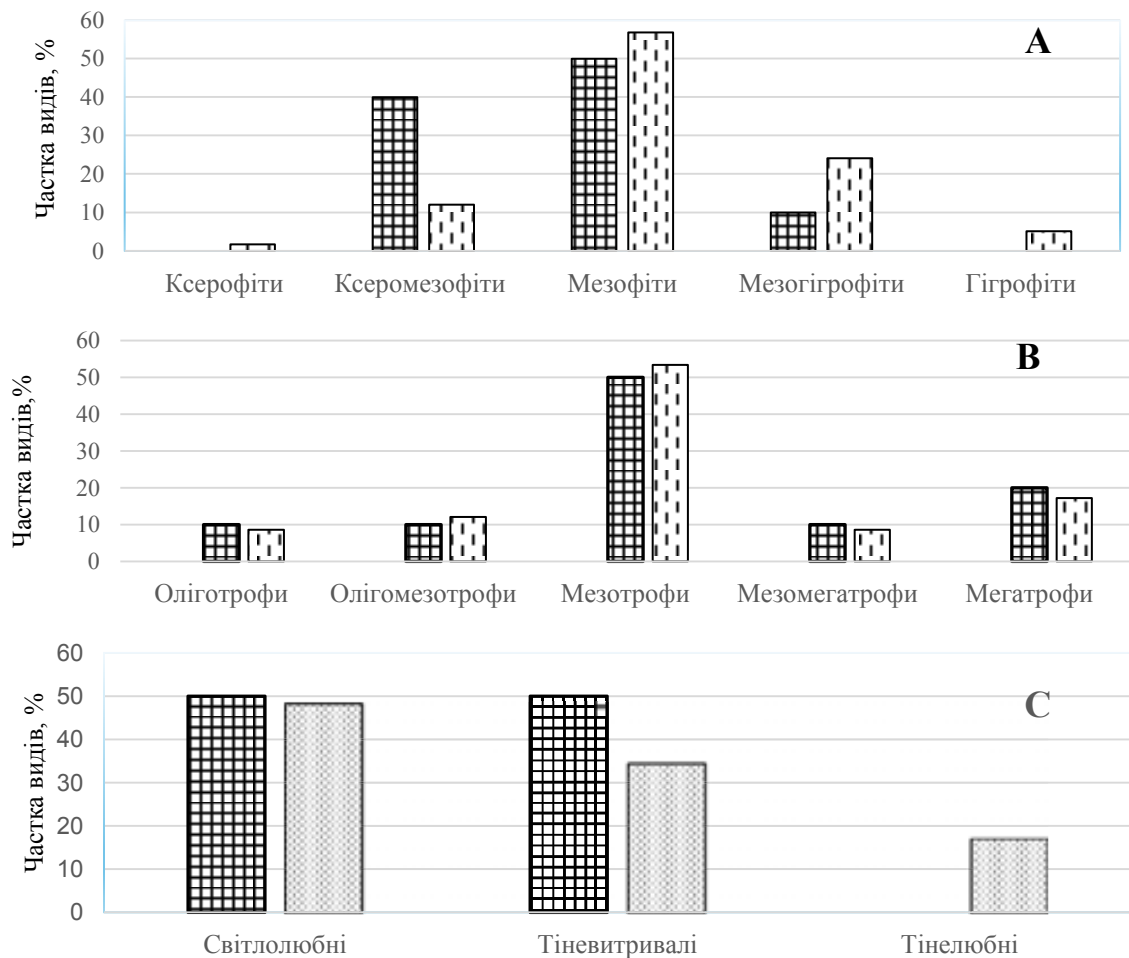


Рис. 1. Розподіл видів рослин за вимогами до екологічних факторів:

А – вологість ґрунту, В – трофність ґрунту С – освітлення
(зліва – підліскові види, справа – трав'яністі види і мохи)

Fig. 1. Distribution of plant species according to their requirements for environmental factors: А – soil moisture, В – soil nutrient status, С – light availability
(left – understory species; right – herbaceous species and mosses)

За світловим забезпеченням підліскові види виявили високу потребу у світлі. Типових тінелюбних видів серед них не виявлено, що дещо обмежує видове представництво, вірогідно, внаслідок відносно високої сонячної інсоляції під наметом соснових деревостанів. Трав'янисті рослини представлені ширше і повністю охоплюють екологічну нішу, яка сформована під наметом соснових деревостанів. Максимальне представництво показали світлолюбні види рослин (48,3%), дещо нижче – тіньовитривалі (34,5%) та мінімальне – тінелюбні (17,2%).

Таким чином, природні умови Шепетівського Полісся забезпечують оптимальні умови для формування соснових лісостанів загалом та їхніх компонентів зокрема, що забезпечує конкурентний підхід у заповненні екологічних ніш та формуванню біологічного різноманіття.

Природне насінне поновлення деревних видів залежить від їхніх біоекологічних особливостей. Найбільше цей процес залежить від здатності виду до рясного насіннюношення, здатності насінин до проростання і виживання підросту під наметом деревостанів. Значну конкуренцію за світлове живлення підросту створює підлісок. Його кількість під наметом досліджених соснових деревостанів змінюється в межах 13,37-76,67 тис. екз./га. У цих умовах формування молодого покоління лісу в соснових деревостанах характеризується значною варіабельністю, як за кількістю деревних видів у його складі, так і за кількістю підросту (табл. 3). На 28,6% ділянок підріст представлений лише одним деревним видом і ще на 28,6% – двома. У складі підросту на 21,4% дослідних ділянок трапляється п'ять деревних видів.

Таблиця 3. Кількість підросту деревних видів на дослідних ділянках в соснових деревостанах Шепетівського Полісся, тис. екз./га
Table 3. Abundance of tree species regeneration on experimental plots in pine stands of the Shepetivske Polissia, thousand plants/ha

№ пр. пл.	Індекс деревного виду										Разом
	Дз	Сз	Яле	Клг	Лпд	Взг	Гз	Бп	Ябл	Грл	
1	3,03	–	–	0,30	–	–	–	–	–	–	3,33
2	–	–	0,33	1,67	0,67	13,67	8,33	–	–	–	24,67
3	4,83	16,31	–	–	–	–	–	2,07	–	–	23,21
4	–	–	–	–	–	2,07	–	–	–	–	2,07
5	0,33	5,00	–	–	–	–	–	–	–	–	5,33
6	–	–	0,67	–	–	–	–	–	–	–	0,67
7	2,33	20,67	–	–	–	–	–	0,33	0,33	1,00	24,66
8	1,67	9,33	–	–	–	–	–	3,67	0,33	–	15,00
9	–	–	–	–	–	1,33	–	–	–	–	1,33
10	1,33	–	–	–	–	–	0,33	–	–	–	1,66
11	6,34	25,00	–	–	–	–	1,00	0,33	–	0,33	33,00
12	0,33	–	–	–	–	–	–	0,67	–	0,33	1,33
13	1,00	–	–	–	–	–	–	–	–	–	1,00
14	–	0,33	–	–	–	–	–	–	–	1,00	1,33

Примітка. Дз – дуб звичайний, Сз – сосна звичайна, Яле – ялина європейська, Клг – клен гостролистий, Взг – в'яз голий, Гз – граб звичайний, Лпд – липа дрібнолиста (серцелиста), Бп – береза повисла, Ябл – яблуня лісова, Грл – груша лісова.

Загальна кількість підросту в соснових деревостанах змінюється від 0,67 до 33,0 тис. екз./га (див. табл. 3). Найчастіше у його складі трапляються дуб звичайний і сосна звичайна. Так, підріст дуба виявлено на 64,3% ділянках у кількості 0,33-6,34 тис. екз./га, сосни – на 42,9% ділянок у кількості 0,33-25,00 тис. екз./га. Найбільша кількість підросту дуба (2,33-6,34) і сосни (16,31-25,00 тис. екз./га) виявлено на трьох (3, 7, 11) дослідних ділянках, деревостани на яких, відповідно, характеризуються таким видовим складом: 10Сз + Бп, 10Сз і 10Сз + Дз, Бп, Ябл. Значним поширення у деревостанах

характеризується також підріст берези повислої (0,33-3,67 тис. екз./га). Підріст в'яза голого (13,67) і граба звичайного (8,33 тис. екз./га) у значній кількості представлений лише на ділянці №2. Підріст інших деревних видів (липи серцелистої, ялини європейської, клена гостролистого, яблуні лісової і груші лісової) у деревостанах поширений слабо, переважно в кількості до 1 тис. екз./га.

Встановлено істотний вплив підліску на формування молодого покоління лісу під наметом соснових деревостанів. Проведений кореляційний аналіз між кількістю підліску і

підросту деревних видів показав наявність тісної зворотної ($r = -0,718$) кореляції. Встановлена залежність добре описується поліномом другого степеня (рис. 2).

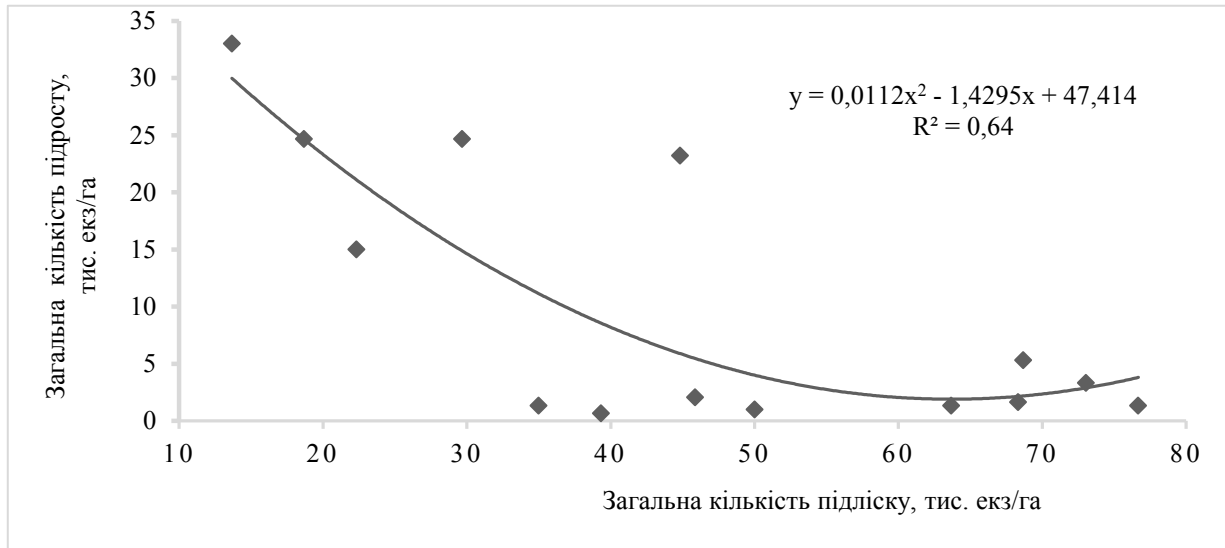


Рис. 2. Залежність кількості підросту деревних видів від кількості підліску в соснових деревостанах Шепетівського Полісся

Fig. 2. Dependence of tree species regeneration abundance on understory abundance in pine stands of the Shepetivske Polissia

Трапляння характеризує рівномірність поширення підросту деревних видів під наметом деревостанів. На дослідних ділянках соснових деревостанів цей показник характеризується значною мінливістю (табл. 4). Так, рівномірне поширення підросту деревних видів спосте-

режено лише на ділянках №2, 3, 7, 8 і 11, де трапляння змінюється в межах 70,0-83,3%, а на інших – куртинне розташування з траплянням 3,0-30,3%. Дуже низьким (3,0-13,3%) цей показник виявився на 50% ділянок (№4, 6, 9, 10, 12, 13 і 14).

Таблиця 4. Трапляння підросту деревних видів на дослідних ділянках соснових деревостанів Шепетівського Полісся, %

Table 4. Occurrence of tree species regeneration on experimental plots in pine stands of the Shepetivske Polissia, %

№ пр. пл.	Індекс деревного виду										Разом
	Дз	Сз	Ялє	Клг	Лпд	Взг	Гз	Бп	Ябл	Грл	
1	27,3	—	—	3,0	—	—	—	—	3,0	—	30,3
2	—	—	3,3	10,0	6,7	40,0	43,3	—	—	—	76,7
3	34,5	55,2	—	—	—	—	—	13,8	—	—	75,9
4	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	—	3,3
5	3,3	16,7	—	—	—	—	—	—	—	—	16,7
6	—	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—	3,0
7	13,3	60,0	—	—	—	—	—	3,3	3,3	3,4	70,0
8	16,7	40,0	—	—	—	—	—	30,0	3,3	—	73,3
9	—	—	—	—	—	6,7	—	—	—	—	6,7
10	10,0	—	—	—	—	—	3,3	—	—	—	13,3
11	30,0	70,0	—	—	—	—	10,0	3,3	—	23,3	83,3
12	3,3	—	—	—	—	—	—	6,7	—	3,3	10,0
13	6,7	—	—	—	—	—	—	—	—	—	6,7
14	—	3,4	—	—	—	—	—	—	—	3,3	6,7

За особливостями видового трапляння підросту під наметом деревостанів встановлено переважно нерівномірне і куртинне його поширення. Так, рівномірним поширенням характеризується підріст сосни звичайної тільки на ділянці №11 з траплянням 70,0%. Нерівномірне поширення підросту сосни спостережено на

ділянках №3, 7, 8, а також в'яза і граба – на ділянці №2. Підріст дуба, ялини, клена, липи, берези, яблуні і груші у соснових деревостанах трапляється лише куртинно.

Виявлено значний вплив підліску на поширення підросту деревних видів у соснових деревостанах. Коефіцієнт кореляції між кількістю

підліску і траплянням підросту є значним і зворотнім ($r = -0,666$), а встановлена залежність добре описується поліномом другого степеня (рис. 3).

Простежується чітке зростання показника трапляння підросту деревних видів із зменшенням кількості підліску (див. рис. 2).

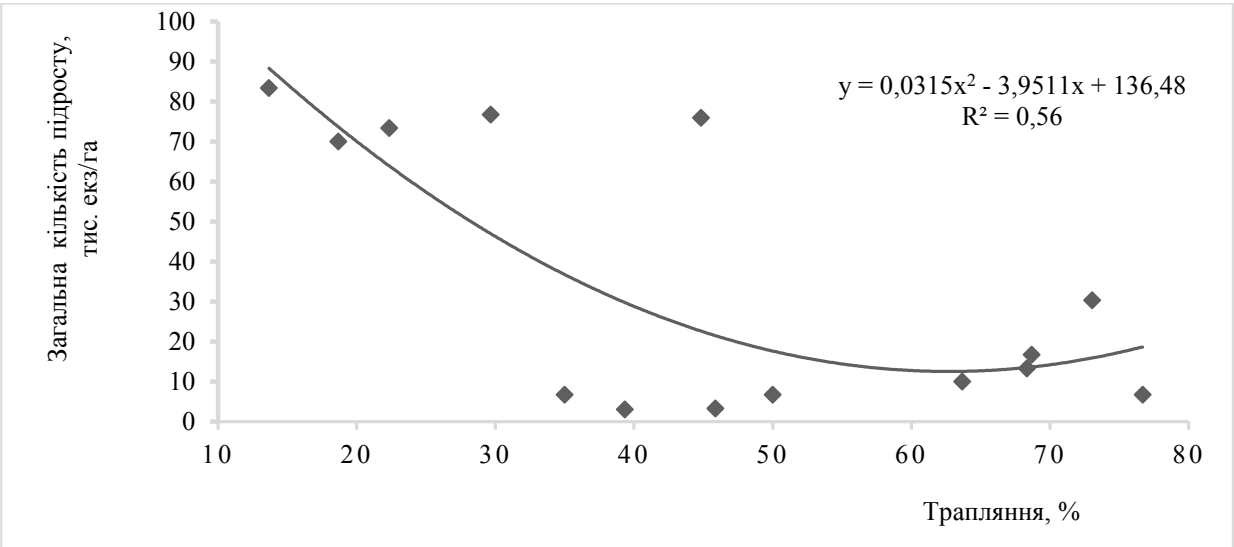


Рис. 3. Залежність трапляння підросту деревних видів від кількості підліску в соснових деревостанах Шепетівського Полісся

Fig. 3. Dependence of the occurrence of tree species regeneration on understory abundance in pine stands of the Shepetivske Polissia

Потрібно зазначити, що вплив соснового деревостану на формування кількості підросту і на його трапляння виявився істотно меншим, ніж підліску. Коефіцієнт кореляції між абсолютною повнотою материнських деревостанів і кількістю підросту становить $-0,080$, а з показником траплянням – $-0,185$.

Підріст деревних видів на переважній кількості ділянок характеризується значною

мінливістю за висотою (табл. 5). Так, висота підросту дуба звичайного на ділянках №1 і №3 змінюється від 10-20 до 120-360 см. У лісостанах на досліджуваних ділянках №5, 7, 8, 10, 11, 12 і 13 розмах мінливості висоти підросту виявився значно меншим і змінюється в межах від 10-50 до 50-70 см. На всіх дослідних ділянках переважає дрібний і середній підріст дуба звичайного.

Таблиця 5. Розподіл підросту деревних видів за висотою на дослідних ділянках соснових деревостанів Шепетівського Полісся

Table 5. Height distribution of tree species regeneration on experimental plots in pine stands of the Shepetivske Polissia

№ пр. площі	Показники висоти, см	Індекс деревного виду									
		Дз	Сз	Яле	Клг	Лпд	Взг	Гз	Бп	Ябл	Грл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	min	10	–	–	45	–	–	–	–	70	–
	max	120	–	–	50	–	–	–	–	85	–
	≤ 50	90	–	–	100	–	–	–	–	–	–
	51-150	10	–	–	–	–	–	–	–	100	–
2	min	–	–	70	7	160	5	8	–	–	–
	max	–	–	80	410	230	510	620	–	–	–
	≤ 50	–	–	–	40	–	12	40	–	–	–
	51-150	–	–	100	20	–	37	20	–	–	–
	151≤	–	–	–	40	100	51	40	–	–	–
3	min	20	10	–	–	–	–	–	100	–	–
	max	360	315	–	–	–	–	–	420	–	–
	≤ 50	50	14	–	–	–	–	–	–	–	–
	51-150	43	52	–	–	–	–	–	17	–	–
	151≤	7	34	–	–	–	–	–	83	–	–
4	min	–	–	–	–	15	–	–	–	–	–
	max	–	–	–	–	40	–	–	–	–	–

Продовження таблиці 5

№ пр. пл.	Показники висоти, см	Індекс деревного виду									
		Дз	Сз	Ялє	Клг	Лпд	Взг	Гз	Бп	Ябл	Грл
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
5	≤ 50	–	–	–	–	100	–	–	–	–	–
	min	20	8	–	–	–	–	–	–	–	–
	max	40	50	–	–	–	–	–	–	–	–
6	≤ 50	100	100	–	–	–	–	–	–	–	–
	min	–	–	180	–	–	–	–	–	–	–
	max	–	–	250	–	–	–	–	–	–	–
7	151≤	–	–	100	–	–	–	–	–	–	–
	min	10	10	–	–	–	–	–	–	70	100
	max	60	150	–	–	–	–	–	–	90	160
	≤ 50	57	98	–	–	–	–	–	–	–	–
	51-150	43	2	–	–	–	–	–	–	100	67
8	151≤	–	–	–	–	–	–	–	–	–	33
	min	20	25	–	–	–	–	–	30	25	–
	max	50	170	–	–	–	–	–	160	40	–
	≤ 50	100	26	–	–	–	–	–	64	100	–
	51-150	–	70	–	–	–	–	–	27	–	–
9	151≤	–	4	–	–	–	–	–	9	–	–
	min	–	–	–	–	–	50	–	–	–	–
	max	–	–	–	–	–	80	–	–	–	–
	≤ 50	–	–	–	–	–	25	–	–	–	–
10	51-150	–	–	–	–	–	75	–	–	–	–
	min	30	–	–	–	–	–	–	–	–	450
	max	50	–	–	–	–	–	–	–	–	500
	≤ 50	100	–	–	–	–	–	–	–	–	–
11	151≤	–	–	–	–	–	–	–	–	–	100
	min	10	15	–	–	–	–	20	100	–	180
	max	70	210	–	–	–	–	55	140	–	200
	≤ 50	63	11	–	–	–	–	67	–	–	–
	51-150	37	74	–	–	–	–	33	100	–	–
12	151≤	–	15	–	–	–	–	–	–	–	100
	min	35	–	–	–	–	–	–	20	–	10
	max	50	–	–	–	–	–	–	30	–	25
	≤ 50	100	–	–	–	–	–	–	100	–	100
13	min	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	max	60	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	≤ 50	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
	51-150	50	–	–	–	–	–	–	–	–	–
14	min	–	210	–	–	–	–	–	–	–	35
	max	–	245	–	–	–	–	–	–	–	105
	≤ 50	–	–	–	–	–	–	–	–	–	37
	51-150	–	–	–	–	–	–	–	–	–	33
	151≤	–	100	–	–	–	–	–	–	–	–

Ріст і формування підросту сосни звичайної виявилось подібним до такого у дуба звичайного (див. табл. 5). Її підріст лише на ділянці №5 весь належить до категорії дрібного, а на ділянці №14 – до великого. На інших дослідних ділянках підріст сосни характеризується значною мінливістю за висотою та відноситься до різних висотних категорій. Підріст інших деревних видів (ялини європейської, клена гостролистого, в'яза голого, берези повислої, яблуні, груші) у деревостанах поширений значно менше, а його

мінливість за висотою зумовлена умовами піднаметового середовища. Так, підріст ялини на ділянці №2 за висотою весь відноситься до середнього, а на ділянці №6 – до великого. Підріст клена на ділянці №1, липи – на ділянці №4, берези і груші – на ділянці №12 та яблуні – на ділянці №8 відноситься до дрібного.

Дискусія (Discussion).

Природне поновлення лісів є складним процесом, який визначається взаємодією абіотичних умов, біотичних бар'єрів, популя-

ційної динаміки та практики ведення лісового господарства. На поширення підліскових видів, формування підросту істотно впливає материнський деревостан, а особливо кількість світла, що проникає крізь його лісовий намет (Бондаренко, 2011, 2013; Bondarenko et al., 2025; Zaika & Bondarenko, 2018). Інтенсивність освітлення є одним із основних чинників, який визначає ріст, розвиток і життєдіяльність піднаметової рослинності (Majasalmi & Rautiainen, 2020). Іншими дослідженнями також підтверджено, що світло в поєднанні з ґрунтовими умовами та вологістю формує «вікна можливостей» для поновлення (Liu, 2025; Wagner et al., 2015). Результати досліджень українських вчених в умовах Полісся узгоджуються з цими висновками. Так, Скляр та ін. (2024) показали, що поновлення сосни й дуба залежить від ценотичних умов і трофотопу.

Роль підліску в лісостанах різних лісорослинних умов оцінюється неоднозначно (Свириденко, Швиденко, 1995). У чистих хвойних деревостанах груба хвойна підстилка створює кисле середовище, несприятливе для сапротрофних мікроорганізмів, тоді як опад підліскових видів покращує умови для їхнього функціонування (Погребняк, 1993а, 1993б). Nuth & Wagner (2013) довели, що трав'яний покрив є сильним конкурентом для світлолюбних деревних видів, а Fischer & Wagner (2011) підкреслили блокуючу роль підліску. Українські дослідження підтверджують ці висновки. Зокрема Пастернак та ін. (2024) встановили залежність виживання підросту сосни від щільності материнського деревостану і структури живого надґрунтового покриву, а Дем'яненко (2012) наголосила на впливі хвороб і шкідників на виживання підросту у Новгород-Сіверському Поліссі.

У соснових деревостанах Шепетівського Полісся встановлено, що підлісок і живий надґрунтовий покрив формують складні взаємозв'язки, які визначають успішність поновлення. За даними Сасюка та ін. (2024), у 56-90-річних соснових деревостанах виявлено 10 підліскових видів, 51 вид судинних рослин і сім видів мохів. Їхня присутність впливає на мікроклімат та ґрунтові процеси, створюючи умови для появи сходів і виживання підросту. Цим підтверджено, що підлісок не лише конкурує з деревними видами, але й може виконувати стабілізуючу функцію у формуванні екосистеми.

Фенологія плодоношення визначає «вікна регенерації» (Fischer & Wagner, 2011), особливо у роки рясного плодоношення дуба й бука. Стохастичність поширення насінин формує

мозаїку природного поновлення (Norden, 2015; Uriarte et al., 2018). Дані українських дослідників підтверджують важливість цього чинника: у Центральному Поліссі дуб звичайний має високий потенціал поновлення у свіжих суборах, але виживання сіянців значною мірою залежить від впливу трав'яної компоненти (Федонюк та ін., 2018).

У букових лісостанах Українського Розточчя трав'яний покрив має вирішальне значення для процесів природного поновлення. Павлюк Н. і Павлюк В. (2025) встановили, що трав'яна рослинність впливає на відновлювані процеси бука лісового через зміну умов освітлення, вологості та ґрунтової реакції. Автори довели, що різні види трав'яної рослинності диференційовано впливають на виживання самосіву, а їхня морфологічна реакція на світловий режим і ґрунтову вологість визначає здатність до поширення й функціонування під наметом деревостану. Результати дослідження свідчать, що трав'яний покрив може виступати не лише конкурентом, але й регулятором екологічної рівноваги, створюючи умови для стабільного поновлення бука лісового.

Alibakhshi et al. (2024) встановили, що підріст може знижувати локальні температури на 2°C. Ці результати мають практичне значення для Полісся, де природне поновлення потрібно розглядати як інструмент адаптації до зміни клімату. Результати досліджень низки авторів (Crouzeilles et al., 2017; Holl & Aide, 2011; Meli et al., 2017) показали, що природне поновлення часто перевершує лісові культури за рівнем біорізноманіття, структурної складності та економічної ефективності.

Результати українських дослідників узгоджуються з цими висновками: у Західному Поліссі природне поновлення сосни й дуба має добрий потенціал, проте потребує удосконалення системи рубок на засадах наближеного до природи лісівництва (Дем'яненко, 2012; Сасюк та ін., 2024; Ткач та ін., 2014).

Висновки (Conclusions).

1. Живий надґрунтовий покрив у соснових лісостанах Шепетівського Полісся представлений 58 видами рослин (зокрема семи видами мохів) з 36 родин. Найширшим представництвом в регіоні дослідження характеризуються мохи, які домінують на більшості ділянок. Їхнє середнє трапляння складає 23,3-100,0%, а середнє проєктивне покриття змінюється від 20,0 до 69,3%. Найпоширенішим серед мохів є плевроцій Шребера, коефіцієнт фітоценотичної значимості якого є максимальним на більшості пробних площ.

2. На дослідних ділянках трав'яна рослинність представлена 9-24 видами з щільністю 5,5 видів на 1 м². Найбільшим поширенням характеризується чорниця, КФЗ у якої є максимальним на більшості ділянок і сягає до 60,2%. Значне поширення має також ожина шорстка, КФЗ якої під наметом лісу досягає 45,2%. У живому надґрунтовому вкритті також широко представлені квасениця звичайна, зірочник лісовий, перестріч гайовий, орляк звичайний, брусниця, веснівка дволиста (КФЗ 4,0-12,4 %).

3. Трав'янисто-мохова компонента лісостанів за вимогами до умов зволоження охоплює всю шкалу – від ксерофітів до гігрофітів. У соснових фітоценозах регіону найбільше представлені мезофітні види (56,9%), майже четверта частина видів рослин є мезогігрофітами (24,1%).

4. Розподіл підліскових і трав'янистих видів за трофністю доволі подібний – максимальна кількість видів рослин є мезотрофами (20,0-53,4%), а решта поширені по всьому трофогенному спектрі, змінюючись в межах 8,6-20,0%.

5. Переважна кількість підліскових видів рослин за відношенням до вологості ґрунтів належить до мезофітів (50%), дещо менша – до ксеромезофітів (40%) і лише 10% за своєю природою є мезогігрофіти.

6. Через лісовий намет соснових деревостанів проходить достатня кількість світла, яка сприяє поширенню світлолюбних підліскових видів. Трав'янисті види за ступенем світлолюбності повністю охоплюють увесь спектр різноманіття. Найбільше представлені світлолюбні види рослини (48,3%), дещо менше

– тіньовитривалі (34,5 %) та найменше – тінелюбні (17,2 %).

7. Загальна кількість підросту в соснових деревостанах змінюється від 0,67 до 33,0 тис. екз./га. Найбільше у його складі трапляються дуб і сосна. Підріст дуба виявлено на 64,3% ділянок у кількості 0,33-6,34, а сосни – на 42,9% ділянок у кількості 0,33-25,00 тис. екз./га. Значним поширення у деревостанах на окремих ділянках характеризується також підріст берези (0,33-3,67), в'яза (13,67) і граба (8,33 тис. екз./га). Підріст інших деревних видів (липи серцелистої, ялини європейської, клена гостролистого, яблуні лісової і груші лісової) у деревостанах поширений слабо, його кількість не перевищує 1 тис. екз./га.

8. Встановлено істотний вплив підліску на формування молодого покоління лісу під наметом соснових деревостанів. Між кількістю підліску і підросту деревних видів існує тісний зворотній зв'язок ($r = -0,72$), а між кількістю підліску і траплянням підросту цей зв'язок є значним і зворотнім ($r = -0,67$). Вплив соснового деревостану на формування кількості підросту і на його трапляння є істотно меншим, ніж підліску та характеризується слабким кореляційним зв'язком.

9. Підріст деревних видів характеризується переважно значною мінливістю за висотою. Особливо вона виражена у дуба, сосни, ялини, липи, клена і в'яза.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Alibakhshi, S., Cook-Patton, S. C., Davin E., Maeda, E. E., Araújo, M. B., Heinlein, D., ... Crowther, T. W. (2024). Natural forest is projected to reduce local temperatures. *Nature Communications Earth & Environment*, 5(1), 1–8. <https://doi.org/10.1038/s43247-024-01737-5>
- Bondarenko, T. V. (2013). *Silvicultural and ecological role of undergrowth in hornbeam oak forests of the Western Forest-Steppe*: Doctoral dissertation abstract, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine. https://irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe [Бондаренко, Т. В. (2013). *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. (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., 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
- Crouzeilles, R., Ferreira, M. S., Chazdon, R. L., Lindenmayer, D. B., Sansevero, J. B., Monteiro, L., ... Strassburg, B. B. (2017). Ecological restoration success is higher for natural regeneration than for active restoration in tropical forests. *Science Advances*, 3(11), e1701345. <https://doi.org/10.1126/sciadv.1701345>
- Demyanenko, L. V. (2012). Condition of forest plantations and prospects of natural regeneration in Novhorod-Siverskyi Polissia. *Forestry and Agroforestry*, 120, 45–52. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=ru&user=ocpyRqQAAAAJ&citation_for_view=ocpyRqQAAAAJ:u-x6o8ySG0sC [Дем'яненко, Л. В. (2012). Стан лісових культур та перспективи природного поновлення у Новгород-Сіверському Поліссі. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 120, 45–52] (in Ukrainian)
- Fedonyuk, T. P., Fedonyuk, R. G., Zinchuk, Yu. V., & Pastushchik, V. V. (2018). Success of natural seed regeneration of common oak in Zhytomyr region. *Scientific Papers of Zhytomyr National Agroecological University*, 12, 78–82. <https://conf.ztu.edu.ua/wp-content/uploads/2017/12/78.pdf> [Федонюк, Т. П., Федонюк, Р. Г., Зінчук, Ю. В., Пастушик, В. В. (2018). Успішність природного насінневого поновлення дуба звичайного на Житомирщині. *Збірник наукових праць ЖНАЕУ*, 12, 78–82] (in Ukrainian)
- Fischer, A. & Wagner, S. (2011). Canopy effects on vegetation caused by harvesting and regeneration treatments. *European Journal of Forest Research*, 130(1), 17–40. <https://doi.org/10.1007/s10342-010-0378-z>
- Holl, K. D. & Aide, T. M. (2011). When and where to actively restore ecosystems? *Forest Ecology and Management*, 261, 1558–1563. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.07.004>
- 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)
- Huth, F. & Wagner, S. (2013). Ground vegetation competition in regeneration. *European Journal of Forest Research*, 132(1), 1–12. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0661-5>
- Liu, J. (2025). Progress in research on the effects of environmental factors on natural forest regeneration. *Frontiers in Forests and Global Change*, 8, 1525461. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2025.1525461>
- 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>
- Meli, P., Holl, K. D., Rey Benayas, J. M., Jones, H. P., Jones, P. C., Montoya, D., & Moreno Mateos, D. (2017). A global review of past land use, climate, and active vs. Passive restoration effects on forest recovery. *PLOS ONE*, 12(2), e0171368. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0171368>
- Milinevych, B., Zaika, V., Kovaleva, V., Yushpovych, Y., Pavuk, M., & Tusjak, V. (2025). Morphophysiological features of silver fir young growth formation under conditions of moist fairly fertile spruce-beech-fir forest type. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 28, 68–85. <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/issue/view/34/20>. [Міліневич, Б. М., Заїка, В. К., Ковальова, В. А., Юсипович, Ю. М., Павук, М. М., Тисяк, В. В. (2025). Морфологічні особливості формування підросту *Abies alba* Mill. в умовах вологої смереково-букової суяличини. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 28, 68–85] (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)
- Norden, N. (2015). Recruitment dynamics in tropical forests: stochasticity and seed dispersal windows. *Journal of Ecology*, 103(5), 1234–1245. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12456>
- Pasternak, V., Pyvovar, T., & Harmash, A. (2024). Patterns of natural regeneration of pine forests in Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 54–62. <https://doi.org/10.15421/412413> [Пастернак, В., Пивовар, Т., Гармаш, А. (2024). Закономірності природного поновлення соснових лісів Лівобережного Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 54–62] (in Ukrainian)
- Pavliuk, N. V., & Pavliuk, V. V. (2025). Forestry and ecological role of the herbaceous layer in the processes of natural regeneration of European beech in the Ukrainian Roztochchia. In *Nature Reserve "Roztochchia" – Results of Biocenotic Research* (pp. 65–73). Lviv, Ukraine: Halychpres. <https://doi.org/10.32718/zaproz25> [Павлюк, Н. В., Павлюк, В. В. (2025). Лісівничо-екологічна роль трав'яного покриву в процесах природного поновлення

- бука лісового в Українському Розточчі. В кн.: Природний заповідник «Розточчя» – результати біоценотичних досліджень (с. 65–73). Львів: Галичпрес] (in Ukrainian)
- Pohrebniak, P. S. (1993a). Reaction of filtrates from the litter of tree and shrub species during different periods of seasonal development (pp. 226–235). In *Forest Ecology and Forest Typology: Selected Works*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka. [Погребняк, П. С. (1993а). Реакція фільтратів опадів деревних і чагарникових видів у різні періоди сезонного розвитку (с. 226–235). У кн. *Лісова екологія і типологія лісів. Вибрані праці*. Київ: Наукова думка] (in Ukrainian)
- Pohrebniak, P. S. (1993b). On the issue of the origin of forest litter reaction (pp. 334–351). In *Forest Ecology and Forest Typology: Selected Works*. Kyiv, Ukraine: Naukova Dumka. [Погребняк, П. С. (1993б). До питання про походження реакції лісової підстилки (с. 334–351). В кн. *Лісова екологія і типологія лісів. Вибрані праці*. Київ: Наукова думка] (in Ukrainian)
- Sasiuk, A. V., Zaika, V. K., & Pavliuk, V. V. (2024). Influence of undergrowth on the formation of ground cover in pine stands of Shepetivka Polissia. In: *Proceedings of the Conference “Roztochchia: Forestry and Ecological Research”*. Lviv: NLTU of Ukraine, 56–62.
<https://sci.lidubgd.edu.ua/jspui/bitstream/123456789/15660/1/zbirnyk-ISBN-is.pdf> [Сасюк, А. В., Заїка, В. К., Павлюк, В. В. (2024). Вплив підліску на формування живого надґрунтового покриття у соснових деревостанах Шепетівського Полісся. Матеріали наук. конф. «Розточчя: лісівничо-екологічні дослідження». Львів: НЛТУ України, 56–62] (in Ukrainian)
- Sasyuk, A., Zaika, V., Pavliuk, V., & Matusiak, M. (2022). Distribution and formation of underground in the pine forests of Shepetivsky Polissia. *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)
- Skliar, V., Smoliar, N., Kozak, M., Liubynskyi, O., & Skliar, Y. (2024). Ecological and coenotic features of natural forest regeneration in Left-Bank Polissia of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and wood Science*, 15(2), 8–22. <https://doi.org/10.31548/forest/2.2024.118> [Скляр, В., Смоляр, Н., Козак, М., Любинський, О., Скляр, Ю. (2024). Еколого-ценотичні особливості природного відновлення лісів Лівобережного Полісся України. *Ukrainian Journal of Forest and wood Science*, 15(2), 8–22] (in Ukrainian)
- Smahliuk, O. I. (1974). Ecological assessment of the phytocoenotic role of herb-shrub layer species in beech forests. *Forestry and Forest Melioration*, 37, 36–42. [Смаглюк О. І. Екологічна оцінка фітоценотичної ролі видів трав'яно-чагарничкового ярусу букових лісів. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 37, 36–42] (in Ukrainian)
- Sviridenko, V., & Shvidenko, A. (1995). The role of undergrowth in forest stands of different conditions. *Forestry and Agroforestry*, 110, 23–30. [Свириденко, В., Швиденко, А. (1995). Роль підліску в лісостанах різних умов. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 110, 23–30] (in Ukrainian)
- Svyrydenko, V. Ye., & Shvydenko, A. Y. (1995a). *Silviculture: Textbook*. Kyiv, Ukraine: Silhosposvita Publishing. [Свириденко, В. Є., Швиденко, А. Й. (1995а). *Лісівництво: підручник*. Київ: Вид-во «Сільгоспосвіта». 364 с.] (in Ukrainian)
- Tkach, V. P., Luk'yanets, V. A. & Rummyantsev, 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. <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)
- Tkach, V., Rumiantsev, M., Lukianets, V., & Kurbet, T. (2024). Studies of natural forest regeneration in Western Polissia. *Proceedings of the Polissia Branch of the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration*, 77–85. [Ткач, В., Румянцев, М., Лук'янець, В., Курбет, Т. (2024). Дослідження природного поновлення лісів у Західному Поліссі. *Праці Поліського філіалу УкрНДІЛГА*, 77–85] (in Ukrainian)
- Uriarte, M., Muscarella, R., & Zimmerman, J. K. (2018). Environmental heterogeneity and biotic interactions drive seedling recruitment patterns across spatial scales. *Ecology*, 99(2), 288–299. <https://doi.org/10.1111/gcb.14000>
- Wagner, S., Huth, F., Hagemann, U., & Fischer, H. (2015). Developing restoration strategies for temperate forests using natural regeneration

- processes. In: Stanturf, J. A. (ed.). *Restoration of Boreal and Temperate Forests*. Boca Raton: CRC Press, 103–120. ISBN 978-1-4822-1020-0
- 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. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_1/9.pdf [Вишневецький, 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)
- Zaika, V., & Bondarenko, T. (2018). The content of chlorophyll a and chlorophyll b in leaves of undergrowth species in hornbeam-oak forest stands of the forest-steppe zone in Western Ukraine. *Leśne Prace Badawcze / Forest Research Papers*, 79(1), 23–28. <https://doi.org/10.2478/frp-2018-0003>

The Phytocoenotic Role of the Understory in the Development of Natural Regeneration and Ground Vegetation Cover in Scots Pine Forest Stands of the Shepetivka Polissia Region

A. Sasyuk¹, V. Zaika², V. Pavlyuk³, P. Dmytryk⁴, I. Koliadzhyn⁵

The influence of the understory on the formation of ground vegetation cover and natural regeneration of tree species was investigated in 56–90-year-old Scots pine forest stands of the Shepetivka Polissia. The stands grow under conditions of fresh and moist fairly fertile and relatively poor site types.

The ground vegetation cover in the Scots pine stands was represented by 58 plant species, including seven moss species, belonging to 36 families. Mosses exhibited the highest representation and dominated most of the study sites. Their mean frequency ranged from 23.3% to 100.0%, while their mean projective cover varied between 20.0% and 69.3%. Among the mosses, *Pleurozium schreberi* was the most widespread species, exhibiting the highest phytocoenotic significance coefficient (PSC) in the majority of the sample plots.

The herbaceous layer was represented by 9–24 species, with a species density of 5.5 species per m².

Vaccinium myrtillus was the most widespread species, exhibiting the highest phytocoenotic significance coefficient (PSC) in the majority of the study sites, reaching up to 60.2%. *Rubus hirtus* was also abundant, with its PSC attaining 45.2% beneath the forest canopy. The ground vegetation cover was further characterized by a substantial presence of *Oxalis acetosella*, *Stellaria holostea*, *Melampyrum nemorosum*, *Pteridium aquilinum*, *Vaccinium vitis-idaea*, and *Maianthemum bifolium*, whose PSC values ranged from 4.0% to 12.4%.

According to moisture requirements, the herb-moss layer of the forest stands covers the full ecological spectrum, from xerophytic to hygrophytic species. Mesophytes constitute the dominant ecological group in the Scots pine phytocoenoses of the region, representing 56.9% of all recorded species, while mesohygrophytes account for 24.1%.

The trophic-group distribution of understory and herbaceous species is largely similar. Mesotrophs represent the dominant ecological group, accounting

¹Andriy 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>

²Volodymyr 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: volodymyr.zaika@cnu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0007-6641-8847>

³Vasyl 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>

⁴Pavlo Dmytryk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of Forestry and Agrarian Management, the Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenko St., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: pavlo.dmytryk@cnu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1973-391X>

⁵Ihor Koliadzhyn – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forestry and Agrarian Management, Vasyl Stefanyk Carpathian National University, 57 Shevchenko St., Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. E-mail: koliadjunif@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8045-5678>

for 20.0–53.4% of the species composition, whereas other trophic groups are represented across the entire trophic gradient, each comprising 8.6–20.0% of the recorded species. With respect to soil moisture preferences, most understory species are mesophytes (50%), followed by xeromesophytes (40%), while mesohygrophytes constitute only 10% of the understory flora.

The canopy of the Scots pine stands allows sufficient light penetration to support the establishment of light-demanding understory species. Herbaceous vegetation is represented by species covering the full range of light preferences. Heliophilous species predominate, accounting for 48.3% of the recorded flora, while shade-tolerant and shade-loving species comprise 34.5% and 17.2%, respectively.

The total density of natural regeneration in the Scots pine stands ranged from 0.67 to 33.0 thousand individuals per hectare. Oak and pine were the most frequently occurring species in the regeneration layer. Oak regeneration was recorded on 64.3% of the study plots, with densities ranging from 0.33 to 6.34 thousand individuals ha⁻¹, whereas pine regeneration occurred on 42.9% of

the plots, with densities varying from 0.33 to 25.00 thousand individuals ha⁻¹. On certain plots, considerable densities of *Betula pendula* regeneration (0.33–3.67 thousand individuals ha⁻¹), *Ulmus glabra* (13.67 thousand individuals ha⁻¹), and *Carpinus betulus* (8.33 thousand individuals ha⁻¹) were also recorded. Regeneration of other tree species, including *Tilia cordata*, *Picea abies*, *Acer platanoides*, *Malus sylvestris*, and *Pyrus pyraeaster*, was sparse, with densities not exceeding 1 thousand individuals ha⁻¹.

The understory was found to exert a significant effect on the development of natural regeneration beneath the canopy of Scots pine stands. Understory density showed a strong negative correlation with regeneration density ($r = -0.72$) and a significant negative correlation with regeneration frequency ($r = -0.67$). In contrast, the effect of the Scots pine overstory on both regeneration density and frequency was considerably weaker and was characterized by low correlation coefficients.

Key words: natural regeneration; understory; ground vegetation cover; species frequency; projective cover; Scots pine stand; forest stand.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412608>
Article received 2025.09.15
Article revised 2026.01.12
Article accepted 2026.02.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Forgil
Yaroslav.Forgil@gmail.com
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*228.81 : 630*231

Вплив лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на формування запасу деревини ялинових лісостанів у Покутсько-Мармароських Карпатах

Я.С. Форгіль¹, Ю.С. Миклуш²,

Picea abies (L.) Karst. є одним із перспективних деревних видів для отримання значних запасів деревини не лише в смерекових, але й в ялицевих типах лісу. Особливість ялини європейської нагромаджувати високі запаси деревини в яличинах і суяличинах було помічено давно, у зв'язку з чим цей деревний вид широко культивували в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини, часто створюючи чисті ялинові насадження. Як базовий об'єкт для проведення дослідження нами вибрано Верховинське л-во Верховинського надлісництва, на території якого зосереджені сугрудові і грудові смерекові та ялицеві типи лісу, які є характерними для всього північно-східного макросхилу Українських Карпат.

Ялина європейська в умовах С₃-бк-яцСм за частки у деревостані у 8-10 од. відзначається доволі високою продуктивністю, нагромаджуючи у віці 100-120 років понад 500 м³·га⁻¹ стовбурової деревини. Максимальних запасів ялинові деревостани досягають у віці 60-80 років – понад 600 м³·га⁻¹. За дослідними даними, залежності між складом деревостану та запасом деревини не встановлено. В умовах С₃-см-бкЯц ялина за високої участі в складі деревостану максимальні запаси формує у віці 60-70 років – близько 600 м³·га⁻¹. Зі збільшенням віку лісостанів запаси деревостанів знижуються через втрату ялиною біотичної стійкості та проведені господарські заходи.

В умовах вологої сусмеречини найбільше ділянок – як за кількістю, так і за площею зосереджено на висоті 1101-1200 м, в умовах вологої суяличини – на висоті 1001-1050 м н.р.м. Ялинові деревостани в сусмеречині піднімаються до висоти 1301-1400 м, в суяличині – лише до висоти 1051-1100 м н.р.м.

В умовах С₃-бк-яцСм найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах С₃-см-бкЯц значна частина ділянок (32%) тягнє до північного та північно-західного схилів.

¹ Форгіль Ярослав Святославович – аспірант кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: Yaroslav.Forgil@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2236-1793>

² Миклуш Юрій Степанович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент. Технологічний університет Шеннона, вул. Університетська, м. Атлон, графство Вестміт, Ірландія. E-mail: yuriy.myklush@tus.ie ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1940-1045>

Насадження на південно-західних і західних схилах характеризуються суттєвим регресом продуктивності. Цей спад є мінімальним у корінних умовах сушмеречини ($430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і стає критичним у похідних ялинниках суяличини ($282 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), що вказує на синергетичний ефект кліматичного та антропогенного пресингу. Стрімкість схилів виступає регулятором антропогенного пресингу.

Математичні моделі зв'язку між таксаційними характеристиками ялинових деревостанів та орографічними чинниками є значно адекватнішими для буково-ялицевих сушмеречин ($R = 0,54 \dots 0,64$), ніж для смереково-букових суяличин ($R = 0,32 \dots 0,47$). У деревостанах вологої сушмеречини динаміка запасу є природною та висхідною – визначальним є позитивний вплив фактора віку. У деревостанах вологої суяличини виявлено деструктивні процеси: на північних схилах збільшення частки ялини призводить до зниження запасу ($b = -0,24$), а на південних схилах спостережено регрес запасу за збільшення віку насаджень ($b = -0,320$), що свідчить про їхню втрату стійкості та передчасний розпад.

Ключові слова: *Picea abies* (L.) Karst.; запас деревини; вік; частка ялини; експозиція схилів; стрімкість схилів; висота над рівнем моря.

Вступ (Introduction).

Вирощування високопродуктивних лісостанів є одним із ключових завдань підприємств лісової галузі. Основним показником, що відображає характер лісогосподарювання та потенційні можливості виконання деревостанами різнопланових функцій, вважається обсяг вирощеної деревини. Запаси деревини тісно пов'язані з характером та інтенсивністю лісогосподарських заходів (Король, Вицега, 2006; Криницький, Крамарець, 2009; Дебринюк, 2011; Гриник, 2012 та ін.), виконання яких регламентується нормативними документами (Правила поліпшення ..., 2007; Санітарні правила ..., 2016). Динамічні процеси росту і формування структури ялинових лісостанів, які характеризуються певними особливостями залежно від експозиції та стрімкості схилів, висоти над рівнем моря, проявляються через основні лісівничо-таксаційні показники – частку ялини у складі деревостанів, їхню повноту та запаси стовбурової деревини (Король, Вицега, 2006; Гриник, 2011; Лавний, Матусевич, 2023).

Picea abies (L.) Karst. на північно-східному макросхилі Українських Карпат формує чисті та мішані за складом деревостани у шести найпоширеніших типах лісу, серед яких вологий чистосмерековий субір, волога високогірна сушмеречина, волога букова сушмеречина, волога ялицева сушмеречина, волога буково-ялицева сушмеречина та волога буково-ялицева смеречина (Матусевич, 2022). Лісостани ялини європейської, незважаючи на часткову втрату нею біотичної стійкості у зв'язку зі зміною клімату, володіють значним ресурсним потенціалом, а *Picea abies* залишається основним комерційним деревним видом Карпатського регіону.

Низка дослідників (Криницький, Крамарець, 2009; Дебринюк та ін., 2013; Парпан та ін., 2014; Лавний, Пелюх, 2019; Гриник, 2011; Матусевич,

2022; Лавний, Матусевич, 2023) характеризують ялину як швидкорослу породу в багатих і відносно багатих типах лісорослинних умов, яка здатна нагромаджувати значні обсяги стовбурової деревини, залишаючись до певного віку достатньо біотично стійкою (Шпарик, 2019; Pelyukh et al., 2019).

Станом на 01.2018 р. загальна площа ялинових лісостанів на території Івано-Франківської обл. становила 258 тис. га (48,4% від загальної площі лісів) із загальним запасом 94,9 млн м^3 (Лавний, Матусевич, 2023). За аналізом лісовпорядкувальних матеріалів 2016-2024 рр., лісостани з перевагою у складі *Picea abies* лише в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини займають площу 38,7 тис. га (Форгіль, Дебринюк, 2025).

Ялинові насадження Українських Карпат формувалися в основному під впливом антропогенного фактора, що позначилось на їхній структурі, закономірностях росту та зміні таксаційних показників (Король, Вицега, 2006). За результатами досліджень Вицеги, Гриника (2004) внаслідок процесів, спричинених доглядовими рубаннями, розвиток деревостанів відхиляється від оптимуму. Дослідження таксаційної будови смерекових деревостанів засвідчили значну варіабельність показників ексцесу та асиметрії залежно від віку та характеру проведених рубок догляду.

В умовах високогір'я Горган Черневий та ін. (2011) встановили, що у штучних насадженнях швидкість росту ялини виявилася майже удвічі вищою, ніж у природних. На високу продуктивність мішаних насаджень ялини та ялиці в Горганах вказували Keeton et al. (2010). За даними Миклуша та ін. (2024), за умови вирощування насаджень за відносної повноти 0,8, у віці 120 років ялинові деревостани в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини на висоті 900-1100 м н.р.м. можуть нагромаджувати

запас деревини до $900 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$; дещо менші запаси – на висоті 801-900 м і найменші – на висоті 700-800 м над рівнем моря. На високу стійкість і продуктивність ялинових лісостанів у Покутських Карпатах на висотах понад 900 м н.р.м. вказують Лосюк та ін. (2021).

За даними Матусевича (2022), в умовах C_3 - $C_{\text{м}}$ на висотах 900-1300 м н.р.м. чисті ялинові деревостани займають спадисті і стрімкі схили, формуючи середньоповнотні лісостани із запасом деревини у віці рубки головного користування $500\text{-}550 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Деревостани в умовах C_3 - $бк$ - $яцC_{\text{м}}$ (800-1300 м н.р.м.), будучи найпоширенішими у регіоні дослідження, характеризуються високими класами бонітету (I - I^a), середньою повнотою, є біологічно стійкими і високопродуктивними ($600\text{-}650 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), займаючи спадисті і стрімкі схили. Лісові насадження в умовах D_3 - $бк$ - $яцC_{\text{м}}$ є найпродуктивнішими серед ялинових типів лісу, формують запаси у віці головного користування близько $700\text{-}750 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Лісостани займають висоти 750-1100 м н.р.м., формуються переважно на спадистих схилах і представлені середньоповнотними та високобонітетними деревостанами. З віком та зі збільшенням висоти н.р.м. простежується зниження значень як середньої відносної повноти, так і середнього класу бонітету, незалежно від частки головної породи у складі ялинових деревостанів Українських Карпат (Гриник, 2011).

За рекомендацією Шпарика (2019), для забезпечення високої продуктивності та стійкості ялинових деревостанів у мішаних насадженнях грудових типів лісу частку ялини у складі лісових культур необхідно довести до 40-50%. У високогірних чистих суслеречинах густоту потрібно довести мінімум до 6,5 тис. шт./га і відмовитися від доглядових рубань в молодняках; в інших типах лісу доцільно створювати плантаційні лісові культури ялини європейської.

Подібного погляду притримуються Крамарець, Криницький (2009), які пропонують на місці всихаючих ялиників запроваджувати плантаційне лісовирощування із використанням швидкорослих та високопродуктивних порід (зокрема модрина, псевдотсуги та ін.).

На важливості заміни похідних ялиників та створення на їхньому місці деревостанів за типом корінних акцентують увагу низка дослідників (Криницький, Крамарець, 2009; Слободян, 2010, 2012; Парпан та ін., 2014; Debrynyuk, 2017; Лавний, Пелюх, 2019). Такий захід дасть можливість оздоровити ґрунт, зменшити інфекційний фон, знизити активність фітогельмінтів, оптимізувати нематодний комплекс ґрунту, підвищити стійкість та продуктивність ялинових лісостанів.

Одним із найпотужніших чинників, який виявляє негативний вплив на лісові екосистеми, є зміни клімату, адаптацію до яких лісові фітоценози проходять дуже складно (Стойко, 2011). Зокрема, Лавний, Пелюх (2019) встановили негативний синергетичний вплив зміни клімату та посилення антропогенного навантаження на стан, структуру і функціонування похідних ялинових деревостанів Українських Карпат. За даними Trotsiuk et al. (2014), режими природних порушень відіграють ключову роль у формуванні структури та розвитку лісу на рівні насаджень та ландшафтів. На думку Миклуша та ін. (2015), трансформаційні процеси у лісових екосистемах Карпат зумовлені одночасною дією різноманітних як природних абіотичних і біотичних, так і антропогенних чинників, які тісно взаємопов'язані між собою та посилюють дію кожного зокрема, спричиняючи зміни в структурних компонентах і динаміці розвитку лісових угруповань, зниження їхньої біологічної стійкості та стабільності, а інколи й деградацію лісових насаджень. Albrich et al. (2020) зазначають, що гірські ліси особливо сприйнятливі до зміни клімату, але водночас їхня складна топографія може допомогти пом'якшити наслідки зміни клімату та створити кліматичні рефугіуми. Автори обґрунтовують, що навіть помірне потепління (на $+2^\circ$, коли система вже переходить в альтернативний стан) може призвести до критичних змін у лісових екосистемах та підкреслюють важливість топографічної складності як буферного фактора.

Актуальність проблеми зумовлена значним зниженням біотичної стійкості ялини європейської, скороченням площ лісостанів за участю деревного виду, практично повним випаданням ялини зі складу насаджень у букових типах лісу. Поряд з цим, ялина залишається основною лісотвірною породою в Українських Карпатах, дуже важливим комерційним об'єктом, попит на деревину якого практично необмежений. Тому здійснення аналізу впливу лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на запаси деревини ялини є науково та практично обґрунтованим кроком для розроблення стратегії збереження і раціонального використання цих лісостанів. Такий аналіз також набуває особливого значення з погляду оцінювання сучасного стану та ресурсного потенціалу ялини європейської, прогнозування запасу ялинових насаджень та оптимізації лісогосподарських заходів в умовах кліматичних змін.

Мета роботи полягає у встановленні впливу віку, частки у складі ялини європейської, висоти над рівнем моря, експозиції і стрімкості схилу на запас стовбурової деревини ялинових

деревостанів в умовах вологих сушмеречини та суяличини.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – процеси формування запасу деревини в ялинових деревостанах під впливом різних лісівничо-таксаційних та орографічних чинників. *Предмет досліджень* – вплив віку, частки ялини в складі, висоти н.р.м., стрімкості та експозиції схилів на запас стовбурової деревини в умовах вологих буково-ялицевої сушмеречини та смереково-букової суяличини.

Як базовий об'єкт для проведення дослідження нами вибрано Верховинське л-во Верховинського надлісництва філії «Карпатський лісовий офіс». За лісорослинним районуванням (Молотков, Федець, 1966), лісовий фонд Верховинського л-ва віднесено до району ялинових і буково-ялицево-ялинових високогірних лісів Покутсько-Мармороських Карпат, які розташовані в межах трьох вертикальних термічних зон: а) помірної зони з висотами до 850 м н.р.м. з середньою температурою липня $+15...+17^{\circ}\text{C}$, січня – $-5...-7^{\circ}\text{C}$; б) прохолодної зони в межах висот 850...1250 м н.р.м. з середньою температурою липня $+13...+15^{\circ}\text{C}$, січня – $-7...-9^{\circ}\text{C}$; в) помірно холодної зони на висотах 1250...1500 м н.р.м. з середньою температурою липня $+10...+13^{\circ}\text{C}$, січня – $-9...-11^{\circ}\text{C}$. Загальна площа лісового фонду лісництва становить 5386 га, площа вкритих лісовою рослинністю ділянок – 4962,0 га.

Із проаналізованих нами типів лісу в межах дев'яти лісництв північно-східного макросхилу Українських Карпат саме у лісовому фонді Верховинського лісництва зосереджені сугрудові і грудові смерекові та ялицеві типи лісу, які характерні для всієї частини Покутсько-Мармороських Карпат. З них, смерекові та ялицеві сугрудові типи лісу займають площу 3233,2 та 767,2 га, грудові типи лісу – 472,0 та 121,8 га відповідно. Частка п'яти сугрудових (C_2 - $бк-яцСм$, C_3 - $бк-яцСм$, C_3 - $яцСм$, C_3 - $См$, C_3 - $бк-смЯц$) та двох грудових (D_3 - $бк-яцСм$, D_3 - $бк-смЯц$) типів лісу посідає 92,6% від площі вкритих лісовою рослинністю ділянок лісництва.

Аналіз впливу лісівничо-таксаційних та орографічних чинників на формування запасу деревини ялинових деревостанів у межах типів лісу здійснювали за лісовпорядкувальними матеріалами 2016-2024 років. Аналіз здійснено для двох найпоширеніших серед смерекових та ялицевих типів лісу – вологої буково-ялицевої сушмеречини (C_3 - $бк-яцСм$) та вологої буково-смерекової суяличини (C_3 - $бк-смЯц$), які займають площу, відповідно, 1268,5 та 767,2 га.

Загалом було проаналізовано більше 1,8 тис. таксаційних виділів у смерековому та ялицевому типах лісу. Назви типів лісу наведено за Герушинським (1996). У процесі аналізу зібраних матеріалів використано лісівничо-таксаційні та математико-статистичні методи дослідження. Статистичний аналіз даних виконано з використанням пакету Statistica (Мамчич та ін., 2006).

Результати (Results).

У лісовому фонді Верховинського лісництва, з урахуванням незімкнутих лісових культур, чисті та мішані ялинові деревоستاني формуються на площі 5073,1 га та представлені майже 2,0 тис. таксаційними виділами різної площі. Найбільші площі ялинових деревостанів представлені протиерозійними (2656 га) та експлуатаційними (2185,5 га) лісами.

З урахуванням ґрунтово-кліматичних та орографічних умов, у лісовому фонді лісництва виділено 10 типів лісу, де формуються лісостани як природного (2906,8 га), так і штучного (2055,2 га) походження. Найбільші площі охоплюють смерекові деревоستاني в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини (1268,5 га) та деревоستاني за переважання ялини європейської в умовах вологої смереково-букової суяличини (767,2 га). Окрім цього, в умовах лісництва ялинові деревоستاني ростуть у вологих суборових (574,3 га) та грудових (643,9 га) умовах. Також виділено ялинові лісостани на трьох ділянках площею 7,6 га в умовах свіжої буково-смерекової суяличини.

За даними лісовпорядкування, ялинові лісостани в умовах лісництва формуються на висотах 800-1525 м н.р.м. Зокрема, лісостани вологої буково-ялицевої сушмеречини посідають висоти 800-1400 м, а лісостани вологої буково-смерекової суяличини – 800-1300 м н.р.м.

Досліджувані ялинові лісостани характеризуються такими середніми лісівничо-таксаційними показниками: вік – 64,7 років, відносна повнота – 0,67, середній запас – $325 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. На невеликих площах формуються мішані лісостани за незначної частки ялини у складі. Так, в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини деревоستاني за частки ялини в 5 од. та менше ростуть на площі 98,4 га, а в умовах вологої смереково-букової суяличини – на площі 82,5 га; за частки ялини в 7 од. та менше – 315,1 та 233,9 га відповідно. Також в умовах смереково-букової суяличини на площі 9,3 га ростуть ялицеві деревоستاني без участі ялини у складі.

Орографічні характеристики місць розташування ялинових лісостанів та частка головного деревного виду в їхньому складі часто є вирішальним чинником стійкості таких деревостанів до негативних біотичних (шкідники та

захворювання) і кліматичних (вітровали та вітроломи) факторів (Гриник, 2011а). Характер зміни запасів досліджуваних лісостанів та їхній зв'язок з віком деревостанів, часткою ялини у складі та орографічними характеристиками простежимо за використання парних зв'язків та множинної кореляції.

В умовах типів лісу C_3 -бк-яцСм та C_3 -см-бкЯц наявні запаси стовбурової деревини у лісостанах відзначаються значною варіабельністю, особливо у середньовікових та пристиглих деревостанах (рис. 1, 2). Так, в умовах сушмеречини у 26-30-річному віці розмах запасів становить 80-150, а в 56-60-річних деревостанах – 270-530 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. В умовах суяличини варіабельність за запасом деревини у цьому ж віковому діапазоні

ще вища – 50-160 та 110-580 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно. Такий значний розмах запасів корелює з відносною повнотою деревостанів, яка у середньовікових лісостанах змінюється в межах 0,3-0,9.

Зазначимо, що найвищими запасами характеризуються середньовікові деревостани, зокрема, в умовах C_3 -бк-яцСм найбільший запас зафіксовано на рівні 650 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а в умовах C_3 -см-бкЯц – 580 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. В умовах вологої сушмеречини найвищі запаси деревини притаманні віковому діапазоні 60-110 років із середнім значенням 400-420 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, хоча і в цьому віковому проміжку варіабельність за показником запасу доволі висока. Остання зумовлена комплексною дією біотичних та антропогенних чинників.

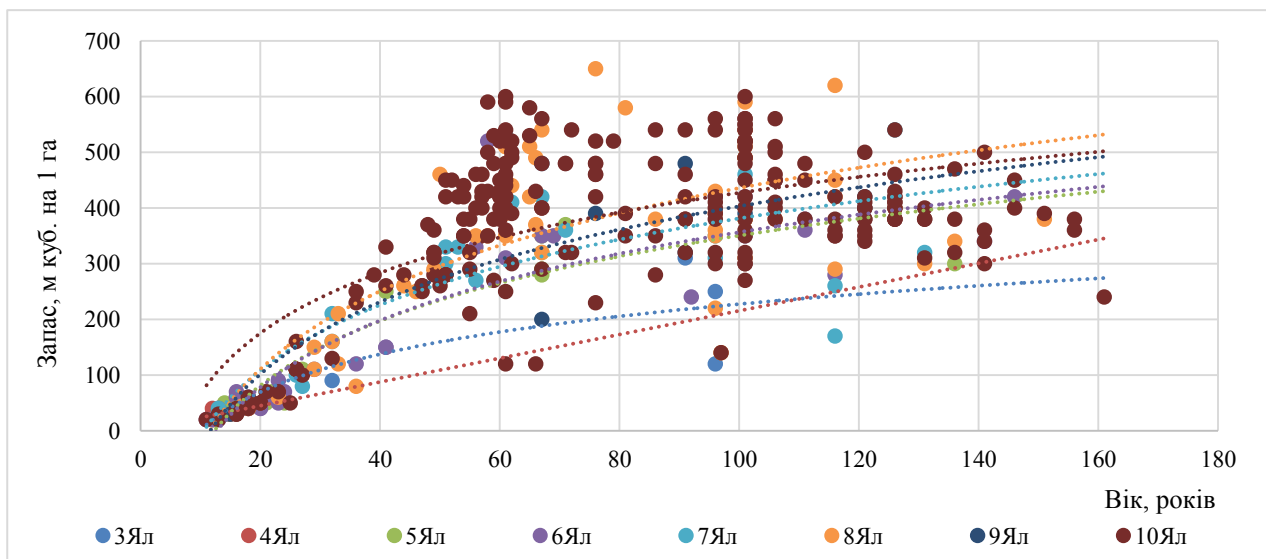


Рис. 1. Зміна запасу деревини у лісостанах у зв'язку з віком і часткою *Picea abies* (L.) Karst. у складі в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 1. Changes in growing stock volume of forest stands in relation to age and the share of *Picea abies* (L.) Karst. in the composition under moist beech-fir-spruce forest conditions

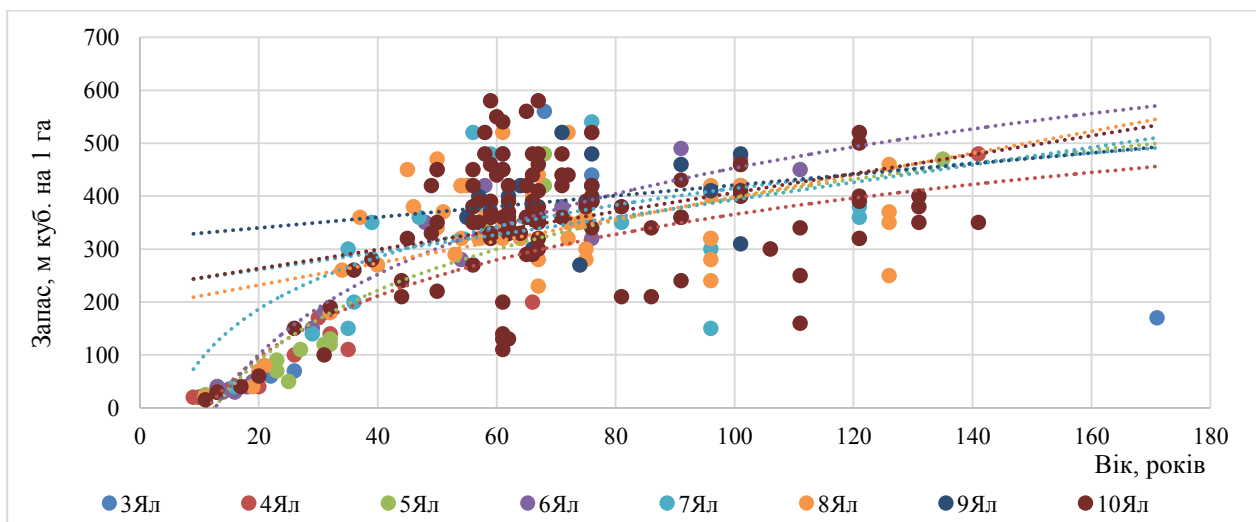


Рис. 2. Зміна запасу деревини у лісостанах у зв'язку з віком і часткою *Picea abies* (L.) Karst. у складі в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 2. Changes in growing stock volume of forest stands in relation to age and the share of *Picea abies* (L.) Karst. in the composition under moist spruce-beech-fir forest conditions

В умовах суяulichини середні запаси деревини ($380-400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) спостережено у віці 55-70 років, після чого показник помітно знижується. Зниження показника запасу корелює зі зниженням повноти деревостанів, що зумовлено як лісогосподарськими заходами, так і пониженням біотичної стійкості середньовікових ялиників в ялицевих типах лісу.

За наведеними даними (див. рис. 1, 2) можна стверджувати, що в обох аналізованих типах лісу переважають практично чисті ялинові деревостани, де частка породи у складі становить 8-10 од. Частка насаджень, де участь ялини становить 3-5 од., є найменшою.

За результатами досліджень, зв'язок між продуктивністю деревостанів та часткою ялини в їх складі, не простежено. Найімовірніше, така ситуація пов'язана з проведенням лісогосподарських заходів різної інтенсивності, зокрема з вибиранням ялини зі складу деревостану.

Здійснені лісогосподарські заходи різної інтенсивності та спрямування стали причиною формування лісостанів за переваги в їхньому складі ялини європейської. Так, чисті ялинові чи за незначної (до 5%) домішки супутніх деревних видів насадження в умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ ростуть на площі 709,6 га, тобто на 55%, а в умовах $C_3\text{-см-бкЯц}$ – на площі 263 га, що становить понад 34% площ насаджень за переваги ялини європейської.

Деревостани за перевагою ялини у складі мають як штучне, так і природне походження. Ялину європейську, як цінний деревний вид, в

умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ у більшості випадків вводили чистою культурою, сподіваючись на наступне природне поновлення ялиці та бука, і таким чином формування в майбутньому мішаного насадження. Навіть якщо культури створювали мішаними, то висока швидкість росту ялини у молодому віці давала їй значну перевагу перед повільнорослими буком та ялицею, внаслідок чого останні залишалися під ялиновим наметом і рідко виходили у перший ярус. Подібна ситуація характерна і для умов $C_3\text{-см-бкЯц}$, в яких ялина у молодому віці росте дуже інтенсивно, швидко формуючи зімкнутий ярус, під яким залишаються інші деревні види. Висока інтенсивність росту ялини у молодому віці, а також надання їй переваги під час створення лісових культур і зумовили значну перевагу деревного виду у складі насаджень як смерекових, так і ялицевих типів лісу.

Аналіз зміни запасу деревини у насадженнях з найвищою участю ялини засвідчує різке зростання показника до 60-річного віку, після чого варіабельність насаджень за запасом деревини суттєво зростає (рис. 3). Очевидно, основною причиною такого явища є втручання в процес формування насадження санітарними чи прохідними рубками, хоча високу продуктивність ялинові деревостани в умовах $C_3\text{-бк-яцСм}$ зберігають до 100-річного віку, незважаючи на практично чистий склад. Низка насаджень у віці 100-120 років мають запас понад $500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ стовбурової деревини.

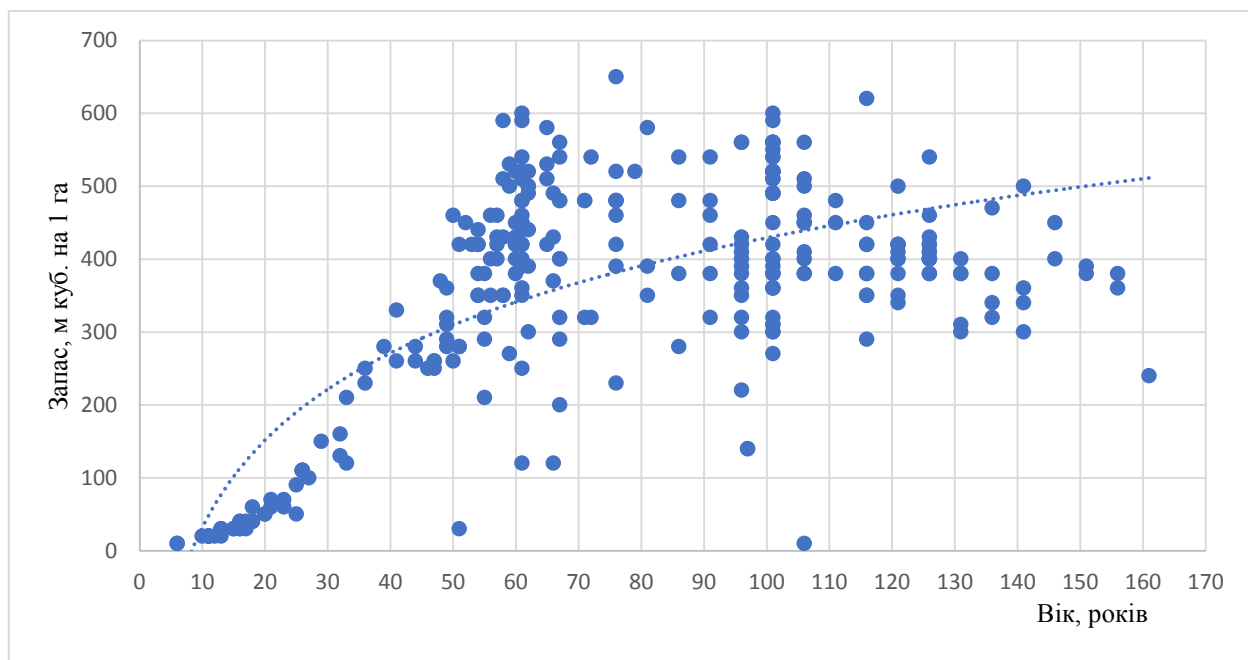


Рис. 3. Зміна запасу деревини в ялинових лісостанах (8-10 од.) у зв'язку з віком в умовах вології буково-ялицевої сушмеречини Верховинського л-ва

Fig. 3. Changes in growing stock volume of spruce forest stands (8–10 units) in relation to age under moist beech-fir-spruce forest conditions of Verkhovyna Forestry

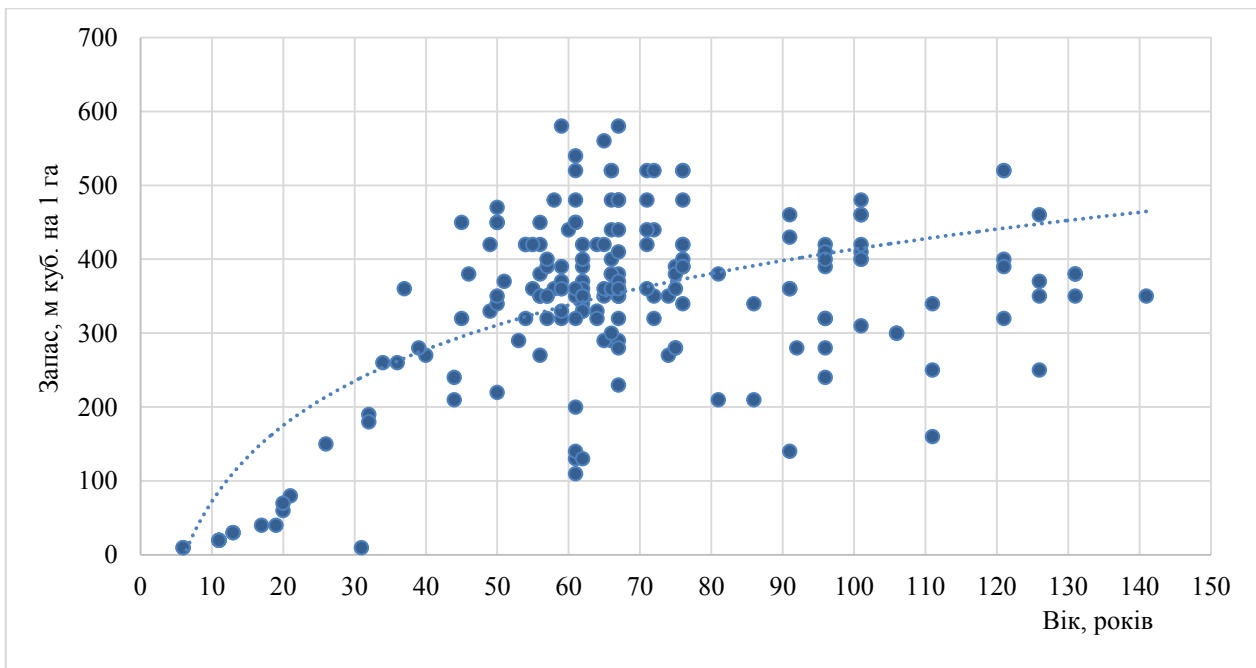


Рис. 4. Зміна запасу деревини в ялинових лісостанах (8-10 од.) у зв'язку з віком в умовах вологої смереково-букової суяличини Верховинського л-ва

Fig. 4. Changes in growing stock volume of spruce forest stands (8–10 units) in relation to age under moist spruce-beech-fir forest conditions of Verkhovyna Forestry

Подібну тенденцію щодо вікового нагромадження деревини насадженнями за значної переваги у складі ялини спостережено і для умов вологої смереково-букової суяличини (рис. 4). У цьому типі лісу ялина формує похідні насадження доволі високої продуктивності, проте їхня біотична стійкість помітно нижча, ніж в умовах вологої сусмеречини. Отже, до 60-70-річного віку спостережено інтенсивне нагромадження деревного запасу, незважаючи на доволі високу варіабельність показника. Після 70 років запас деревини в ялинниках помітно зменшується, що пов'язано як з пониженням біотичної стійкості ялини, так і проведеними у зв'язку з цим лісогосподарськими заходами. Поряд з цим, навіть і в 120-130 років спостережено окремі чисті ялинники, запас деревини в яких становить 400-500 м³·га⁻¹.

Аналіз попередніх даних (див. рис. 1-4) засвідчує, що найбільша кількість чистих деревостанів та зі значною перевагою в їхньому складі ялини зосереджено у віковому діапазоні 50-80 років. У цей період ялинові насадження нагромаджують найвищі запаси деревини, тому доцільно здійснити аналіз продуктивності ялинників, пов'язавши її з орографічними чинниками.

Так, розподіл насаджень ялини в умовах *С₃-бк-яцСм* за часткою кількості ділянок і площі доволі подібний (рис. 5). На висоті 800-900 м н.р.м. зосереджено трохи більше 5% площі ялинових насаджень, на висотах 901-1000 та 1001-1100 м н.р.м. – 15-17%, на висотах 1101-

1200 м н.р.м. площа ялинових насаджень найбільша (40%). Ялинові деревостани цього типу лісу спостережено і на висоті понад 1300 м, але їхня частка за площею тут незначна (до 2%).

В умовах *С₃-см-бкЯц* частка ділянок та частка площ під ялиновим насадженнями також загалом подібні (рис. 6). Проте тут спостерігаємо відмінний розподіл ділянок і площ порівняно з попереднім типом лісу. Найбільша частка площі ялинників (37%) зосереджена значно нижче, ніж у сусмеречині (1001-1050 та 1101-1200 м н.р.м.), а підняття ялинників за висотою обмежено відміткою 1100 м, тоді як у сусмеречині деревостани ялини піднімаються на 300 м вище. Частка ялинових насаджень як за площею, так і за кількістю ділянок на висоті 1051-1100 м доволі подібна (15-16%).

Загалом на всіх діапазонах висот, окрім 800-850 та 1001-1050 м, частка ялинових насаджень як за площею (10-18%), так і за часткою ділянок (14-19%) відносно подібна. Також встановлено, що лісові культури ялини в ялицевому типі лісу створювали на ділянках меншої площі, яка в середньому становить 2,7 га, тоді як середня площа ділянок у сусмеречині складає 3,8 га.

Розташування насаджень на різній висоті над рівнем моря впливає на показник запасу деревини (рис. 7, 8). Так, у типі лісу *С₃-бк-яцСм* найнижчі запаси ялинових деревостанів спостережено на висоті 800-900 м н.р.м. (299 м³·га⁻¹). На значному діапазоні висот (901-1300 м) середні запаси ялинників доволі подібні ((420-448 м³·га⁻¹) і лише на висотах 1301-1400 м серед-

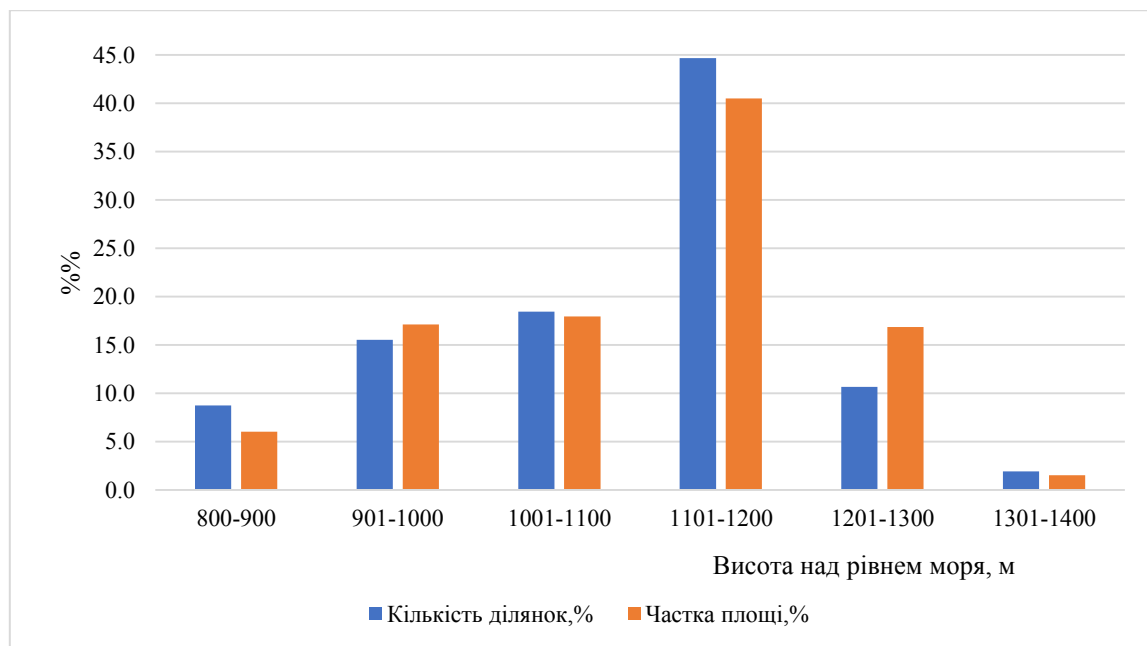


Рис. 5. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за висотою н.р.м. в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 5. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by altitude above sea level under moist beech-fir-spruce forest conditions

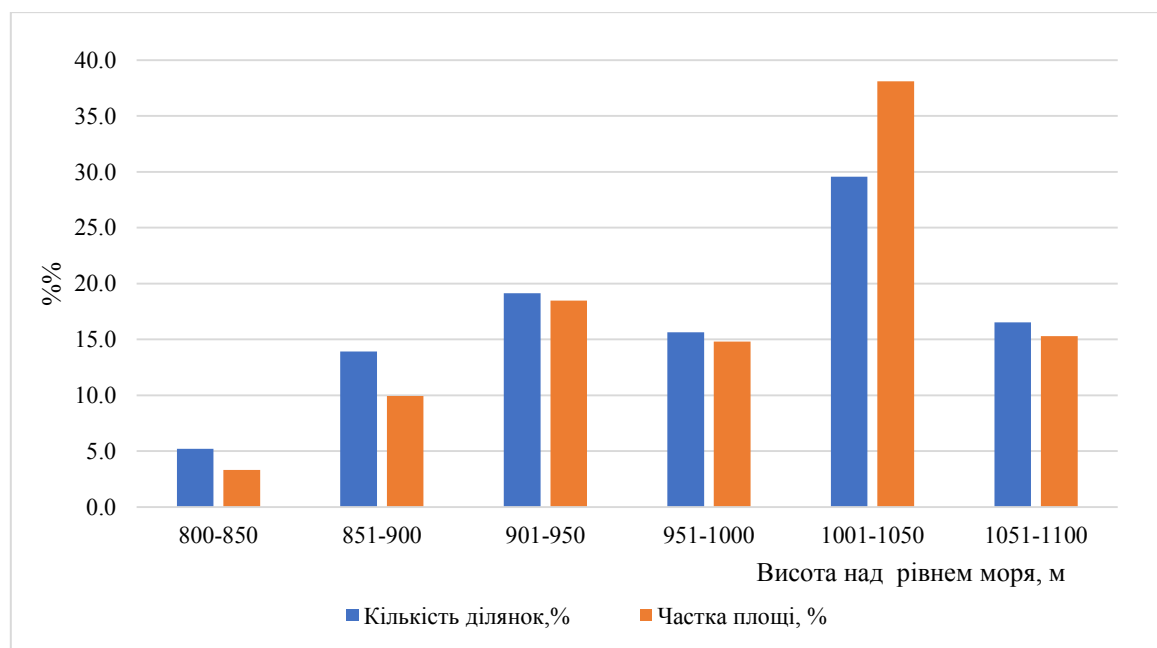


Рис. 6. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за висотою н.р.м. в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 6. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by altitude above sea level under moist spruce-beech-fir forest conditions

ній запас ялинових насаджень знижується до позначки $375 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Отже, на висотах до 900 м н.р.м. низький запас ялинових деревостанів можна пояснити впливом зміни клімату, а саме видовженням вегетаційного періоду, коротким зимовим спокоєм та періодичними посухами. У діапазоні висот 901-1300 м зміни клімату не такі відчутні, і середній запас ялинових насаджень доволі

подібний із максимальним показником ($448 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) на висоті 1101-1200 м н.р.м. На сьогодні цю висоту в умовах вологої сушмеречини можна вважати оптимальною для формування запасу ялинових деревостанів. Із збільшенням висоти над рівнем моря (помірно холодна зона) вегетаційний період скорочується, і, відповідно, знижується середній запас ялинової деревини (до 417 і $375 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

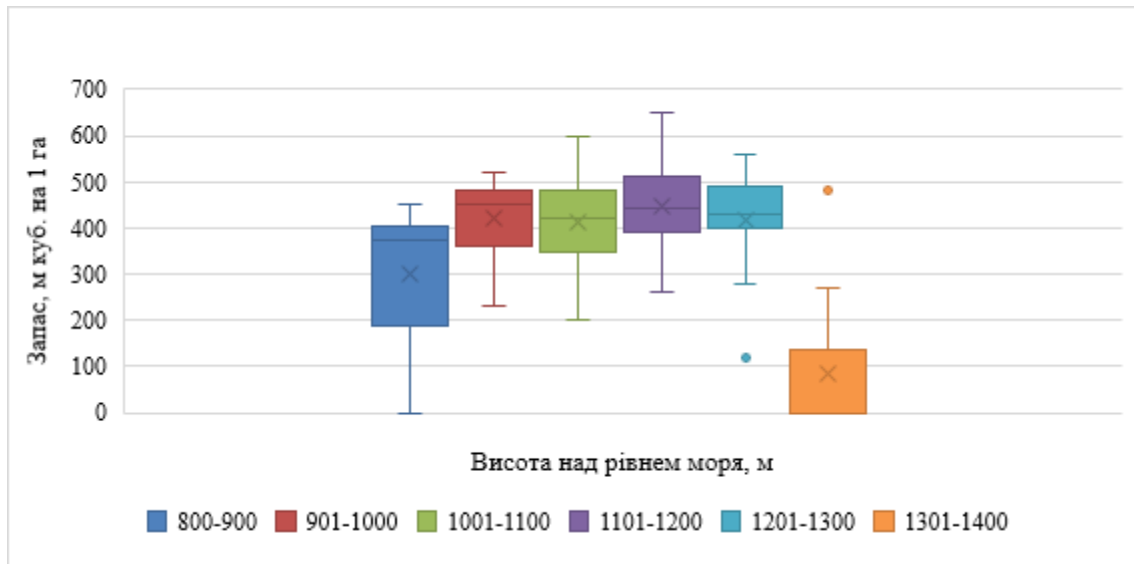


Рис. 7. Розподіл запасу деревини залежно від висоти н.р.м. у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини

Fig. 7. Distribution of growing stock volume depending on altitude above sea level in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

Отже, на низьких висотах (до 900 м) ялина в сусмеречині потерпає від кліматичного стресу (аномальне тепло, сухість повітря, брак зимового спокою). Але піднімаючись вище – до 1101-1200 м, вона потрапляє у зону оптимальних для неї термічного та гідрологічного режимів («зона комфорту»), формуючи максимальні запаси деревини.

Дещо по іншому відбувається розподіл деревного запасу зі зміною висоти над рівнем моря в умовах вологої суяличини. Як і в умовах

вологої сусмеречини, розмах за запасом доволі значний, що зумовлено антропогенним чинником, проте зміна середніх значень деревного запасу з висотою н.р.м. виявляє певну тенденцію (див. рис. 8). Так, найвищими запасами деревини в умовах суяличини відзначаються ялинники на висотах 800-900 м (435 і 408 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). Із збільшенням висоти н.р.м. (від 901 до 1100 м) середній запас деревини в ялинових насадженнях знижується, проте залишається відносно подібним (348-390 $\text{м}^3\cdot\text{га}^{-1}$).

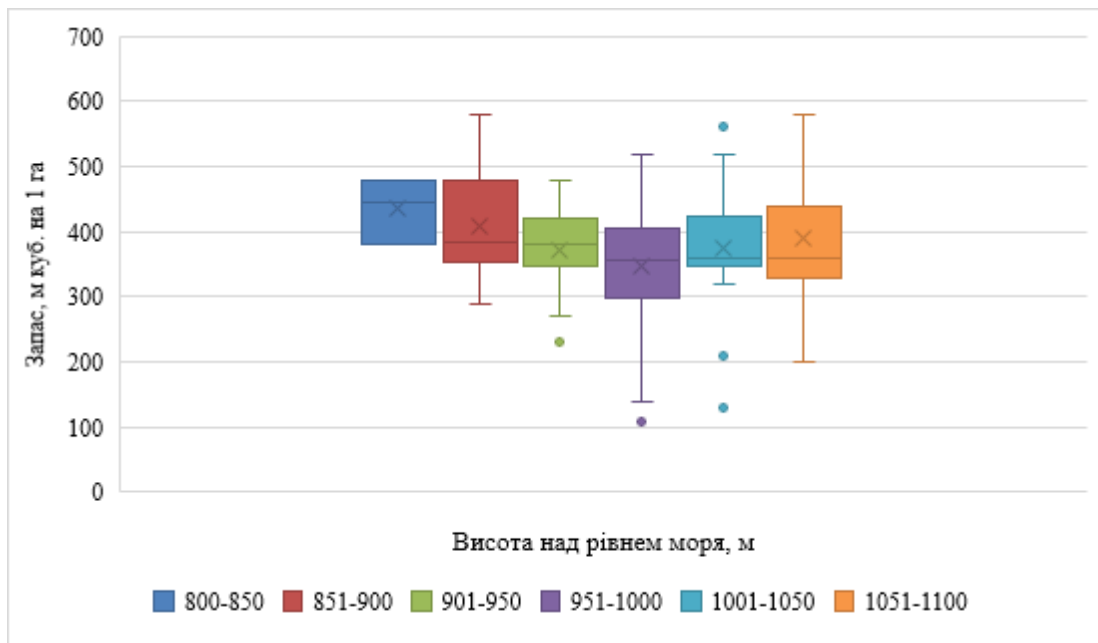


Рис. 8. Розподіл запасу деревини залежно від висоти н.р.м. у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 8. Distribution of growing stock volume depending on altitude above sea level in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

Такий специфічний розподіл запасу ялинових насаджень в суяличині можна пояснити, тим, що на висоті 800-900 м н.р.м. складаються оптимальні умови для росту бука та ялиці – висока вологість ґрунту і повітря, вища трофність ґрунту, ніж у сусмєречинах. Штучно висаджена тут ялина демонструє у молодому віці дуже високу енергію росту, нагромаджуючи високі запаси деревини. На висоті понад 900 м у суяличинах клімат стає прохолоднішим, але ґрунти залишаються родючими – ідеально придатними для росту бука та ялиці. Похідна ялина вступає в сильні конкурентні відносини з аборигенними породами – ялицею та буком, поступово втрачаючи біотичну стійкість.

Таким чином, вектор динаміки запасу ялинових деревостанів у досліджуваних типах лісу має протилежну спрямованість: якщо в умовах вологої сусмєречини з підйомом у гори (до 1200 м) спостерігається екологічна оптимізація середовища для корінної ялини та зростання її продуктивності, то в умовах вологої суяличини підйом вище 900 м призводить до екологічного стресу похідних ялинників, посилення конкурентного тиску з боку корінних

деревних видів та регресу стовбурових запасів. Окрім цього, значну роль у цьому процесі відіграє антропогенний чинник.

Окрім висоти н.р.м., певний вплив на нагромадження запасу ялинової деревини має експозиція схилів, яка у гірських умовах Карпат є потужним екологічним мікрокліматичним чинником. Саме від експозиції схилу залежить перерозподіл двох основних ресурсів, від яких залежить фотосинтез і ріст дерева – сонячної радіації (тепла) і вологи. Для ялини європейської, як вологолюбного деревного виду, чинник вологи часто стає вирішальним.

Розподіл ялинових насаджень за експозицією схилу має свої особливості (рис. 9). Так, в умовах вологої буково-ялицевої сусмєречини найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах вологої смереково-букової суяличини значна частина ділянок тяжіє до північного та північно-західного схилів (загалом 32%). Така специфіка може бути зумовлена переважним формуванням ялицевих типів лісу на схилах північної експозиції, де наявні висока вологість повітря і ґрунту.

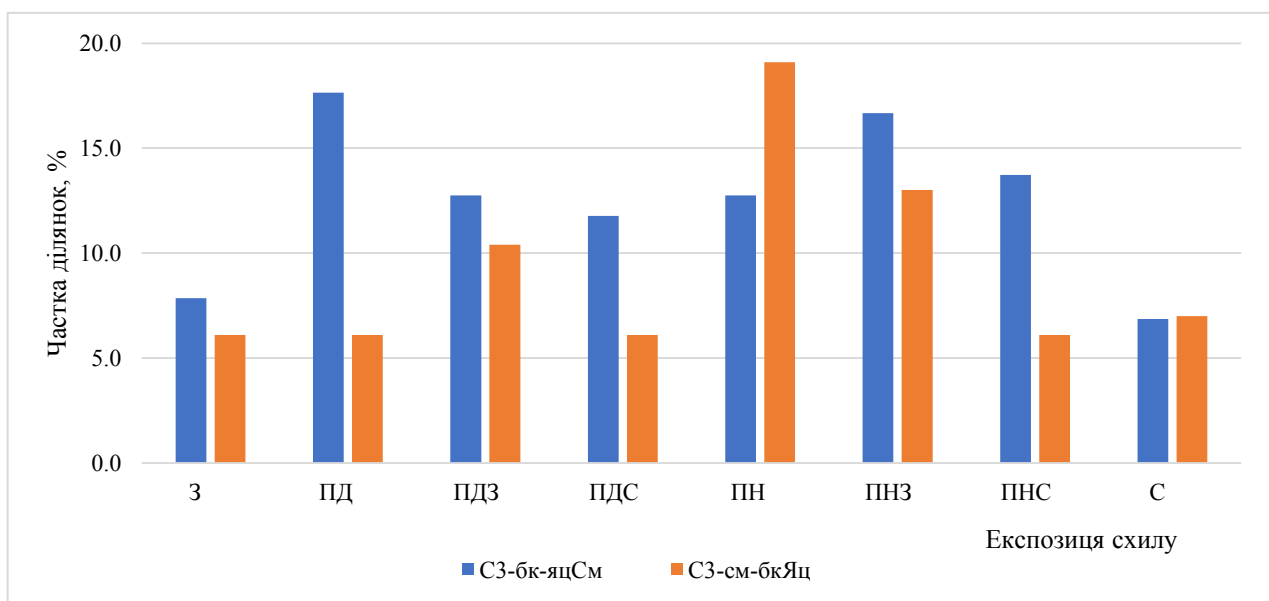


Рис. 9. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за експозицією схилів у досліджуваних типах лісу

Fig. 9. Distribution of 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) by slope aspect in the studied forest types

Розподіл запасу ялинових насаджень у досліджуваних типах лісу на схилах різних експозицій різниться між собою (рис. 10, 11). В обох випадках спостережено значну варіабельність показника за запасом, що може бути зумовлено впливом як абіотичного, так і антропогенного чинників. Варіабельність за деревним запасом на схилах різних експозицій вища в умовах ялицевого типу лісу.

Так, в умовах *С3-бк-яцСм* за середнім показником найвищі запаси деревини ($483 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) ялина формує на північних схилах, дещо менші – на південно-східних та південно-західних (454 і $430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). На схилах інших експозицій середні показники деревного запасу помітно менші, хоча й доволі подібні (402 – $413 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

В умовах *С3-см-бкЯц* найвищі запаси деревини формують ялинники, приурочені до

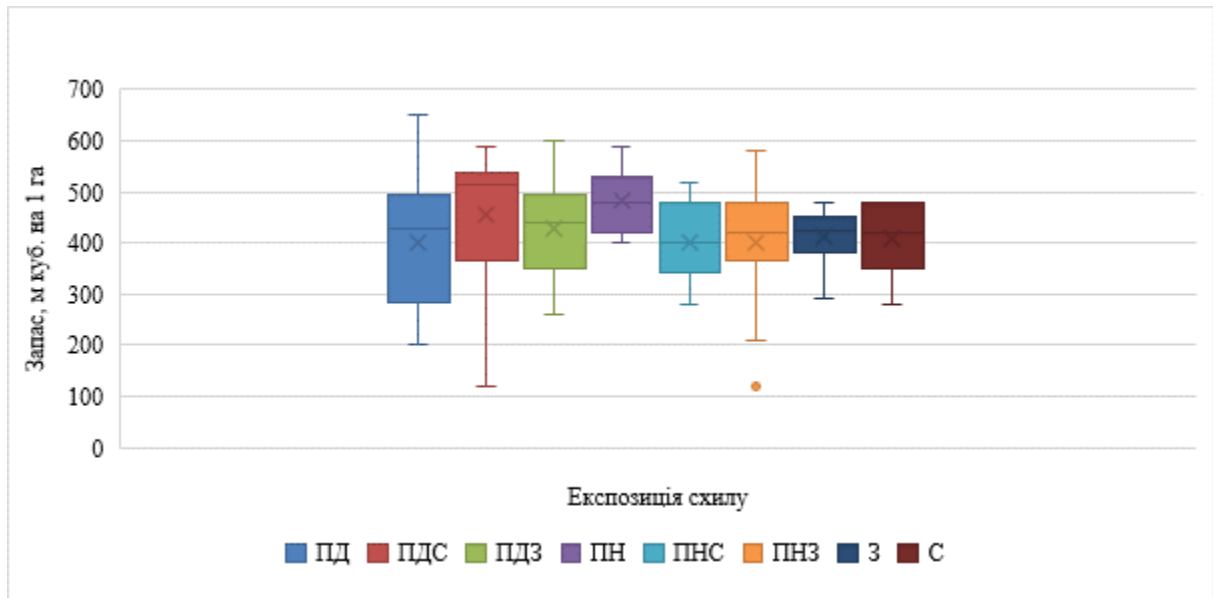


Рис. 10. Розподіл запасу деревини залежно від експозиції схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини

Fig. 10. Distribution of growing stock volume depending on slope aspect in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

північних, північно-східних і північно-західних схилів – $389\text{--}412\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$ (див. рис. 11). На схилах інших експозицій ялина формує дещо нижчі запаси деревини ($344\text{--}380\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), а найнижчі

деревні запаси встановлено на західних ($309\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) та південно-західних ($282\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$) схилах. Значна варіабельність запасів, вірогідно, зумовлена антропогенним чинником.

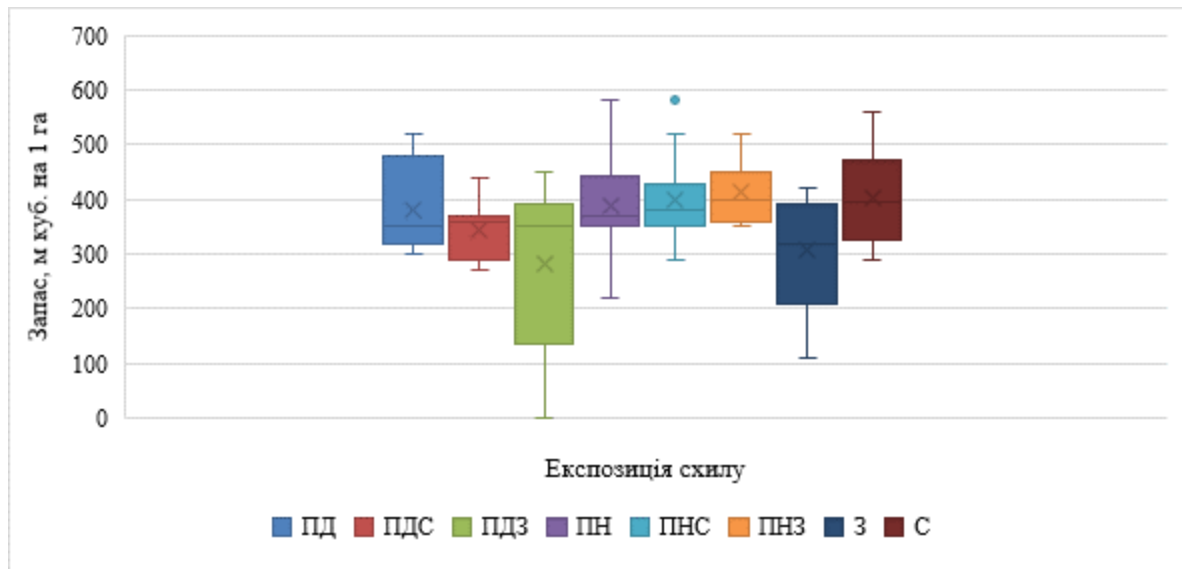


Рис. 11. Розподіл запасу деревини залежно від експозиції схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 11. Distribution of growing stock volume depending on slope aspect in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

Варто зауважити, що запаси деревини на схилах різних експозицій є вищими в умовах вологої сушмеречини ($402\text{--}483\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$), тоді як у вологій суяличині вони є помітно нижчими ($282\text{--}412\text{ м}^3\cdot\text{га}^{-1}$). На нашу думку, така відмінність зумовлена втратою ялиною біотичної стійкості після досягнення певної вікової межі. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність проведення

інтенсивних лісогосподарських заходів, які й виступають основною причиною зниження стовбурових запасів.

Отже, експозиція схилів виступає визначальним мікрокліматичним чинником диференціації продуктивності ялиників у досліджуваних типах лісу. Спільною закономірністю для вологої сушмеречини та вологої суяличини є

формування максимальних запасів деревини на схилах північної експозиції (у межах 389-483 м³·га⁻¹), де стабільніший гідротермічний режим нівелює кліматичний стрес. Натомість найбільш критичне зниження деревного запасу (до 282-309 м³·га⁻¹) зафіксовано на інсольованих південно-західних та західних схилах суяличин, що є прямим наслідком антропогенного втручання і втрати насаджень біотичної стійкості.

На відміну від розподілу частки ялинових лісостанів на схилах різних експозицій в аналізованих типах лісу, у розподілі насаджень за стрімкістю схилів помітних відмінностей не спостережено (рис. 12). Найбільша кількість ділянок у сушмеречині і суяличині приурочена до схилів стрімкістю 20-25° (53 і 55%). Дещо менша кількість ділянок розташована на схилах стрімкістю 30° (18 і 19%) і найменша – на схилах 35° (6 і 3%).

Найвищою варіабельністю запасів відзначаються ялинові деревостани в обох типах лісу на схилах стрімкістю 20 і 25°, де частка насаджень найбільша (рис. 13, 14). Поряд з цим, на схилах стрімкістю 20° насаджень в обох типах лісу відзначаються однаковим середнім запасом (390 м³·га⁻¹). На схилах стрімкістю 25° середній запас ялини в сушмеречині (439 м³·га⁻¹) помітно вищий, ніж в суяличині (362 м³·га⁻¹). Найнижчі запаси деревини в обох типах лісу виявлено на схилах стрімкістю 10-15° (433 і 393

та 363 і 382 м³·га⁻¹), що може бути зумовлено високою транспортною доступністю ділянок. На дуже стрімких схилах (30-35°), де проведення лісогосподарських заходів ускладнено, середні запаси деревини є найвищими як у сушмеречині, так і в суяличині (445 і 478 та 388 і 422 м³·га⁻¹).

Отже, просторова диференціація запасів деревини зумовлена переважно інтенсивністю лісогосподарських втручань: на доступних пологих схилах запаси найнижчі, тоді як на важкодоступних стрімких схилах (30-35°) вони досягають максимуму. При цьому в екотопах середньої стрімкості (25°) ялина в умовах сушмеречини виявляє помітно вищу продуктивність, ніж у суяличині.

На основі аналізу розподілу площ і запасів ялинових деревостанів за різними орографічними чинниками можна зробити припущення щодо існування певної залежності між ними. Проте особливості розподілу та розмаху значень запасів у досліджуваних деревостанах в межах аналізованих орографічних чинників вказують на необхідність враховувати також і характер лісогосподарських заходів, які проявляються, насамперед, через склад деревостанів та їхні запаси у конкретному віці. Для з'ясування характеру зв'язку між запасом ялинових деревостанів залежно від висоти над рівнем моря використовуємо множинний аналіз.

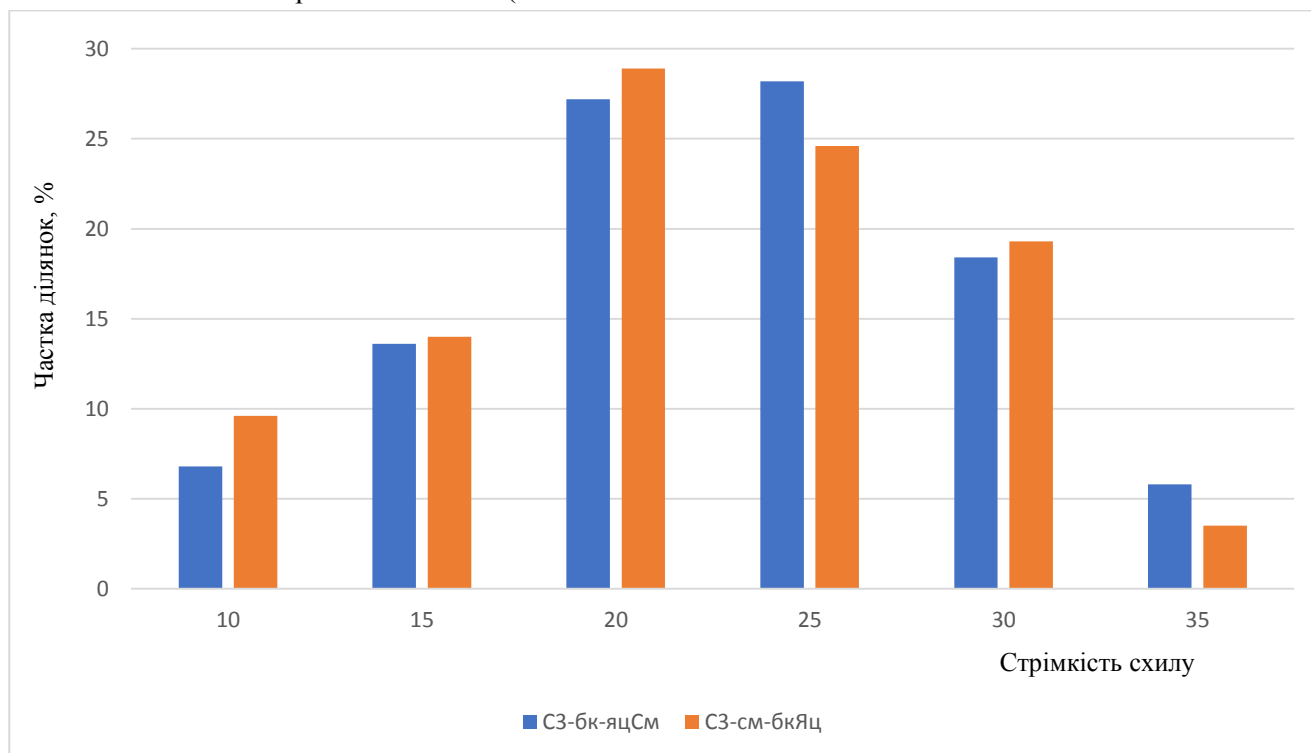


Рис. 12. Розподіл 50-80-річних деревостанів ялини європейської (8-10 од.) за стрімкістю схилів у досліджуваних типах лісу

Fig. 12. Distribution of 50-80-year-old Norway spruce stands (8-10 units) by slope steepness in the studied forest types

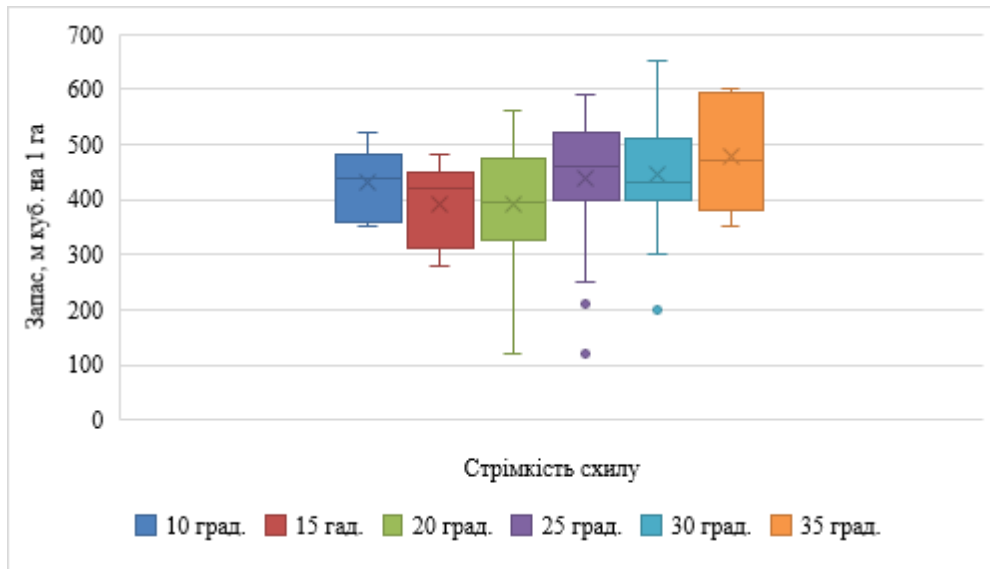


Рис. 13. Розподіл запасу деревини залежно від стрімкості схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої буково-ялицевої суслеречини

Fig. 13. Distribution of growing stock volume depending on slope steepness in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist beech-fir-spruce forest conditions

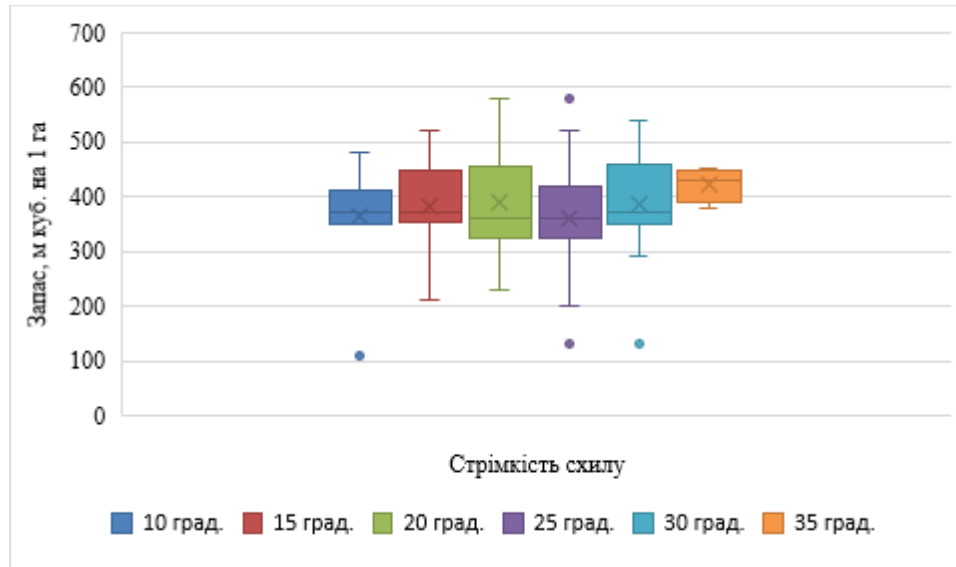


Рис. 14. Розподіл запасу деревини залежно від стрімкості схилу у 50-80-річних деревостанах ялини європейської (8-10 од.) в умовах вологої смереково-букової суяличини

Fig. 14. Distribution of growing stock volume depending on slope steepness in 50–80-year-old Norway spruce stands (8–10 units) under moist spruce-beech-fir forest conditions

За даними повидільної бази таксаційної характеристики ялинових насаджень в умовах досліджуваного об'єкту виконано множинний кореляційний аналіз зв'язку запасів деревостанів з їхнім віком, часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря з диференціацією площ лісостанів і типами лісу та експозицією схилу – північною (Пн, Пнз, Пнс та З) і південною (Пд, Пдз, Пдс та С).

В умовах вологої суслеречини простежується значної тісноти кореляційний зв'язок запасу з аналізованими ознаками, в той час як у суяличині від помірний та слабо залежить від

експозиції схилу (табл.). Найвищим значенням множинного коефіцієнта кореляції (0,638) характеризується зв'язок запасу з віком насаджень та висотою над рівнем моря у суслеречині на північній експозиції схилу, тоді як в суяличині на північному схилі значення множинного коефіцієнта кореляції виявилось найменшим – лише 0,315. Такий низький коефіцієнт множинної кореляції свідчить про те, що в цих умовах на формування запасу суттєво впливають інші, не враховані у цій моделі фактори (наприклад, антропогенне навантаження, лісівнича історія формування насадження, санітарний стан).

Таблиця. Коефіцієнти множинної кореляції та фактори впливу на запас в ялинових деревостанах

Table. Multiple correlation coefficients and factors influencing growing stock volume in spruce stands

Експозиція схилу	Множинний коефіцієнт кореляції	Найсуттєвіший фактор	Несуттєвий фактор	Частка впливу, %	Частка впливу найсуттєвішого фактору, %
Волога буково-ялицева сусмєрєчина (С₃-бк-яцСм)					
північна	0,638	Вік (b=0,422)	–	40,7	17,8
південна	0,539	Вік (b=0,357)	–	29,0	13,5
Волога смєреково-букова суяличина (С₃-см-бкЯц)					
північна	0,315	Частка ялини (b=-0,24)	-	9,9	6,3
південна	0,467	Вік (b=-0,320)	ВНРМ (b3=-0,04)	21,8	12,8

В ялинових деревостанах вологості сусмєрєчини основним чинником нагромадження деревного запасу є часовий фактор. Так, на північних схилах сумарна частка впливу факторів становить 40,7%. Найсуттєвішим фактором є вік ($b = 0,422$), який одноосібно зумовлює 17,8% дисперсії запасу. Позитивне значення b -коефіцієнта є логічним – зі збільшенням віку запас до певної межі стабільно зростає. Несуттєвих факторів не виявлено.

На південних схилах загальний вплив факторів нижчий (29,0%), а зв'язок значний ($R = 0,539$). Вік залишається головним фактором ($b = 0,357$, частка впливу 13,5%). Менша сила зв'язку на південних схилах може пояснюватися гіршим забезпеченням вологою та вищою напруженістю екологічних чинників на схилах південної експозиції.

В ялинових деревостанах вологості суяличини, порівняно з попереднім варіантом, виявлено зовсім інші тенденції, що може вказувати на дестабілізацію структури насаджень. Так, на північних схилах модель описує лише 9,9% змін запасу. Проте ключовим чинником тут стає не вік, а частка ялини в складі ($b = -0,24$) із внеском 6,3%. Від'ємне значення коефіцієнта ($b = -0,24$) вказує на те, що зі збільшенням частки ялини в складі цих похідних деревостанів їхній запас зменшується. Цей аспект є важливим науковим підтвердженням втрати продуктивності та біологічної стійкості чистих похідних ялиників на північних схилах.

На південних схилах модель працює краще (частка впливу 21,8%, $R = 0,467$). Найсуттєвішим

фактором є вік, але з від'ємним знаком ($b = -0,320$, частка впливу 12,8%). Зменшення запасу з віком у похідних ялиниках на південних схилах є класичним маркером передчасного розпаду та всихання штучно створених або змінених ялинових лісостанів на теплих експозиціях через кліматичний стрес. Окрім того, зафіксовано несуттєвий фактор – висоту над рівнем моря ($b_3 = -0,04$).

Таким чином, експозиція схилу виступає потужним модифікатором мікроклімату. Так, в умовах С₃-бк-яцСм перехід від північних схилів до південних дещо послаблює роль віку (від $b = 0,422$ до $b = 0,357$) та загальну детермінацію моделі, оскільки на південних схилах підсилюється фактор гідротермічного стресу.

В умовах С₃-см-бкЯц експозиція схилу повністю змінює вектор головного чинника. На північних схилах лімітуючим є сам склад деревостанів (значна участь ялини у складі), тоді як на південних схилах критичною стає вікова межа, за яким починається деградація насаджень (від'ємний вплив віку).

Наведені на рис. 15 та 16 параболічні моделі зв'язку запасів деревостанів з їх віком, часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря показують усереднений тренд зміни запасу деревини зі зміною двох аналізованих факторів.

Моделі можуть бути використані для прогнозування нагромадження запасів у корінних та похідних ялинових деревостанах, які ростуть на різних висотах над рівнем моря та експозиціях схилів під час планування лісгосподарських заходів для підвищення їхньої продуктивності.

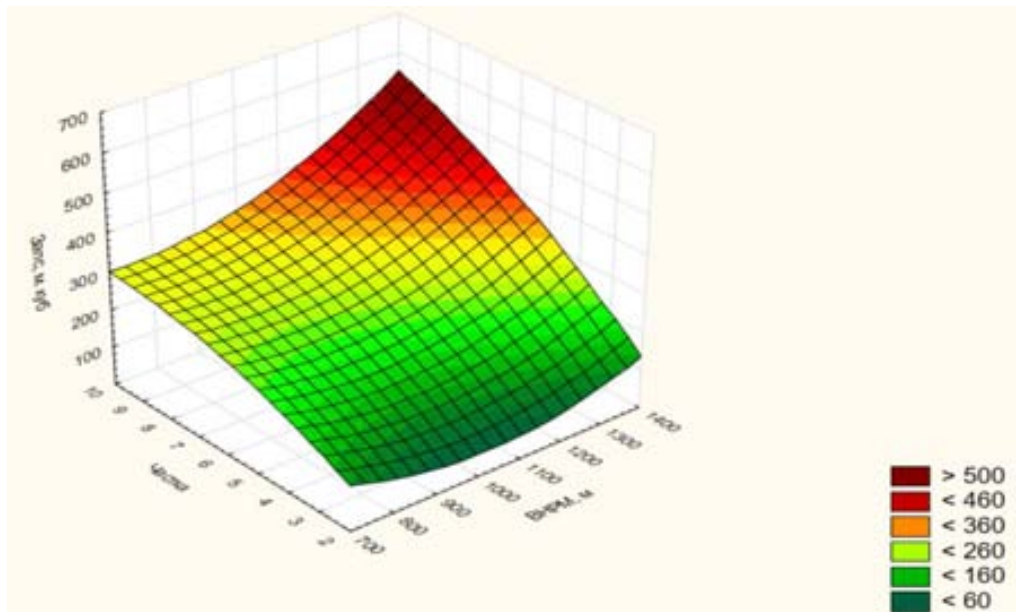


Рис. 15. Модель зв'язку запасу ялинових деревостанів в умовах вологої буково-ялицевої сусперечини на північній експозиції схилу з часткою ялини у складі та висотою над рівнем моря

Fig. 15. Model of the relationship between growing stock volume of spruce stands under moist beech-fir-spruce forest conditions on northern slope aspects, and the share of spruce in the composition and altitude above sea level

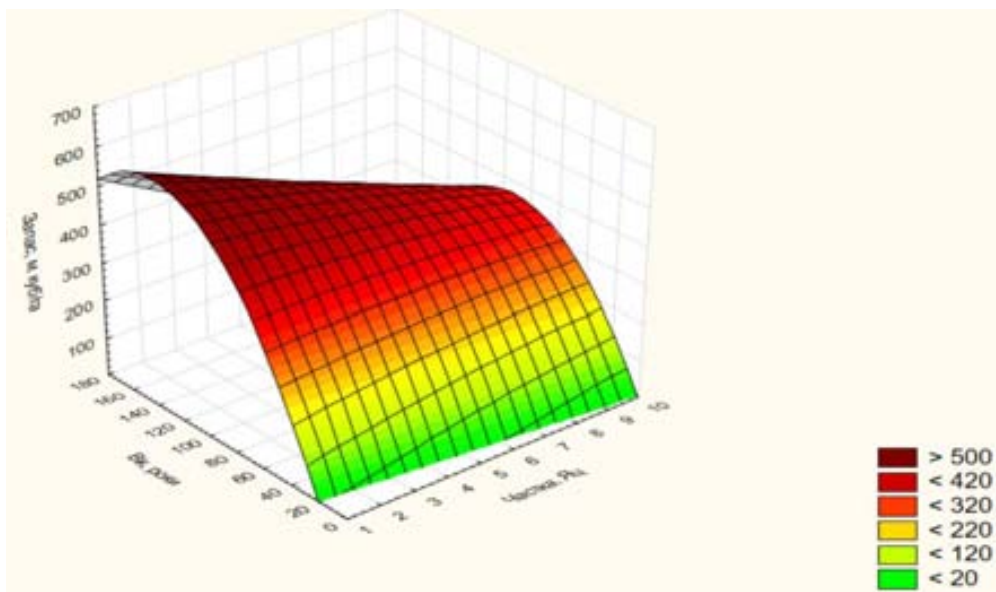


Рис. 16. Модель зв'язку запасу ялинових деревостанів в умовах вологої смереково-букової суяличини на південній експозиції схилу з часткою ялини у складі та віком

Fig. 16. Model of the relationship between growing stock volume of spruce stands under moist spruce-beech-fir forest conditions on southern slope aspects, and the share of spruce in the composition and age

Дискусія (Discussion).

За даними Лавного, Пелюх (2019), загальна площа похідних ялиників на території Українських Карпат становить 126678,1 га із загальним запасом деревини 43032,5 тис. м³. Найбільшу площу похідні ялинові деревостани займають на території Івано-Франківської обл. – 60514,8 га (47,8% від загальної площі похідних ялинових деревостанів), тоді як площа корінних ялицевих деревостанів у цій же області (Гриник, 2011а) в 4,8 рази менша (12530,5 га).

Похідні ялинові деревостани на території Українських Карпат найчастіше трапляються у вологій смереково-буковій суяличині, де їхня площа становить 47537,3 га (37,5% від загальної площі похідних ялинових деревостанів). Значна площа похідних ялиників зосереджена також у вологій смереково-буковій яличині – 17761,2 га (14,0%) (Лавний, 2007).

Незважаючи на пониження біотичної стійкості деревостанів *Picea abies*, площа лісостанів за її участю та запас деревини в

Українських Карпатах продовжують збільшуватися. Так, станом на 05.2010 р. ліси за участю ялини європейської в Івано-Франківській обл. займали загальну площу 229885,4 га із загальним запасом деревини 74,9 млн м^3 (Слободян, 2010). Середній запас стовбурової деревини при цьому становив 326 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Площа ялинників у 17 смерекових типах лісу становила 173954,3 га.

За новішими даними станом на 01.2018 р. (Лавний, Матушевич, 2023), загальна площа ялинових лісостанів на території Івано-Франківської обл. становила вже 258 тис. га, з яких 131,2 тис. га посідали середньовікові деревостани. Загальний запас ялинових деревостанів становив 94,9 млн м^3 , а середній запас стовбурової деревини – 368 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Отже, впродовж восьми років зростання ялинових деревостанів за площею склало майже 11%, за запасом – 13%. На фоні всихання ялинових лісостанів, вилучення їх із букових та ялицевих типів лісу, збільшення площ і запасів ялинників не повинно би відбуватися. Отримані дані можуть бути зумовлені, насамперед, продовженням культивування ялинових насаджень не лише в смерекових, але й в інших типах лісу. Вірогідно також, що на значних площах ялицевих типів лісу *Picea abies* могла відновитися природним шляхом і зайняти домінуюче положення у складі молодих лісостанів.

Корінні ялинові деревостани Українських Карпат характеризуються високими таксаційними показниками, проте на їхню величину істотно впливають лісогосподарські заходи (Король, Вицега, 2006). Тому важливим аспектом є створення математичних моделей, які адекватно оцінювали би зміни показників деревостану залежно від проведення доглядових рубань за лісом.

За розробленою моделлю прогнозу росту ялинових деревостанів I^a класу бонітету в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини (Лавний, Матушевич, 2023), у віці 100 років вони матимуть такі таксаційні показники: $H_c = 33,4$ м, $D_c = 39,8$ см, $G = 41,2$ м^2 , $N = 331$ шт./га, $M = 652$ $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Середня зміна запасу (без урахування відпаду) у віці 100 років за переважаючої відносної повноти 0,7 у вологій буково-ялицевій сушмеречині становить 6,6 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за рік. Для нормальних деревостанів з відотною повнотою 1,0 вона може досягати щорічно 9,4 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ у типі лісу *С₃-бк-яцСм*.

За результатами наших досліджень, фактичні середні запаси деревостанів 100-річного віку в цьому ж типі лісу помітно менші і залежать від участі ялини у складі: 8-10Ял – 400-420; 7Ял – 390; 6Ял – 360 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Основними чинниками пониження стовбурового запасу деревини є

зміни клімату та пов'язане з цим проведення санітарних заходів, а також звичайна лісгосподарська діяльність. При цьому основним компонентом формування стовбурового запасу залишається ялина європейська: чим більше її в складі, тим більший запас деревостану. Поряд з цим, чисті ялинники є менш біотично стійкі та менш довговічні, ніж мішані (Крамарець, Криницький, 2009; Дебринюк, 2011; Крамарець, Мацях, 2018).

За останніми даними (Форгіль, Дебринюк, 2025), ялинники Івано-Франківської обл. ростуть в 11-ти ялицевих типах лісу, формуючи тут похідні насадження. Найпоширенішим з них є волога смереково-букова суяличина (74,2% від площі ялицевих типів лісу). Найвищі запаси деревини встановлено в умовах вологих букової та смерекової суяличин (відповідно, 430 і 444 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Аналіз таксаційних показників похідних ялинових деревостанів Українських Карпат засвідчив критичний стан цих лісових екосистем та їхні негативні наслідки для ведення лісового господарства підприємствами регіону (Лавний, Пелюх 2019). Поряд з цим автори зазначають, що незважаючи на деградацію ялинових лісостанів в Українських Карпатах у зв'язку зі зміною клімату, насамперед похідних ялинників, останні все ж відзначаються доволі високою продуктивністю – середній запас похідних ялинників на території Івано-Франківської обл. становить 340 $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Найбільшу площу займають деревостани I класу бонітету – 89631 га або 70,8% від загальної площі похідних ялинових деревостанів. Високу продуктивність похідних ялинників в ялицевих типах лісу Карпатського регіону відзначали також Парпан та ін. (2014): 43% площі займають ялинові деревостани вище I класу бонітету, 40% – I класу бонітету, і лише 14% характеризуються II класом бонітету.

Аналіз результатів 10-річних стаціонарних досліджень похідного ялинника в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини Українських Карпат (Шпарик, Парпан, 2020) засвідчили, що без втручання людини відбувається зменшення частки ялини у видовому складі; формування значних запасів мертвої лежачої деревини; розвиток підросту, який формує другий і третій яруси деревостану; заміна *Picea abies*, як домінантного деревного виду, на інші види.

Крамарець, Криницький (2009) з метою забезпечення промислових потреб необхідною деревною продукцією пропонують на місці всихаючих ялинників запроваджувати плантаційне лісовирощування. На думку Парпана та ін. (2014), лісгосподарські заходи повинні бути спрямовані на заміну та відновлення існуючих

пошкоджених ялинових деревостанів новими, більш різновидовими та складнішими за структурою лісовими угрупованнями. Певною мірою ця позиція співпадає із рекомендацією інших дослідників використати ялицеві типи лісу для обмеженого культивування плантаційних лісових насаджень ялини європейської впродовж обмеженого періоду часу на принципах породозміни (Криницький, Крамарець, 2009; Дебринюк та ін., 2013; Debrynyuk, 2017; Форгіль, 2026).

Певний вплив на продуктивність ялиників та біотичну стійкість ялини має висота над рівнем моря. Найбільші площі ялинових лісовостанів в Українських Карпатах зосереджені на висотах від 900 до 1100 м н.р.м. – 48,3% (Миклуш та ін., 2024). Оскільки високопродуктивні ялинові деревостани в умовах сушмеречини та суяличин ростуть на різних висотах н.р.м., Гриник (2012) запропонував здійснити поділ деревостанів за висотними групами для встановлення відмінностей за показником продуктивності: I група – діапазон 300-800 м, II група – 801-1099 м, III група – 1100-1600 м н.р.м.

На нашу думку, такий розподіл є не зовсім раціональним, оскільки в групу III об'єднано ділянки, де продуктивність ялини найвища (1000-1200 м н.р.м.) та ділянки, де ялина європейська внаслідок ґрунтово-кліматичних умов не може бути високопродуктивним деревним видом (1400-1600 м н.р.м.). За результатами наших досліджень, в умовах *C₃-бк-яцСм* середні запаси 50-80-річних ялиників на висотах 800-900 м н.р.м. становлять близько 300 м³·га⁻¹, 901-1100 м – 410-429, 1101-1200 – 450, 1201-1300 м н.р.м. – 420 м³·га⁻¹ із наступним зниженням запасу зі збільшенням висоти над рівнем моря.

Окрім висоти на рівнем моря, не менше значення на продуктивність ялини мають експозиція та стрімкість схилів. У роботі Гриника (2011) наведено детальну характеристику таксаційних показників ялини за різними віковими групами у зв'язку з часткою ялини у складі деревостану та експозицією схилу. Звертає на себе увагу значна варіабельність показників, що, на нашу думку, може бути пов'язано зі значним антропогенним втручанням у ріст і розвиток деревостанів. Подібна позиція щодо продуктивності ялиників полягає в тому, що екологічний оптимум для формування високих запасів зміщений у бік північних напрямів. Водночас ялинові насадження на південно-західних та західних схилах характеризуються помітним регресом продуктивності.

Щодо продуктивності ялини в умовах вологої сушмеречини, то нами спостережено тенденцію

збільшення цього показника зі зростанням стрімкості схилу (20° – 390, 25° – 440, 30° – 445, 35° – 480 м³·га⁻¹), що може бути пов'язано із логістичними аспектами. Подібні дослідження здійснив Гриник (2011) для ялицевих деревостанів, розташованих на південних, південно-східних, північно-західних, східних та західних експозиціях схилів з висотою 801-1099 м н.р.м. Ним встановлено, що спільним є кращий ріст та розвиток ялицевих деревостанів за стрімкості схилу в 11-50°, а особливо – на ділянках північних експозицій зі стрімкістю схилів до 26°. Наведений автором значний діапазон стрімкості схилів (11-50°) не дає змоги здійснити детальний порівняльний аналіз.

Обґрунтування стратегії формування лісів за участю ялини європейської повинно здійснюватися з урахуванням існуючої тенденції зміни кліматичного режиму (Дебринюк, 2011; Лавний, Пелюх, 2019; Олійник, Зейналян, 2020; Зейналян, Олійник, 2021). Зниження біотичної стійкості ялини в останні десятиріччя пов'язано не лише з культивуванням деревного виду в букових та ялицевих типах лісу, але й з негативними наслідками зміни клімату. Результати впливу клімату на продуктивність і стійкість ялинових лісів дискутується у численних роботах (Криницький, Крамарець, 2009; Jäger, 2020; Rimal et al., 2022; Tahvonena et al., 2010; Шпарик, Парпан, 2020). Hlásny et al. (2017) дійшли висновку, що вторинні ялинові ліси є дуже вразливими і що розроблені системи захисту не змогли відчутно зменшити шкоду ялиновим лісам, стабілізувати їхній санітарний стан і виробництво лісу. Albrich et al. (2020) застерігають щодо високих очікувань стосовно пом'якшення зміни клімату під впливом лісу. Такі очікування можуть бути не виправданими, оскільки позитивний екологічний вплив може бути розтягнутим у значному часовому масштабі.

Поряд з цим дещо раніше (Стойко, 2011) було зазначено, що окрім негативних наслідків впливу на лісовий біом, зміни клімату можуть виявляти і позитивні аспекти на функціонування лісових екосистем. Зокрема, скорочення термінів періодичності плодоношення, збільшення врожайності деревних порід та покращення їхньої репродуктивної здатності; можливість збагачення лісів теплолюбними аборигенними й інтродукованими видами; збільшення приросту деревних видів та продуктивності деревостанів внаслідок збільшення тривалості вегетаційного періоду; прискорення ренатуралізації зниженої верхньої межі лісів і покращення їх водо- та ґрунтозахисної ролі. Безумовно, впродовж останніх 15 років частина цих позитивних

аспектів добре проявилась, проте не відбулось покращення репродуктивної здатності деревних рослин, а також помітного збільшення деревних приростів, насамперед, внаслідок погіршення режиму зволоження, збільшення сухості повітря та ґрунту, прояву періодичних сильних посух.

У напрямі забезпечення промислових потреб цінною ялиновою деревиною істотного значення набуває заміна похідних ялиників та створення на їхньому місці деревостанів інших деревних видів. Як важливий елемент такої заміни може бути тимчасове вирощування на місці розладнаного ялинового насадження швидко-рослих та біотично стійких деревних видів (*Larix decidua*, *Larix Kaempferi*, *Pseudotsuga menziesii* тощо), що дасть змогу зменшити інфекційний фон (зокрема запас збудників коренових гнилей), знизити активність фітогельмінтів та оптимізувати нематодний комплекс ґрунту (Крамарець, Криницький, 2009). Для забезпечення відносно швидкого отримання деревної продукції, на місці похідних ялиників доцільно впроваджувати плантаційне лісовирощування із використанням різних швидко-рослих, високопродуктивних та біотично стійких деревних видів.

Здійснений аналіз продуктивності ялини у смерековому та ялицевому типах лісу засвідчує, що серед деревостанів, подібних за лісівничо-таксаційними (тип лісу, вік, склад) та орографічними (висота н.р.м., стрімкість та експозиція схилу) характеристиками, показник продуктивності відзначається значною варіабельністю. На нашу думку, основна причина полягає у веденні різнопланової господарської діяльності в ялинових деревостанах. Інша причина може полягати в тому, що на частині ділянок ростуть автохтонні ялинові лісостани із місцевих стійких і найпродуктивніших екотипів, розповсюдження яких в Карпатському регіоні на сьогодні є обмеженим.

У Карпатському регіоні і на цей час наявні значні площі чистих ялиників – як у смерекових, так і в ялицевих типах лісу з повною відсутністю або недостатньою участю характерних кліматичних домішок. Їхня продуктивність і стійкість відзначаються значною варіабельністю, яка залежить не лише від дії абіотичних чинників, але й значною мірою від антропогенного впливу.

У впливі різних чинників на стан ялинових деревостанів існує кумулятивний ефект – дисбаланс в одній із ланок стає причиною незворотної руйнації консортних зв'язків та підсилення негативної дії абіотичних чинників біотичними та антропогенними.

Результати досліджень підтверджують, що найпродуктивнішими в ялицевих типах лісу є

чисті ялиники, але вони мають значний недолік – понижено біотичну стійкість. Водночас чисті ялиники у яличинах та суяличинах нагромаджують за відносно короткий період часу значні обсяги деревини і саме в цих умовах можна створювати штучні насадження ялини з коротким оборотом рубки (Яцик та ін., 1994; Дебринюк та ін., 2013; Форгіль, 2026). Обмежений період культивування забезпечить достатньо високу стійкість ялини європейської та нагромадження промислових обсягів стовбурової деревини.

Висновки (Conclusions).

1. Ялина європейська в умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини за частки у деревостані у 8-10 од. відзначається доволі високою продуктивністю, нагромаджуючи у віці 100-120 років понад $500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ стовбурової деревини. Максимальних запасів ялинові деревостани досягають у віці 60-80 років – понад $600 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

2. В умовах вологої смереково-букової суяличини ялина за високої участі в складі деревостану максимальні запаси формує у віці 60-70 років – близько $600 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Зі збільшенням віку насаджень запаси деревостанів знижуються, насамперед через втрату ялиною біотичної стійкості. Поряд з цим, окремі насадження ялини можуть залишатися продуктивними ($400\text{-}500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і у віці понад 120 років.

3. В умовах вологої сусмеречини найбільше ділянок – як за кількістю так і за площею зосереджено на висоті 1101-1200 м, в умовах вологої суяличини – на висоті 1001-1050 м н.р.м. Ялинові деревостани в сусмеречині піднімаються до висоти 1301-1400 м, в суяличині – лише до висоти 1051-1100 м н.р.м.

4. Вектор динаміки запасу ялинових деревостанів у досліджуваних типах лісу має протилежну спрямованість: якщо в умовах вологої сусмеречини з підйомом у гори (до 1200 м) спостерігається екологічна оптимізація середовища для корінної ялини та зростання її продуктивності, то в умовах вологої суяличини підйом вище 900 м призводить до екологічного стресу похідних ялиників, посилення конкурентного тиску з боку корінних порід та регресу стовбурових запасів. Окрім цього, значну роль в цьому процесі відіграє антропогенний чинник.

5. В умовах вологої буково-ялицевої сусмеречини найбільше ділянок (47%) зосереджено на південних, північно-західних та північно-східних схилах. В умовах вологої смереково-букової суяличини значна частина ділянок (32%) тяжіє до північного та північно-західного схилів.

6. Екологічний оптимум для формування високих запасів ялинової деревини у вологих

сусмеречинах і суяличинах зміщений у бік тіньових схилів (насамперед північного). Водночас насадження на південно-західних та західних схилах характеризуються суттєвим регресом продуктивності. Цей спад є мінімальним у корінних умовах сусмеречини ($430 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) і стає критичним у похідних ялинниках суяличини ($282 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), що вказує на синергетичний ефект кліматичного та антропогенного пресингу.

7. Запаси деревини на схилах різних експозицій є вищими в умовах вологої сусмеречини ($402\text{--}483 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), тоді як у вологій суяличині вони є помітно нижчими ($282\text{--}412 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$). Така диференціація може бути зумовлена втратою ялиною біотичної стійкості після досягнення певної вікової межі. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність проведення інтенсивних лісогосподарських заходів, які й виступають основною причиною зниження стовбурових запасів.

8. Стрімкість схилів виступає регулятором антропогенного пресингу: через високу транспортну доступність пологих екотопів ($10\text{--}15^\circ$) запаси ялинників у них є мінімальними, тоді як обмеження господарської діяльності на дуже

стрімких схилах ($30\text{--}35^\circ$) забезпечує збереження максимального деревного запасу в обох типах лісу.

9. Математичні моделі зв'язку між таксаційними характеристиками ялинових деревостанів та орографічними чинниками є значно адекватнішими для буково-ялицевих сусмеречин ($R = 0,54\text{--}0,64$), ніж для смереково-букових суяличин ($R = 0,32\text{--}0,47$). У деревостанах вологої сусмеречини динаміка запасу є природною та висхідною – визначальним є позитивний вплив фактору віку. У деревостанах вологої суяличини виявлено деструктивні процеси: на північних схилах збільшення частки ялини призводить до зниження запасу ($b = -0,24$), а на південних схилах спостережено регрес запасу за збільшення віку насаджень ($b = -0,320$), що свідчить про їхню втрату стійкості та передчасний розпад.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Albrich K, Rammer W., & Seidl R (2020). Climate change causes critical transitions and irreversible alterations of mountain forests. *Global Change Biology*, 26(7), 4013–4027. <https://doi.org/10.1111/gcb.15118>
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2007). Rules for improving the qualitative composition of forests. (Decree No. 724). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/724-2007-%D0%BF#Text> [Правила поліпшення якісного складу лісів: затв. постановою Кабінету Міністрів України 12.05.2007 р., №724] (in Ukrainian)
- Chernevyy, Yu. I., Savchyn, A. I., Danyliv, V. S., & Tretyak, P. R. (2011). Growth of old age trees of European spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) at mountain tree line in Gorgany Mts. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 62–69. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_13/index.htm [Черневий, Ю. І., Савчин, А. І., Данилів, В. С., Третяк, П. Р. (2011). Особливості росту старовікових дерев ялини європейської (*Picea abies* (L.) Karst.) біля верхньої межі лісу в Горганах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(13), 62–69] (in Ukrainian)
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Die-bak of the fir forests: causes and consequences. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(16), 32–38. http://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_16/index.htm [Дебринюк, Ю. М. (2011). Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(16), 32–38] (in Ukrainian)
- Debrynyuk, Yu. M. (2017). Plantation Forestry and energy plantations in Ukraine: resource potential and development prospects. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(8), 45–51. <https://doi.org/10.15421/40270806>
- Debryniuk, Iu. M., Forgil, Ya. S., & Liesnik, V. V. (2013). Spruce as an object of plantation forestry in fir forest types of Ivano-Frankivsk region. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(5), 168–175. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/index.htm [Дебринюк Ю. М., Форгіль Я. С., Лєсник В. В. (2013). Ялина як об'єкт плантаційного лісовирощування в ялицевих типах лісу Івано-Франківщини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(5), 168–175] (in Ukrainian)
- Forgil, Ya. (2026). Forestry and mensurational characteristics of stands with *Picea abies* (L.) Karst. in the fir types of forest in the Ivano-Frankivsk region. *Forestry and Forest Melioration*, 148, 70–81. <https://doi.org/10.33220/1026->

- 3365.148.2026.70 [Форгіль, Я. С. (2026). Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів із участю *Picea abies* (L.) Karst. в ялицевих типах лісу Івано-Франківської області. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 148, 70–81] (in Ukrainian)
- Forgil, Ya., & Debryniuk, Iu. (2025). Distribution of *Picea abies*-Containing Forest Stands in Silver Fir Forest Types of Ivano-Frankivsk Region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 162–175. <https://doi.org/10.36930/412529> [Форгіль, Я. С., Дебрінюк, Ю. М. Поширення лісостанів за участю *Picea abies* (L.) Karst. в ялицевих типах лісу Івано-Франківської області. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 162–175] (in Ukrainian)
- Herushynskyy, Z. Y. (1996). *Typology of Forests in the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Pyramida [Герушинський, З. Ю. (1996). *Типологія лісів Українських Карпат*. Львів: Піраміда. 208 с.] (in Ukrainian)
- Hlásny T., Trombik, J., Bošela, M., Merganič, J., Marušák, R., Šebeň, V., ... Trnka, M. (2017). Climatic drivers of forest productivity in Central Europe. *Agricultural and Forest Meteorology*, 234–235(15), 258–273. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2016.12.024>
- Hrynyk, G. G. (2011). Forestry and assessment features and dynamics of composition of mountain spruces forests stands in Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(15), 41–56. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_15/index.htm [Гриник, Г. Г. (2011). Лісівничо-таксаційні особливості та динаміка складу гірських ялиників Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 21(15), 41–56] (in Ukrainian)
- Hrynyk, G. G. (2011a). Forestry and taxonomic characteristics of fir stands of the Ukrainian Carpathians taking into account the features of the relief. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 21(13), 17–28. 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)
- Hrynyk, G. G. (2012). To modeling of basic taxation indexes of modal forests stands of spruces in Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22(13), 13–20. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_13/13_Hry.pdf [Гриник, Г. Г. (2012). Моделювання основних таксаційних показників модальних деревостанів ялини європейської в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(13), 13–20] (in Ukrainian)
- Jäger, S. (2020). *Stand Structure in a Heterogeneous Old-growth Norway Spruce (Picea abies (L.) Karst.) Forest in Northern Sweden*. Master of Science thesis. University of Gothenburg, Department of Earth Sciences, Geovetarcentrum / Earth Science Centre. <https://gupea.ub.gu.se/handle/2077/67002>
- Keeton, W. S., Chernyavskyy, M., Gratzner, G., Main- Knorn, M., Shpylchak, M., & Bihun, Y. (2010). Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce-fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine. *Plant Biosystems – An International Journal Dealing with all Aspects of Plant Biology*, 144(1), 148–159. <https://doi.org/10.1080/11263500903560512>
- Korol, M. M., & Vytseha, R. R. (2006). Growth model of spruce stands of Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 16(3), 14–18. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_3/index.htm. [Король, М. М., Вицера, Р. Р. (2006). Моделі росту смерекового деревостану. *Науковий вісник НЛТУ України*, 16(3), 14–18] (in Ukrainian)
- Kramarets, V. A., & Krynytskyy, H. T. (2009). Assessment and possible threats to the survival of the spruce forests of the Carpathians in connection with climate change. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 19(15), 38–50. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_15/index.htm [Крамарець, В. О., Криницький, Г. Т. (2009). Оцінка стану та ймовірних загроз виживанню ялинових лісів Карпат у зв'язку із змінами клімату. *Науковий вісник НЛТУ України*, 19(15), 38–50] (in Ukrainian)
- Kramarets, V., & Matsiakh, I. (2018). The role of biotic factors in spruce decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 121–132. <https://doi.org/10.15421/411827> [Крамарець, В. О., Мацях, І. П. (2018). Роль біотичних чинників у всиханні ялиників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 121–132] (in Ukrainian)
- Krynytskyy, H. T., & Kramarets V. O. (2009). System of forestry measures on elimination of consequences of mass decline of spruce stands in beech-fir forests of Carpathians. *Forestry*

- and Forest Melioration*, 115, 256–260. <https://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/18/115-pdf> [Криницький, Г. Т., Крамарець, В. О. (2009). Система лісівничих заходів щодо ліквідації наслідків масового всихання ялиників у буково-ялицевих типах лісу Карпат. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 256–260] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V. V. (2007). The impact of orographic and forestry factors on windthrows and windfalls in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 17(3), 48–53. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2007/17_3/index.htm [Лавний, В. В. (2007). Вплив орографічних і лісівничих факторів на вітровали лісу в Українських Карпатах. *Науковий вісник НЛТУ України*, 17(3), 48–53] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., & Matuskevych, O. (2023). The dynamics of mensurational indicators of spruce stands on the north-eastern macroslope of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 98–112. <https://doi.org/10.15421/412307> [Лавний, В. В., Матусевич, О. Б. (2023). Динаміка таксаційних показників ялинових деревостанів на північно-східному макросхилі Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 98–112] (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., & Pelyukh, O. (2019). Distribution and analysis of the state of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 60–67. <https://doi.org/10.15421/411927> [Лавний, В. В., Пелюх, О. Р. (2019). Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 60–67] (in Ukrainian)
- Losyuk, V., Pohribnyi, O., Tomych, M., Chaskovskyi, O., Vandzhurak, P., & Debryniuk, I. (2021). State and structure of the natural spruce forests in the Pokuttia Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 22, 52–67. <https://doi.org/10.15421/412104> [Лосюк, В. П., Погрібний, О. О., Томич, М. В., Часковський, О. Г., Ванджурак, П. І., Дебринюк, Ю. М. (2021). Стан і структура природних ялинових лісів Покутських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 22, 52–67] (in Ukrainian)
- Mamchych, T., Olenko, A., Osypchuk, M., & Shportiuk, V. (2006). *Statistical data analysis with the STATISTICA package*. Drohobych: Vidrozhennia. [Мамчич, Т., Оленко, А., Осипчук, М., Шпортюк, В. (2006). *Статистичний аналіз даних з пакетом STATISTICA*. Дрогобич: Відродження. 208 с.] (in Ukrainian)
- Matuskevych, O. B. (2022). Silvicultural characteristics and taxation indices of spruce stands on the north-east macroslope of the Ukrainian Carpathians in main forest types. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 32(5), 28–35. <https://doi.org/10.36930/40320504> [Матусевич, О. Б. (2022). Лісівнича характеристика і таксаційна оцінка ялинових деревостанів північно-східного макросхилу Українських Карпат у панівних типах лісу. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(5), 28–35] (in Ukrainian)
- Molotkov, P. I., & Fedets, I. F. (1966). Forest-vegetation zoning of the Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 7, 3–11. [Молотков, П. І., Федець, І. Ф. (1966). Лесорастительное районирование Украинских Карпат. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 7, 3–11 (in Russian)
- Myklush, S. I., Chaskovskyi, O. H., Lavnyy, V. V., Myklush, Yu. S., & Havryliuk, S. A. (2015). *Silvicultural-taxational and phytocoenotic structure of primeval forests of the Ukrainian Carpathians as a model for organizing ecologically oriented forestry. Practical recommendations*. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Миклуш, С. І., Часковський, О. Г., Лавний, В. В., Миклуш, Ю. С., Гаврилюк, С. А. (2015). *Лісівничо-таксаційна та фітоценотична структура пралісів Українських Карпат як модель організації екологічно орієнтованого лісівництва. Практичні рекомендації*. Львів: РВВ НЛТУ України. 16 с.] (in Ukrainian)
- Myklush, S., Myklush, Y., Khomiuk, P., & Debryniuk, I. (2024). Silvicultural and inventory characteristics of natural spruce forest stands in the moist beech-fir fairly fertile spruce forest type of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 120–134. <https://doi.org/10.15421/412409> [Миклуш, С. І., Миклуш, Ю. С., Хоміюк, П. Г., Дебринюк, Ю. М. (2024). Лісівничо-таксаційна характеристика природних ялинових деревостанів вологої буково-ялицевої сушмеречини Українських Карпат. *Наукові*

- праці Лісівничої акад. наук України, 26, 120–135] (in Ukrainian)
- Oliinyk, V. S., & Zeinalian, A. M. (2020). Altitude features of spruce decline on the north-eastern megaslope of Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 136, 19–24. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.19> [Олійник, В. С., Зейналян, А. М. (2020). Висотно-поясні особливості всихання ялиників на північно-східному мегасхилі Українських Карпат. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 136, 19–24] (in Ukrainian)
- Parpan, V., Shparyk, Y., Slobodyan, P., Parpan, T., Korshov, V., Brodovich, R., ... Cheban, I. (2014). Forest management peculiarities in secondary norway Spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stands of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 20–29. <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/127> [Парпан, В. І, Шпарик, Ю. С., Слободян, П. Я., Парпан, Т. В., Коржов, В. Л., Бродович, Р. І., ... Чебан, І. Д. (2014). Особливості ведення лісового господарства в похідних ялиниках Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 12, 20–28] (in Ukrainian)
- Pelyukh, O., Zahvoyska, L., Maksymiv, L., & Paletto, A. (2019). Stakeholders' interests and roles in the context of secondary Norway spruce forest conversion: Ukrainian Carpathians case study. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering. Series II*, 12(1), 59–72. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2019.12.61.1.5>
- Rimal, S., Djahangard, M., & Yousefpour, R. (2022). Forest Management under Climate Change: A Decision Analysis of Thinning Interventions for Water Services and Biomass in a Norway Spruce Stand in South Germany. *Land*, 11, 446. <https://doi.org/10.3390/land11030446>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. [Electronic resource]. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF#n11> (accessed 02.02.2025) [Санітарні правила в лісах України (2016). Затв. Наказом Міністерства аграрної політики та продовольства від 26.10.2016 № 756 [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п>.] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. S. (2019). Empirical approaches to forecasting area and wood volume of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forests in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(3), 18–22. <https://doi.org/10.15421/40290303>. [Шпарик, Ю. С. (2019). Емпіричні підходи до прогнозування площі та запасу ялинових (*Picea abies* (L.) Karst.) лісів Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 29(3), 18–22] (in Ukrainian)
- Shparyk, Y. S., & Parpan, T. V. (2020). Trends of spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians: Case study in the wet mezotrophic common beech – silver fir – Norway spruce forest type. *Forestry and Forest Melioration*, 136, 37–45. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.136.2020.37> [Шпарик, Ю. С., Парпан, Т. В. (2020). Тенденції всихання ялиників Українських Карпат на прикладі вологої буково-ялицевої сушмеречини. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 136, 37–45] (in Ukrainian)
- Slobodyan, P. Ya. (2012). Conditions of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22(10), 45–50. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_10/index.htm [Слободян, П. Я. (2012). Проблеми похідних ялиників Українських Карпат. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(10), 45–50] (in Ukrainian)
- Slobodyan, P. Ya. (2010). Substantiation of necessity of increase of the areas of radical fir groves of the Ivano-Frankivsk area. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20(9), 51–55. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_9/index.htm [Слободян, П. Я. (2010). Обґрунтування необхідності збільшення площ корінних ялиників Івано-Франківської області. *Науковий вісник НЛТУ України*, 20(9), 51–55] (in Ukrainian)
- Stojko, S. (2011). Global climate changes impact on the forest ecosystems in the Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 9, 21–29. <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/360> [Стойко, С. М. (2011). Вплив глобальної зміни клімату на лісові формації Карпат *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 9, 21–28] (in Ukrainian)
- Tahvonena, O., Pukkala, T., Laihoc, O., Lähde, E., & Niinimäki, S. (2010). Optimal management of uneven-aged Norway spruce stands. *Forest Ecology and Management*, 260(1), 106–115. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.04.006>

- Trotsiuk, V., Svoboda, M., Janda, P., Mikolas, M., Bace, R., Rejzek, J., ... Myklush, S. (2014). A mixed severity disturbance regime in the primary *Picea abies* (L.) Karst. forests in Ukrainian Carpathians. *Forest Ecology and Management*, 334, 144–153. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.09.005>
- Yatsyk, R. M., Brodovych, R. I., & Havrusevych, A. M. (1994). Ways to increase the productivity of Carpathian forests. In *Proceedings of the 46th Scientific and Technical Conference* (pp. 268–269). Lviv, Ukraine: Ukrainian State Forestry Engineering University [Яцик, Р. М., Бродович, Р. І., Гаврусевич, А. М. (1994). Шляхи підвищення продуктивності карпатських лісів. Матеріали 46-ої наук.-техн. конференції. Український державний лісотехнічний університет, 12-13 грудня 1994 р. Львів: УкрДЛТУ, 1994. С. 268-269] (in Ukrainian)
- Vytseha, R. R.; & Hrynyk, H. H. (2004). The taxation structure of spruce forest stands on diameter. *Scientific Bulletin of the National Forestry University of Ukraine*, 14(4), 53–58. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2004/14_4/index_14_4.htm [Вицєга, Р. Р., Гриник, Г. Г. (2004) Таксаційна будова смерекових деревостанів за діаметром. *Науковий вісник НЛТУ України*, 14(4), 53–58] (in Ukrainian)
- Zeinalian, A. M., & Oliinyk, V. S. (2021). Influence of meteorological phenomena on resilience of Gorgan spruce forests in the Ukrainian Carpathians. *Forestry and Forest Melioration*, 139, 3–9. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.139.2021.3> [Зейналян, А. М., Олійник, В. С. (2021). Вплив метеорологічних явищ на стійкість ялиників Горган в Українських Карпатах. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 139, 3–9] (in Ukrainian)

The influence of silvicultural, inventory, and orographic factors on the formation of growing stock in spruce forest stands of the Pokut-Marmaros Carpathians

Ya. Forgil¹, Yu. Myklush²

Picea abies (L.) Karst. is one of the promising tree species for obtaining significant growing stock, not only in spruce forest types but also in fir forest types. Therefore, this tree species was widely cultivated in the fir forest types of the Ivano-Frankivsk region, often resulting in the creation of pure spruce stands. The Verkhovyna Forestry of the Verkhovyna Higher Forestry, whose forest fund is characteristic of the Pokuttya-Marmaros Carpathians, was selected as the base object for the research.

Under the conditions of a moist spruce-beech-fir forest type, Norway spruce –with a high share in the stand composition – forms its maximum growing stock at the age of 60-70 years, reaching approximately 600 m³·ha⁻¹. As the age of the stands increases, their volume declines, primarily due to the loss of biotic resistance in spruce. Along with this, certain spruce stands can remain productive (400-

500 m³·ha⁻¹) even at the age of over 120 years.

Under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type, the largest number of plots – both by count and area – is concentrated at an altitude of 1101-1200 m above sea level, while under the conditions of the moist spruce-beech-fir forest type, it is at 1001-1050 m a.s.l. In the moist beech-fir-spruce forest type, the highest proportion of plots (47%) is concentrated on southern, northwestern, and northeastern slopes. In the moist spruce-beech-fir forest type, a significant share of plots (32%) tends toward northern and northwestern slopes.

The vector of growing stock dynamics for spruce stands in the studied forest types demonstrates opposite directions. While under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type, ascending the mountains (up to 1200 m) leads to environmental optimization for native spruce and an increase in its productivity, under the conditions of

¹ Yaroslav Forgil – PhD student at the Department of Forest Cultures and Forest Tree-breeding. Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: Yaroslav.Forgil@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-2236-1793>

² Yuriy Myklush – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Technological University of the Shannon, Athlone Campus, University Road, Athlone, Co. Westmeath, Ireland. E-mail: yuriy.myklush@tus.ie ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1940-1045>

the moist spruce-beech-fir forest type, ascending above 900 m results in environmental stress for derivative spruce stands, increased competitive pressure from native tree species, and a decline in stem volume. Furthermore, the anthropogenic factor plays a significant role in this process.

The ecological optimum for the formation of high growing stock of spruce wood in moist beech-fir-spruce and spruce-beech-fir forest types is shifted toward shaded aspects (primarily northern). Concurrently, stands on southwestern and western slopes are characterized by a significant decline in productivity. This decrease is minimal under the native conditions of the beech-fir-spruce forest type ($430 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$) and becomes critical in derivative spruce stands of the spruce-beech-fir type ($282 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). This aspect highlights the synergistic effect of climatic and anthropogenic pressures.

The growing stock on slopes of various aspects is higher under the conditions of the moist beech-fir-spruce forest type ($402\text{-}483 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$), whereas in the moist spruce-beech-fir forest type, it is noticeably lower ($282\text{-}412 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$). Such differentiation may be attributed to the loss of biotic resistance in spruce after reaching a certain age threshold.

Slope steepness acts as a regulator of anthropogenic pressure. Due to the high transport accessibility of gentle ecotopes ($10\text{-}15^\circ$), the growing stock of spruce stands within them is minimal. The restriction of management activities on very steep slopes ($30\text{-}35^\circ$) ensures the preservation of the maximum timber volume in both forest types.

Mathematical models of the relationship between the inventory characteristics of spruce stands and orographic factors are significantly more adequate for the beech-fir-spruce forest types ($R = 0.54\text{-}0.64$) than for the spruce-beech-fir forest types ($R = 0.32\text{-}0.47$). In the stands of the moist beech-fir-spruce type, the growing stock dynamics is natural and upward, with the positive influence of the age factor being decisive. In the stands of the moist spruce-beech-fir type, destructive processes have been detected. On northern slopes, an increase in the share of spruce leads to a decrease in growing stock ($b = -0.24$), whereas on southern slopes, a regression of growing stock is observed with increasing stand age ($b = -0.320$), indicating their loss of resistance and premature dieback.

Key words: *Picea abies* (L.) Karst.; growing stock; stand age; share of spruce; slope aspect; slope steepness; height above sea level.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412609>
Article received 2025.12.22
Article revised 2026.04.16
Article accepted 2026.05.04
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Blystiv
vasyl.blystiv1@gmail.com
Boyarka, Kyiv region,
08150, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630.165.44:232

Оцінювання попередніх результатів та особливості випробування потомств насінних об'єктів *Pinus sylvestris* L. в умовах південної межі Українського Полісся

В.І. Блистів¹, Р.Д. Васишлишин², І.Л. Будзінський³, Т.І. Протас⁴, А.В. Кроль⁵,
О.М. Мельник⁶

Створення нових об'єктів для досліджень спадкових характеристик крапчих (плюсових) дерев і популяцій в умовах адаптації лісового господарства до кліматичних змін – актуальна задача сьогодення лісового менеджменту. На південній межі Українського Полісся вже відчуваються негативні наслідки цих змін і подальша діяльність з лісовідновлення в регіоні потребує зусиль дослідників-селекціонерів і актуалізує оцінювання та обговорення відповідних підходів. Метою роботи є оцінювання за потомством об'єктів постійної лісонасінної бази сосни звичайної у ранньому віці та перспективність таких регіональних випробувань для селекційних програм.

Актуальність досліджень підсилюється мотивами впровадження загальноєвропейських підходів до підвищення багатofункціональної ролі лісів в Україні. Розглянуто напрям щодо використання синергії потомства синтетичних локальних популяцій з потомством місцевих популяцій для підвищення стійкості майбутніх лісів. Створення синтетичних міні-популяцій на основі потомства

¹ Блистів Василь Іванович – кандидат сільськогосподарських наук, директор. Державна організація «Український лісовий селекційний центр» Укрдержлісагентства, вул. Лісодослідна, 14, м. Боярка, 08150, Київська обл., Україна. E-mail: vasyl.blystiv1@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0801-7599>

² Васишлишин Роман Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, професор кафедри таксації лісу та лісового менеджменту, доктор сільськогосподарських наук. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, Україна. E-mail: rvasyls@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

³ Будзінський Ігор Леонідович – начальник управління лісового господарства та відтворення лісів. Державне агентство лісових ресурсів України. E-mail: i.budzinskiy@forest.gov.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0298-5494>

⁴ Протас Тетяна Іванівна – завідувач ВП «Донецька ЛНЛ» ДО «Український лісовий селекційний центр», вул. Лісодослідна, 14, м. Боярка, 08150, Київська обл., Україна. E-mail: protasmal@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6474-3315>

⁵ Кроль Анатолій Віталійович – кандидат сільськогосподарських наук, т.в.о. директора. ВП НУБІП України «Боярська ЛДС», вул. Лісодослідна, 12, м. Боярка, 08150, Київська обл., Україна. E-mail: kroltolya@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8701-2070>

⁶ Мельник Олександр Миколайович – кандидат сільськогосподарських наук, заступник директора з науково-навчальної та інноваційної діяльності ВП НУБІП України «Боярська ЛДС», вул. Лісодослідна, 12, м. Боярка, 08150, Київська обл., Україна. E-mail: o_melnyk@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3967-4710>

лісонасінних плантацій та постійних лісонасінних ділянок пропонується, як один із варіантів поряд з адаптивною оцінкою місцевих популяцій сосни звичайної.

Подібний підхід результативно використовувався для випробовування сортів-популяцій (сортівипробні культури сосни звичайної) в умовах Лівобережного Лісостепу та його південної межі. Такий підхід також дає змогу удосконалити процедуру встановлення відповідності лісового репродуктивного матеріалу категорії «Випробуваний» вимогам Директиви 1999/105/ЄС від 22.12.1999 р. «Про маркетинг лісового репродуктивного матеріалу» та відповідного регламенту ЄС, що її замінює.

Практичною цінністю роботи є обґрунтування планування та створення мережі випробних культур функціональних базових об'єктів лісового насадництва у рамках селекційних програм розвитку лісового насадництва. У роботі акцентовано увагу на важливості інформації щодо створеного об'єкту з метою налагодження подальших комплексних досліджень.

Ключові слова: лісонасінні плантації; сортівипробування; лісовий репродуктивний матеріал; регіоналізація лісового репродуктивного матеріалу; типи лісу; випробні культури.

Вступ (Introduction).

Використання випробних культур для тестування насінних об'єктів постійної лісонасінної бази (ПЛНБ) в умовах прогнозованої активізації впливу екстремальних кліматичних чинників відкриває можливості щодо оцінювання адаптивної реакції добірних (постійні лісонасінні ділянки – далі ПЛНД) та синтетичних (лісонасінні плантації – далі ЛНП) локальних популяцій і вихідних плюсових дерев (далі ПД) сосни звичайної у регіоні випробовування, передусім на резистентність до посухи.

В умовах південної частини Київського Полісся (Дзвінківське л-во ВП НУБІП України «Боярська лісодослідна станція») створено та досліджуються географічні випробні культури (ВК) за інтенсивністю росту і збереженістю для ширшого (восьми областей) представництва провенієнцій Українського Полісся. Остання інформація (Fuchylo et al., 2023) підтверджує важливість експерименту для оцінювання впливу зміни клімату та вивчення адаптивної реакції різних походжень сосни звичайної. За даними цих же авторів, інформативність щодо достовірних розбіжностей за показниками виживання та продуктивності представництв за провенієнціями настає з 20-річного віку. Так, у віці 37 років найбільша частка виживання (36,2%) притаманна для представництв із Чернігівської обл., а найменша – із Львівщини (11,2%). У континентальніших умовах Харківщини відзначено кращу загальну збережуваність потомств у сортівипробних культурах – 46,7% у 20-річному віці (Терещенко, Дишко, 2019). Важливо зазначити, що в умовах Боярської ЛДС впродовж 80-90-х рр. минулого століття створено низку випробних та архівно-маточних об'єктів, одним із важливих напрямів дослідження яких стало вивчення їхнього потенціалу для можливостей плантаційного лісовирощування (Фучило та ін., 2006; Сбитна, Фучило, 2010; Шлончак, Лавренюк, 2025).

Подібні дослідження, пов'язані з сортівипробуванням лісових деревних видів проводились у сортівипробних культурах у Харківській області: штучних сортів-популяцій (Мажула, 2009), кандидатів у синтетичні сорти популяції (Дишко, Торосова, 2018) та кандидатів у синтетичні сорти-популяції (Терещенко, Дишко, 2019). Проаналізовано результати обмірів дерев у 3- та 10-річному віці (Мажула, 2009), 20-річному (Дишко, Торосова, 2018) та 5- і 20-річному віці (Терещенко, Дишко, 2019). Обидва досліджувані об'єкти закладено у 1999 р. в Гутянському, та на відстані близько 100 км у південно-східному напрямку – Зміївському лісгоспах, за однаковою методикою (Патлай, Молотков, 1997) з використанням в обох випадках дев'яти ідентичних потомств синтетичних популяцій (клонових лісонасінних плантацій – КНП) та постійної лісонасінної ділянки. Станом на 2009 р. ці ЛНП було зареєстровано як штучні сорти (Мажула, 2009), а їх випробовування проводилось з метою районування в умовах Харківщини (ТЛУ – B₂-C₂). Також варто відзначити, що Дишко і Торосова (2018) оцінювали смолопродуктивність дерев сосни звичайної, як фактора (ознака стану) біотичної стійкості (у цьому випадку – до пливу кореневої губки). У роботі Терещенко і Дишко (2019) наведено огляд результатів випробовування потомства подібних селекційних насінних об'єктів сосни звичайної в інших регіонах України, а також у Польщі і Білорусі.

Сьогодні цей дослідний доробок дає можливість оцінити стан об'єктів на фоні активного прояву екстремальних кліматичних чинників, що спостерігаються в останні десятиріччя (Паламарчук, Шедеменко, 2021). Автори обґрунтували тренд щодо подальшого зменшення річної суми опадів для рівнинної частини України. Такі тенденції сьогодні розраховано та візуалізовано на картах для основних деревних видів лісового покриву Європи, включно з

нанесенням об'єктів генозбереження *Pinus sylvestris* L. (Chakraborty et al., 2021).

Важливість досліджуваного питання також підкреслюється зміщенням акцентів лісокористування до принципів наближеного до природи лісівництва, концепція якого запропонована у новій Лісовій стратегії ЄС до 2030 р., та спрямована на акцентуванні ролі лісів у збереженні природи, підвищенні їхньої стійкості до кліматичних змін та забезпеченні багатофункціонального використання. Для українських лісів детальні дослідження з продуктивності та стійкості встановлено за результатами багаторічного системного моніторингу з використанням можливостей національної інвентаризації лісів (Buksha et al., 2023), розроблених кліматичних моделей (Швиденко та ін., 2018), використанням лісівничо-таксаційних і дистанційних методів оцінювання стійкості лісостанів сосни звичайної (Криницький та ін., 2021, 2023). Прикладом впровадження моніторингу лісових генетичних ресурсів лісотвірних деревних видів слугують підходи Bajc et al. (2020) викладені у відповідних вказівках. У прийнятому нещодавно (21.05.2026 р.) Регламенті ЄС на заміну Директиви 1999/105/ЄС, регламентовано використання лісового репродуктивного матеріалу (ЛРМ) з метою збереження лісових генетичних ресурсів.

В Україні щодо вивчення реакції лісів на зміну клімату через встановлення зв'язків їхнього походження за випробними культурами також отримано перші результати (Журова, 2007; Гайда, 2014; Neyko et al., 2020). За період 2010-2014 рр. створено лише дві ділянки випробних культур сосни звичайної у Київській та Сумській областях (Терещенко та ін., 2014). Впродовж останніх десяти років (2024 р.) створено ще одну ділянку випробних культур у Київській обл. (Лубенське л-во Клавдієвської ЛДС). Очевидною є потреба у підготовці та впровадженні відповідних регіональних селекційних програм у цьому напрямі.

Втрата біотичної стійкості соснових лісостанів у зоні природного їх поширення, зокрема в Українському Поліссі, пов'язана, насамперед, з кліматичними чинниками (Букша та ін., 2017; Lovynska et al., 2021). Здебільшого причини втрати стійкості та загибелі лісостанів сосни звичайної мають комплексний характер – від негативного впливу зміни клімату до пов'язаних з цим інвазій шкідників, різних хвороб, розвитку кореневої губки, пошкодження дерев дикими тваринами (Ковальова та ін., 2018; Meshkova, 2021; Davydenko et al., 2021; Vysotska et al., 2025). Більшість висновків щодо впливу цих чинників зводяться до прогнозованого наслідку зменшення поширеності сосни звичайної у

межах природного ареалу, що також узгоджується з загальноєвропейською тенденцією (Buras & Menzel, 2019). У більшості дослідів щодо механізму адаптації сосни звичайної до екстремального кліматичного тиску в європейській частині ареалу акцентовано увагу на важливості скорочення періоду адаптації та механізмах закріплення адаптаційних змін (Savolainen et al., 2004; Gülcü & Bilir, 2017; Frischbier et al., 2019; Matisons et al., 2021), включаючи результати випробовування потомства плюсових дерев (Voitiuk et al., 2020).

Стверджується, що лісівнича практика навіть впродовж одного покоління лісу може суттєво впливати на швидкість змін в структурі популяції за генотипом та фенотипом (Kremer, 2012; Lefèvre et al., 2014; Jimenez-Ramirez et al., 2021). Результат досягається, насамперед, через заміну частини місцевої популяції представництвом краще пристосованої чи більш збалансованої (самопідтримуючої) популяції (Bozzano et al., 2014), а також селекційними роботами у цьому напрямі з місцевим плюсовим матеріалом або комбінації цих двох напрямів. Передбачається, що штучне відтворення насаджень з використанням селекційно покращеного насіння може збільшити частку адаптованих генотипів у локальних популяціях основних лісотвірних видів до нових умов.

Існує думка щодо доцільності заміни насаджень сосни звичайної, які втратили біотичну стійкість, більш стійкими інтродукованими деревними видами. Проте є небезпідставні побоювання щодо підвищеної інвазійної активності окремих інтродукованих видів в лісових екосистемах, а, відповідно, ще більшого негативного тиску на місцеві популяції сосни звичайної (Dickie et al., 2014). Anderegg et al. (2016) висловлюють думку щодо незначного впливу відмирання дерев внаслідок кліматичних змін на локальну стабільність лісових екосистем. У цьому випадку необхідно враховувати компенсаторну роль адаптивної реакції, яка може мати у перспективі суттєве значення для відновлення стабільності рівноваги популяцій автохтонних лісотвірних видів (Bozzano et al., 2014). Отже, використання випробних культур для об'єктів постійної лісонасінної бази є актуальним питанням, має комплексне лісівниче значення та потребує подальшого планування і координації програм з їх створення та формування.

Мета дослідження полягає в оцінюванні за потомством об'єктів ПЛНБ сосни звичайної у ранньому віці, встановлення перспективності таких регіональних випробувань для запровадження селекційних програм.

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

Об'єкт дослідження – успадкування випробних ознак сосни звичайної потомством об'єктів ПЛНБ. *Предмет дослідження* – особливості росту і розвитку випробних культур насінних об'єктів сосни звичайної в умовах прогнозованої активізації впливу екстремальних кліматичних чинників.

Аналітичним оцінюванням охоплено об'єкти ПЛНБ сосни звичайної, представництво плюсових дерев яких відібрано за фенотипом з дотриманням вимог «Настанов з лісового насінництва» (Лось та ін., 2017). Об'єкти створено за вимогами діючої на той час нормативно-правової бази, основна вимога якої полягає у представництві на ЛНП не менше 20 клонів плюсових дерев. Об'єкти атестовані комісіями, знаходяться на відомчому обліку та відзначені у матеріалах лісовпорядкування. Відібрано чотири об'єкти ПЛНБ сосни звичайної, де клони плюсових дерев за різними варіантами схем змішування

знаходяться у репродуктивній стадії. Один об'єкт представлений потомством насінного походження місцевої метапопуляції. Дослідження проведено аналізом візуалізованих та параметричних характеристик стану насінних дерев сосни звичайної і територіального позиціонування для підібраних об'єктів за регіонами походження, мотиви та потребу виділення яких наведено у наших роботах (Блистів та ін., 2021; Данчук та ін., 2024) з використанням геоінформаційно-аналітичної системи управління лісовими ресурсами України Укрдержліспроєкту (<https://www.lisproekt.gov.ua/>) та електронної бази даних Державної організації «Український лісовий селекційний центр».

Насіння з об'єктів, для яких заплановано проведення тестування за потомством, заготовлено взимку 2024 р. і відібрано з відповідно сформованих партій для виробничого використання. Виробничі культури створено з садивного матеріалу, вирощеного з насіння, зібраного на об'єктах, місцезнаходження яких наведено у табл. 1.

Таблиця 1. Походження лісового насіння, використаного для створення випробних культур сосни звичайної

Table 1. Origin of forest seeds for Scots pine trial crops

№ з.п.	Місце заготівлі				
	Область	Надлісництво ДП «Ліси України»	Лісництво	Об'єкт ПЛНБ	Квартал; виділ
1	Рівненська	Сарненське	Немовицьке	Клонова ЛНП	47; 7
2	Житомирська	Коростишівське	Коростишівське	Клонова ЛНП	34; 8
3	Київська	Іванківське	Розважівське	ПЛНД	46; 4-6, 8
4	Сумська	Тростянецьке	Тростянецьке	Клонова ЛНП	14; 1
5	Харківська	Гутянське	Володимирівське	Клонова ЛНП	107; 6

Станом на 1.01.2026 р. у лісах України зареєстровано 4747 плюсових дерев, зокрема сосни звичайної – 1318 шт., значна частина потомства яких представлена в ЛНП та архівах клонів. У табл. 2 наведено характеристики об'єктів, репродуктивне представництво яких використано для створення випробних культур.

Для створення об'єкту використано 4,5 тис. штук однорічних сіянців сосни звичайної із закритою кореневою системою для п'яти варіантів та 400 шт. сіянців сосни місцевого еко типу (контроль), отриманого з лісостану в умовах свіжого дубово-соснового субору. Площа створюваної ділянки (1,1 га) забезпечить для кожного варіанту збережуваність у віці 25-30 років не менше 200 дерев, а до віку стиглості – не менше 50 дерев (початкова густота – 800-1000 шт.) за схеми типового початкового розміщення рослин в умовах південної частини Київського Полісся 3 × 0,75 м. Випробні культури створено на території ВП НУБіП України «Боярська лісова дослідна станція» (Плесецьке лісництво, кв. 279, вид. 3)

(Протас та ін., 2025). Осінню інвентаризацію та попереднє параметричне оцінювання випробних культур здійснено у листопаді 2025 року.

Методика досліджень щодо комплексного оцінювання особливостей росту і розвитку ВК насінних об'єктів сосни звичайної враховує підходи, опрацьовані у низці наукових робіт (Молотков та ін., 1993; Гайда, 2014; Швиденко та ін., 2018; Дишко, Торосова, 2018; Лось та ін., 2019; Neyko et al., 2020). Було виміряно висоту сіянців та визначено середні показники для варіантів. Враховано особливості методичних підходів в умовах прогнозованої активізації впливу екстремальних кліматичних чинників, що описані в роботах Savolainen et al. (2004), Gülcü & Bilir (2017), Frischbier et al. (2019), Voitiuk et al. (2020), Matisons et al. (2021). Об'єкт розташований на південній межі території, де ймовірність настання критичної дії посух більша, ніж на всій іншій території походжень випробовуваних варіантів.

Таблиця 2. Характеристика об'єктів сосни звичайної, потомства яких випробовуються
Table 2. Characteristics origins in trial crops of Scots pine

№ з.п.	Площа об'єкта, га	Характеристика випробовуваних об'єкт та випробних культур	Діапазон представництва	Діляночні координати, тисячні у системі WGS-84
1	1,5	20 клонів з Волинської, Рівненської, Житомирської, Київської обл., розміщення 7 × 7 м	470 км у межах Західного та Київського Полісся	26.552°; 51.203°
2	2,5	20 клонів з Житомирської, Київської, Чернігівської та Черкаської обл., розміщення 8 × 8 м.	470 км у межах Західного, Київського та Чернігівського Полісся	28.981°; 50.441°
3	24,0	Локальна популяція, 14 років, атестована у 2021 р. як ПЛНД	40 км	29,653°; 50,948°
4	5,2	41 клон з Чернігівської, Сумської та Полтавської обл., 4 × 5 м, закладена у 1991 році	300 км у межах Східного Полісся	28.981°; 50.441°
5	0,9	29 клонів з Харківської обл., розміщення 5 × 5 м, закладена у 1999 році	180 км у межах Лівобережно-Дніпровського лісостепового та Лівобережно-Дніпровського пристепового	35.323°; 50.077°
6	1,1	У ВК представництво у двох повторностях, контроль – варіант № 6 у схемі змішування випробних культур	720 км діапазоні геокоординат 26,552° - 35,323° східної довготи	30.134°; 50.291°

Для виконання мети роботи використано методи емпіричних досліджень, зокрема, синтезу та узагальнення, лісівничо-таксаційні та аналітично-порівняльні методи.

Для інформування зацікавлених дослідників та простежуваності в подальшому історії встановлення відповідності, наведемо посилання на детальнішу інформаційну довідку: <https://ucfb.info/novini/novina/article/viprobovuvannya-bazovikh-lisonasinnejvikh-obektiv-vazhlivii-etap-rozvitku-lisovoji-selekciji.html>. та довідкову інформацію щодо розміщення (походження) вихідних об'єктів для створення випробних культур у Боярській ЛДС: <https://ucfb.info/dovidkova-baza/korisna-informacija.html>.

Результати (Results).

Наведемо результати оцінювання випробних культур у розрізі п'яти досліджуваних об'єктів (див. табл. 2). Особливістю насінного об'єкту № 1 щодо створення КНП за вимогами Guidelines for forest seed production (Лось та ін., 2017) є те, що площа атестованої плантації менше рекомендованих розмірів, але вона примикає до подібного не атестованого об'єкту площею 2,2 га. Плантація створена в 1986 р. (індекс типу лісу – С_{3-2-0C}), початкове розташування рослин 7 × 7 м, змішування рівномірно-збалансоване ЛНП знаходиться у віковому діапазоні ослаблення репродуктивної здатності, але ще забезпечує

економічно вигідні обсяги виробничої заготівлі насінної сировини. Ізоляційних бар'єрів не дотримано, тому просторова ізоляція плантації сприяє проникненню пилку з навколишніх лісостанів, серед яких переважають пристиглі деревостани сосни звичайної I класу бонітету. Тому є потреба у встановленні вагомості впливу цього фактора, оскільки його наявність, ймовірно, може відігравати позитивну роль для підсилення екоадаптивних властивостей потомства у регіоні випробовування.

За результатами моніторингу встановлено задовільний санітарний стан насінних дерев сосни звичайної за показниками дефоліації та дехромації (Швиденко та ін., 2018; Buksha et al., 2023). Проте широке представництво проведення (рис. 1) у межах Західнополіського регіону поширення ЛРМ сосни звичайної (Данчук та ін., 2024) дає підстави прогнозувати у потомства значний рівень генетичної мінливості, а отже, високий адаптивний потенціал щодо впливу змін і стресових чинників навколишнього середовища. Оцінювання стану окремих клонів потребує проведення детальної інвентаризації, яка не передбачена чинною системою моніторингу. Її доцільно здійснювати додатково після визнання плантації об'єктом базового лісового репродуктивного матеріалу.

Особливістю насінного об'єкту № 2 є його знаходження у віковому діапазоні завершення



Рис. 1. Позиціювання об'єкта №1 до випробних культур та плюсових дерев сосни звичайної в умовах Західного і Київського Полісся

Fig. 1. Positioning of object No. 1 relative to test crops and positive trees of Scots pine in the conditions of Western and Kyiv Polissia

економічно вигідних обсягів виробничої заготівлі лісонасінної сировини. Атестовано частину створюваних плантацій, що знаходиться у центрі загального масиву, який складається з блоків, які поступово створювали щорічно. Площа атестованої плантації (місця збору) складається з двох блоків площею 1,0 та 1,5 га, які створено впродовж 1984 і 1985 років лісівниками Коростишівського л-ва (індекс типу лісу – $C_3-2-дC$). Площу об'єктів збільшено за рахунок не атестованих блоків, створених як клонові плантації перед і після 1984 року. Початкове розташування рослин становить 8×8 м, змішування рівномірно-збалансоване. Об'єкт оточений мішаними лісостанами з перевагою дуба звичайного I і II класів бонітету без значної домішки у складі сосни звичайної.

За результатами обстежень встановлено задовільний санітарний стан насінних дерев. Водночас широке географічне представництво провенієнцій (рис. 2) у межах східної частини Західнополіського регіону поширення лісового репродуктивного матеріалу сосни звичайної (Данчук та ін., 2024), Центральнополіського регіону грабово-дубових, дубових і дубово-соснових лісів, а також Київського правобережного округу грабово-дубових і дубово-соснових лісів дає підстави прогнозувати у потомства високий рівень генетичної мінливості та, ймовірно, значний адаптивний потенціал до змін і стресових чинників навколишнього середовища, зумовлений наявністю клонів плюсових дерев із південної частини зазначених регіонів походження.

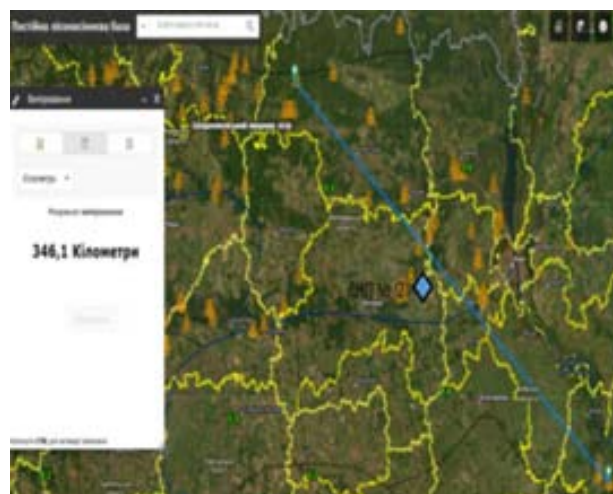


Рис. 2. Позиціювання об'єкта №2 до випробних культур та плюсових дерев сосни звичайної в умовах Житомирського і Київського Полісся

Fig. 2. Positioning of object No. 2 relative to test crops and positive trees of Scots pine in the conditions of Zhytomyr and Kyiv Polissia

Особливістю насінного об'єкту №3 є представництво на ділянці матеріалу локальних популяцій сосни звичайної Іванківського надлісництва. ПЛНД перебуває у стадії нарощування обсягів виробничого збору і має потенціал до використання впродовж наступних 20 років. Формування ділянки з декількох частин, які створювали садивним матеріалом різного місцевого походження дає підставу прогнозувати у потомства значний діапазон генетичної мінливості. Виробничі культури сосни звичайної створено впродовж 2010-2012 рр. на площі 31,4 га. Формування крон та прорідження насінного об'єкту розпочато у 2016 р., після чого ділянку атестовано у 2021 р. як дві ПЛНД на площі 24,0 та 7,4 га. Заготівлю насіння здійснено на ділянці площею 24 га (індекс типу лісу – $B_3-дC$). На час дослідження середня відстань між деревами становила 5-8 м. Об'єкт цікавий, як додатковий контроль на фоні оцінювання з контрольним варіантом Боярської популяції, представляючи популяцію, розташовану майже на сто кілометрів північніше.

За результатами моніторингу встановлено задовільний санітарний стан насінних дерев, проте діапазон популяційного представництва (рис. 3) у межах північної частини Київського правобережного округу грабово-дубових, дубово-соснових лісів регіону походження є незначним порівняно з іншими варіантами випробних культур.

Особливістю насінного об'єкту № 4 є розширене представництво клонів щодо створення КНП за вимогами Guidelines for forest seed

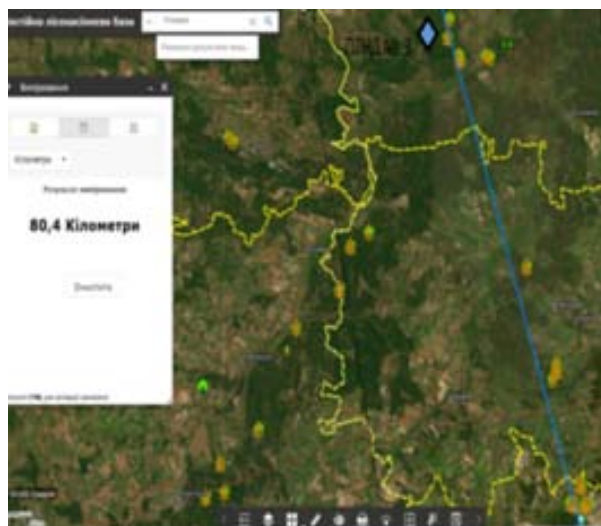


Рис. 3. Позиціювання об'єкта до випробних культур та плюсових дерев сосни звичайної в умовах північної частини Київського Полісся
Fig. 3. Positioning of the object relative to the test crops and positive Scots pine trees in the conditions of the northern part of Kyiv Polissia

production (Лось та ін., 2017). Плантація знаходиться у віковому діапазоні зменшення економічно вигідних обсягів виробничої заготівлі лісонасінної сировини, проте відзначається понаднормативною кількістю представництв (клонів), що забезпечує збереження генетичного різноманіття. Площа атестованої плантації (місця збору) складає 5.2 га. Плантацію створено у 1991 році, розміщення під час садіння – 4×5 м, змішування рівномірно-збалансоване (індекс типу лісу – $C_2\text{-лп-дС}$).

Особливістю об'єкта є наявність поряд іншої клонової плантації з меншим представництвом клонів, проте з ширшим охопленням частини ареалу сосни звичайної та декількох інших лісонасінних плантацій, створених у 90-х роках минулого століття. Об'єкти знаходяться порівняно недалеко, у зоні можливого впливу їхнього пилка. Оточуючі деревостани сосни звичайної характеризуються I та I^a класами бонітетів.

За результатами моніторингу встановлено задовільний санітарний стан насінних дерев сосни звичайної за візуальним оцінюванням показників дефоліації та дехромації. Широкий діапазон та походження представництв (рис. 4) у межах Лівобережно-поліського дубово-соснових, дубових, соснових лісів, Північного лівобережного липово-дубових лісів, Полтавського липово-дубових, соснових і дубово-соснових лісів регіонів походження ЛРМ сосни звичайної (Данчук та ін., 2024), дає підставу прогнозувати у потомства значний діапазон генетичної мінливості, а отже, високу прогнозованість адаптивної здатності до впливу стресових чинників довкілля.



Рис. 4. Позиціювання об'єкта до плюсових дерев сосни звичайної в умовах східної частини Східного Полісся та Лівобережного Лісостепу

Fig. 4. Positioning of the object relative to the positive trees of Scots pine in the conditions of the eastern part of Eastern Polissia and the Left Bank Forest-Steppe

Об'єкт № 5 площею 0,9 га знаходиться в осередку клонових ЛНП, створених впродовж 1997-2001 рр. загальною площею 7,5 га. Плантація створена в 1999 р. у типі лісу $B_2\text{-дС}$ з початковим розташуванням рослин 5×5 м та рівномірно-лінійним змішуванням. Оточуючі деревостани представлені дубом звичайним, ростуть за II класом бонітету у типі лісу $C_2\text{-лп-дС}$. Особливістю об'єкта є широке географічне представництво суміжних плантацій, що охоплює значну частину природного поширення сосни звичайної.

Також варто відзначити представництво клонів з південної частини Харківського дубових, липово-дубових лісів регіону походження ЛРМ сосни звичайної, що може сприяти підвищенню адаптаційних властивостей до посухи у випадку переміщення садивного матеріалу у північно-західному напрямку.

За результатами моніторингу встановлено задовільний санітарний стан насінних дерев на основі візуального оцінювання показників дефоліації та дехромації. Широкий діапазон та походження представництв (рис. 5) у межах Харківського дубових, липово-дубових лісів регіону походження ЛРМ сосни звичайної по межі з Лівобережно-Дніпровським пристеповим регіоном поширення дає підставу прогнозувати у потомства значний діапазон генетичної мінливості, а отже, високу прогнозованість адаптивної здатності потомства до впливу стресових чинників довкілля.

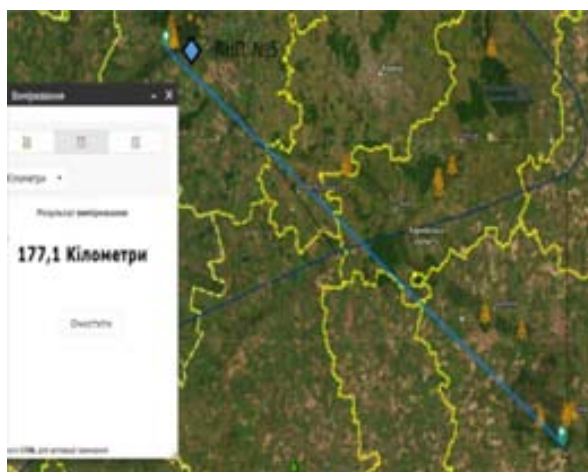


Рис. 5. Позиціонування об'єкту №5 щодо до плюсових дерев сосни звичайної в умовах східної частини Лівобережного Лісостепу
Fig. 5. Positioning of object No. 5 relative to the positive Scots pine trees in the conditions of the eastern part of the Left Bank Forest-Steppe

За результатами аналізу вище зазначених об'єктів ПЛНБ сосни звичайної пропонується підхід щодо планування і створення мережі випробних культур у рамках селекційних програм розвитку лісового насадництва. Під час такої роботи доречно ретельно оцінити діапазон представництва плюсових дерев на КНП, потомство яких планується випробувати у відповідному регіоні походження. Попереднє оцінювання простежуваності на прикладі вищенаведених об'єктів (рис. 2-5) виявили окремі

розбіжності між даними обліку ПЛНБ, атестаційних паспортів та матеріалами останніх базових лісовпорядкувань. У подальшому, зі зміщенням акцентів у використанні лісового репродуктивного матеріалу, для визнання клонівих насінних плантацій базовим лісовим матеріалом ключового значення набуватимуть оцінювання відповідності походження, схеми змішування та збереження походження клонів.

У листопаді 2025 р. на об'єкті Боярської ЛДС проведено осінню інвентаризацію та попереднє параметричне оцінювання випробних культур за варіантами (табл. 3). Інформацію щодо створення ВП частково висвітлено у публікаціях Протас та ін. (2025, 2025а). Оцінювання відношення висот варіантів до контролю не проводили внаслідок використання для нього сіянців такого ж віку, але з відкритою кореневою системою, що впродовж першого вегетаційного періоду могло позначитись на рості у висоту і на приживлюваності.

За результатами обстеження, середня збережуваність рослин становила 86,7%, яка для умов Київщини є близькою до нормативної. Виняток становить блок «Суми 1», де внаслідок закладання додаткових садивних місць під час садіння приживлюваність перевищила 100%. Встановлено незначні пошкодження копитними, незважаючи на те, що ділянка на час обстежень була огорожена. Порівняння середніх значень висот на фоні приживлюваності добре ілюструє рис. 7.

Таблиця 3. Результати обмірів висоти сіянців за провенієнціями у 2-річному віці
Table 3. Results of measurements of height of 2-years-old seedlings by provenance

Блок, провенієнція	К-сть обмірів, шт.	Збережуваність, %	Середнє значення, см	Середнє відхилення, см	Стандартне відхилення, см	Помилка стандарт. відхилення
Рівне 1	46	86,79	17,97	2,55	3,17	1,06
Рівне 2	54	90,00	16,50	0,83	1,25	0,42
Рівненська	100	88,50	17,23	Різниця з середнім «для всіх» – «+» 0,34		
Житомир 1	51	85,00	19,70	2,30	2,76	0,92
Житомир 2	47	78,33	16,68	3,23	4,05	1,35
Житомирська	98	81,5	18,19	Різниця з середнім «для всіх» – «+» 1,3		
Київ 1	51	85,00	16,35	3,18	3,80	1,27
Київ 2	48	80,00	13,77	1,22	1,54	0,51
Київська	99	82,50	15,06	Різниця з середнім «для всіх» – «-» 1,83		
Суми 1	62	103,33	17,91	1,65	2,14	0,71
Суми 2	55	91,67	15,57	2,06	2,94	0,98
Сумська	117	97,5	16,74	Різниця з середнім «для всіх» – «-» 0,15		
Харків 1	48	80,00	17,85	2,94	3,74	1,25
Харків 2	52	86,67	16,58	2,37	3,08	1,03
Харківська	100	83,60	17,21	Різниця з середнім «для всіх» – «+» 0,32		
Середнє для всіх		86,68	16,89	Не обчислювались		

Порівняння висот сіянців на цьому етапі (у рік створення) для встановлення екоадапційних особливостей за окремими провенієнціями не може бути інформативним, тому детальне статистичне оцінювання не проводили. Однак варто зазначити, що найвищими є сіянці Житомирського походження і найнижчими – Київського. На цей результат (на ранній стадії оцінювання) могли вплинути селекційні властивості насіння. Так, київське представництво створене з нормального насіння, а інші – з покращеного. Про

таку особливість за ранньої діагностики ознак плюсових дерев за однорічними сіянцями для Боярської популяції відзначено у роботі Сбитної і Фучила (2010). Щодо представництв з покращеного насіння, то значення висоти сіянців серед різних варіантів знаходяться на відносно однаковому рівні, а попередні результати достовірного значення висот рослин можуть бути встановлені не раніше ніж через п'ять років на основі ранніх тестів або планової інвентаризації (Яцик, 2006; Митроченко та ін., 2010; Лось та ін., 2019).

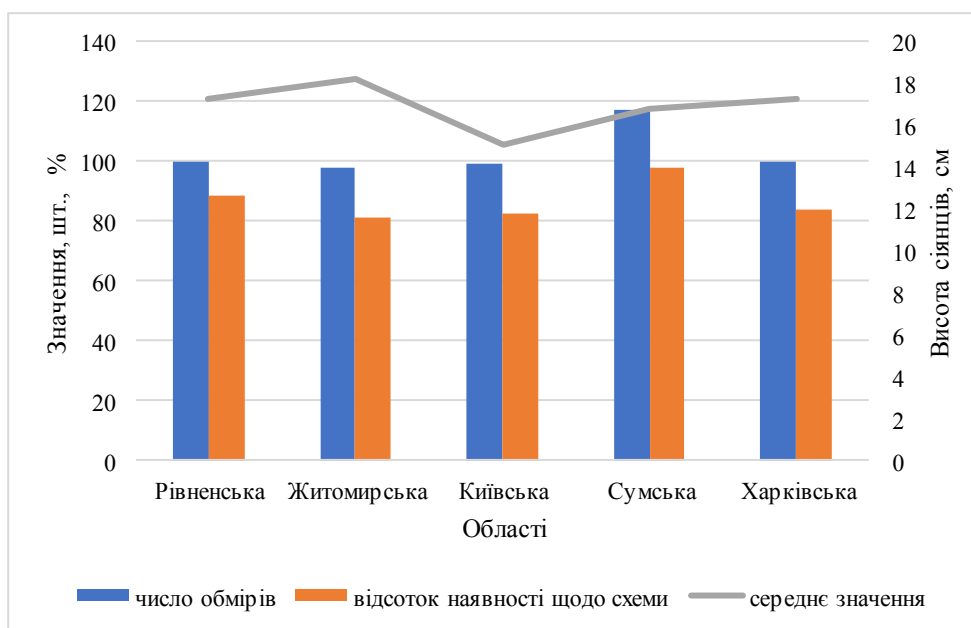


Рис. 7. Результати обмірів висаджених сіянців після осінньої інвентаризації
Fig. 7. Results of measurements of planted seedlings after the autumn inventory

Дискусія (Discussion).

Генетико-селекційні роботи у лісових фітоценозах України відбувалися за такими пріоритетними напрямками досліджень: географічним; фенотиповим; генетико-популяційним; морфолого-фізіологічним (Криницький та ін., 2022). На основі традиційних способів ідентифікації генотипів деревних рослин (морфолого-анатомічних, фізіологічних і біохімічних) у цих напрямках досягнуті вагомі теоретичні і практичні результати щодо створення та подальшого дослідження випробних і географічних культур (Патлай, 1965; Молотков та ін., 1989; Патлай, Молотков, 1997; Дебринюк та ін., 1998; Білоус, 2003; Яцик, 2006; Мажула та ін., 2008; Мажула, 2009; Митроченко, 2009; Яцик та ін., 2012; Krynytskyi et al., 2017; Лось та ін., 2017, 2019; Дишко, Торосова, 2018; Nayda et al., 2019; Терещенко, Дишко, 2019; Криницький та ін., 2021, 2023). Ці напрями потребують постійного оновлення даних обмірів та їхнього аналізу, моніторингу існуючих та новостворених об'єктів. В умовах адаптації лісового господарства до кліматичних змін актуальним є комплексне поєднання геогра-

фічних і випробних культур, створення нових дослідних об'єктів такого типу та вдосконалення методичних підходів до їх закладання. За таких підходів виокремлюють два базові напрями випробувань: оцінювання передачі спадкових властивостей у визначених умовах та оцінювання росту в різних еколого-географічних умовах. Рекомендації зі створення відповідних об'єктів опрацьовано за джерелами Молотков та ін. (1993), Патлай (1965), Патлай, Молотков (1997), Білоус (2003), Журова (2007), Лось та ін. (2017, 2019) та відомчими матеріалами у випадку створеного випробних культур на території Боярської ЛДС (Блиств та ін., 2025).

Випробні культури повинні слугувати об'єктом для отримання елітного та сортового матеріалу, отримання категорії лісового репродуктивного матеріалу "протестований" відповідно до Council Directive 1999/105/EC. Географічні ж культури покликані достовірно засвідчити міжпопуляційну різницю для встановлення меж насінних зон (лісонасінного районування) чи регіонів походження для поширення лісового репродуктивного матеріалу. Для останніх також

запропоновано варіанти встановлення меж місцевих популяцій лісотвірних деревних видів на основі геоботанічного районування (Данчук та ін., 2024), які виявлятимуть високу стійкість до негативної дії стресових чинників довкілля.

Відомо, що насіння для створення еколого-географічних (еколого-популяційних) культур заготовляють в декількох типах лісу випробовуваного кліматипу (випробовуваних популяцій в межах лісонасінного району); насіння для сортовипробовування заготовляють з кандидатів у сорти і можуть випробовувати у різних еколого-географічних умовах (Білоус, 2003; Яцик та ін., 2012). Результати вивчення випробних культур об'єктів ПЛНБ різного географічного походження також можуть використовуватися для уточнення лісонасінного районування та перспективи отримання районованих сортів-популяцій (Дебринюк та ін., 1998; Гайда, 2014а; Krynytskyu et al., 2017). З переходом до європейської практики використання у відтворенні лісів лісового репродуктивного матеріалу, виникатимуть окремі дискусійні питання щодо відповідності понять селекційних категорій лісового насіння та категорій лісового репродуктивного матеріалу і відповідно до них – критеріїв атестації об'єктів ПЛНБ та визнання лісового базового матеріалу. Напрямок використання випробних культур охоплює як сортовипробовування з метою отримання сортового насіння, так і оцінювання лісового репродуктивного матеріалу категорії «протестований». Залучення до випробувань потомства, що репрезентує генетичне різноманіття популяцій, або потомства цінного генофонду має визначатися пріоритетами відповідних селекційних програм.

Отже, насіння з об'єктів ПЛНБ апіорі вже належить до поліпшеного, оскільки отримане безпосередньо або опосередковано від потомства кращих дерев локальних популяцій певного регіону. Цей аспект забезпечує вищу вихідну генетичну якість і, відповідно, високу лісівничо-селекційну цінність отриманого репродуктивного матеріалу. Логічно, що такі дерева вже є адаптованими до умов місцезростання, але потребують випробувань за потомством на продуктивність та якість у різних умовах. Дерев, які успішно пройшли таке випробування залучають до створення ЛНП вищого рівня, проте постає питання кількісного представництва клонів в плантаціях (Bilous, 2003) з метою збереження потомством адаптивних функцій. У Латвії, Фінляндії та деяких інших країнах вже багато років користуються покращеним насінням з лісонасінних плантацій II генерації (покоління), проте його характеристики щодо збереження генетичного різноманіття чи адаптивної спро-

можності до змін навколишнього середовища відсутні. Щодо географічних культур, де використовують загальний (популяційний) збір із забезпеченням генетичного різноманіття, такі висновки відомі (Білоус, 2003; Гайда, 2014).

У нашому випадку, на початковій стадії випробувань можна підтвердити кращі результати росту сінців за висотою для покращеного насіння у порівнянні з нормальним, проте це є загально прийнятою нормою у лісовому насінництві. Результати досліджень щодо ймовірності додаткового впливу у польових умовах критичної дії кліматичних чинників (наприклад, сильних посух) впродовж першого року вирощування іншими дослідниками не фіксувалися, оскільки тут провідну роль відіграють чинники своєчасних доглядів та забезпечення нормативної приживлюваності.

Вирішення проблеми ослаблення чи фрагментування локальних популяцій підсиленням їх генетичного різноманіття через внесення додаткової спадкової інформації з синтетичних локальних популяцій – один із потенційних напрямів, який визначає комбінацію підходів до створення географічних і випробних культур (Quegwer et al., 2024; Li et al., 2024), проте також потребує застосування окремої методики за регіонами поширення сосни звичайної в Україні. Нами у процесі створення таких комбінованих випробних культур потомств ЛНП і ПЛНД плантаційного типу різного географічного походження розглянуто такі можливості. В експерименті в межах Боярської ЛДС подальшими дослідженнями, у зв'язку з глобальною зміною клімату, доцільно оцінити адаптивну здатність сосни звичайної та її синтетичних міні-популяцій до нових умов середовища, визначити допустимі межі переміщення репродуктивного матеріалу, встановити найкращі популяції для вирощування їх потомства у конкретних регіонах (Johansson et al., 2013). За результатами досліджень, перенесення насіння на південь може призвести до погіршення показників росту, тоді як перенесення на північ часто сприяє інтенсифікації ростових процесів (König, 2005; Liesebach et al., 2001). Перенесення рослинного матеріалу на північ корегує весняний ріст, зменшуючи ризик пошкодження приморозками пізньої весни та раннього літа, продовжуючи ріст до осені.

Окрім того, позитивну тенденцію спостережено під час перенесення насіння зі сходу на захід, оскільки ареали лісових деревних видів змінюються саме зі сходу на захід та з півдня на північ. Варто зазначити, що це питання також дискусійне і потребує досліджень у конкретних умовах з конкретним представництвом селекційної категорії лісового насіння. Тому,

мотивами цього довготривалого експерименту в Україні також є перевірка цих гіпотез в умовах південної частини Київського Полісся. Планується простежити переміщення насіння харківського та сумського походжень зі сходу на захід, одночасно випробувавши об'єкти, що охоплюють ширший географічний діапазон природного поширення сосни звичайної – від Житомирської та Рівненської областей на північному заході до східних регіонів України. Крім того, передбачається оцінити ріст потомства північнішого походження в умовах Київської області.

За завданням Держлісагентства, галузеві наукові установи нині здійснюють підготовку показників розвитку лісового насінництва до 2035 року. У цьому контексті включення до них заходів зі створення випробних культур має важливе лісівниче значення (Блистів та ін., 2025). Обґрунтовуючи як методичними аспектами сортовипробування, так і потребами тестування базового лісового матеріалу включно з передачею його екоадаптаційної складової потомству, можна запропонувати створення мережі випробних культур на основі забезпечення відповідного наукового супроводу.

Приклад акцентування результатів такого підходу викладено у роботі (Терещенко, Дишко, 2019), де оцінено результати випробувань потомства ЛНП сосни звичайної, які отримано в умовах наближеної південної межі Лісостепу (Зміївське надлісництво) та можливі до порівняння результати з подібним випробуванням значно північніше – у Гутянському надлісництві.

Дослідженнями (Мажула, 2009) підтверджено, що у 20-річному віці найнижчі показники за комплексною оцінкою в сортовипробних культурах мають потомства походжень із Волинської та Рівненської областей. З огляду на це, під час створення лісових насінних плантацій, що належатимуть до об'єктів базового лісового матеріалу для отримання лісового репродуктивного матеріалу категорії «кваліфікований», доцільно враховувати не лише їх цільове господарське призначення та результати районування сортів, а й принципи регіоналізації, які для цієї категорії матеріалу не регламентуються положеннями Директиви 1999/105/ЄС.

Отже, у зв'язку з прогнозованими змінами клімату та акцентуванні уваги на використанні сортів у лісовому господарстві, у науковому середовищі підтримується ідея використовувати насіння з об'єктів постійної лісонасінної бази, як селекційно покращеного і такого, що має цінні генетичні властивості для урівноваження критичного стану маргінальних частин місцевих попу-

ляцій (Патлай, Молотков, 1997; Терещенко, Дишко, 2019; Лось та ін., 2017, 2019). Цей напрям називають екоадаптивним до зміни клімату, основні ідеї якого висвітлено у низці робіт (Kremer et al., 2012; Lefèvre et al., 2014; Bozzano et al., 2014 та ін.). Такий підхід забезпечує підвищення ймовірності формування нових генетичних комбінацій, що є характерним для синтетичних міні-популяцій, сприяє поширенню найбільш адаптованих генотипів, виявлених за результатами випробувань, а також збереженню генетичного різноманіття завдяки цільовому підсиленню локальних популяцій в умовах зростаючого стресового навантаження.

Висновки (Conclusions).

1. Пропозиція до випробування адаптивних можливостей синтетичних міні популяцій сосни звичайної в умовах змін клімату має багатофакторний характер. Перевірка висунутих гіпотез у довготривалих польових експериментах дасть змогу оцінити перспективи використання таких популяцій для зменшення негативних наслідків скорочення поширення сосни звичайної в зоні Лісостепу та підвищення адаптивного потенціалу її місцевих популяцій у південній частині Полісся.

2. Територіальний діапазон представництва (більше сімсот кілометрів вздовж південної межі Полісся з Лісостепом) дає вагому підставу очікувати результативність випробувань різних провенієнцій щодо вироблення адаптивних якостей до критичної дії кліматичних чинників.

3. Попередні результати обстеження створених випробних культур підтверджують цінність покращеного лісового насіння, яка забезпечує кращі показники початкового росту потомства та є важливою передумовою формування високопродуктивних і біотично стійких деревостанів.

4. Аналіз результатів сортовипробування сосни звичайної в Україні свідчить, що в окремих випадках географічне походження насіння має більший вплив на ріст потомства, ніж його селекційна категорія. Цей аспект необхідно враховувати під час розроблення нормативно-правових документів щодо регіоналізації використання лісового репродуктивного матеріалу в процесі гармонізації національного законодавства з європейськими вимогами.

5. Результати досліджень випробних культур, створених на основі об'єктів ПЛНБ різного географічного походження, доцільно надалі аналізувати у взаємозв'язку з даними моніторингу їхнього стану та репродуктивної здатності, а також стану плюсових дерев, клони яких формують їхній генофонд. Такий дослідний

об'єкт становить значний інтерес для комплексних еколісівничих і селекційних досліджень, потребує поглибленого оцінювання варіантів різного походження, постійного моніторингу та систематичного наукового супроводу.

Список літератури (References)

- Anderegg, W. R. L., Martinez-Vilalta, J., Cailleret, M., Camarero, J. J., Ewers, B. E., Galbraith, D., ... Trotsiuk, V. (2016). When a tree dies in the forest: scaling climate-induced tree mortality to ecosystem water and carbon fluxes. *Ecosystems*, 19, 1133–1147. <https://doi.org/10.1007/s10021-016-9982-1>
- Bajc, M., Aravanopoulos, F., Westergren, M., Fussi, B., Kavaliauskas, D., Alizoti, P., Kiourtsis, F. & Kragher, H. (2020). Manual for forest genetic monitoring. Slovenian Forestry Institute, *Silva Slovenica Publishing Centre*. <https://doi.org/10.20315/SFS.167>
- Bilous, V. (2003). *Forest breeding*. Uman. [Білоус, В. І. (2003). *Лісова селекція*. Умань. 534 с.] (in Ukrainian)
- Blystiv, V. I., Nevmerzhytskyi, O. M., & Kuklyshyn, V. O. (2025). Priorities for planning and regulation of forest seed production. In *Main tasks of forest science for implementing close-to-nature forestry in the mountain forests of the Ukrainian Carpathians: Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* (pp. 149–154). Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry. <https://doi.org/10.32718/zbirnyk-ukrndigirlis-1>. [Блистів, В. І., Невмержицький, О. М., Куклишин, В. О. (2025). Пріоритети планування та вноормування лісового насадництва. *Основні завдання лісівничої науки щодо ведення лісового господарства на засадах наближеного до природи лісівництва в гірських лісах Українських Карпат*: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ: УкрНДІгірліс, 149–154] (in Ukrainian)
- Blystiv, V. I., Yurkiv, Z. M., Neiko, I. S., & Matusiak, M. V. (2021). Practical aspects of improving forest seed zoning. *Agriculture and Forestry*, 21, 140–157. <https://doi.org/10.37128/2707-5826-2022-4-13> [Блистів, В. І., Юрків, З. М., Нейко, І. С., Матусяк, М. В. (2021). Практичні аспекти удосконалення лісонасінного районування. *Сільське господарство та лісівництво*, 21, 140–157] (in Ukrainian)
- Bozzano, M., Jalonen, R., Thomas, E., Boshier, D., Gallo, L., Cavers, S., ... Loo, J. (2014). Genetic considerations in ecosystem restoration using native tree species. *State of the World's Forest Genetic Resources – Thematic Study*. FAO/Bioversity International 281 p. ISBN 978-92-5-108469-4. <https://cgspace.cgiar.org/items/17dc2d09-546c-423f-a259-db418ab70cf6>
- Buksha, I., Pyvovar, T., Bondaruk, M., Pasternak, V., & Krakovska, S. (2023). Vulnerability assessment of Ukrainian forests as the basis of nature-based solutions for mitigation and adaptation to climate change. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 138–145. <https://doi.org/10.15421/412311>
- Buksha, I., Bondaruk, M., Tselyshchev, O., Pyvovar, T., Buksha, M., & Pasternak, V. (2017). Vitality forecasting for Scots Pine and English Oak in condition of climate change in the lowland of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 130, 146–158. <https://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0000827863> [Букша І. Ф., Бондарук М. А., Целищев О. Г., Пивовар Т. С., Букша М. І., Пастернак В. П. (2017). Прогноз життєздатності сосни звичайної і дуба звичайного у разі зміни клімату в рівнинній частині України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 130, 146–158] (in Ukrainian)
- 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, Article 1986. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01986>
- Chakraborty, D., Móricz, N., Rasztovits, E., Dobor, L. & Schueler, S. (2021). Provisioning forest and conservation science with high-resolution maps of potential distribution of major European tree species under climate change. *Annals of Forest Science*, 78(2), 26. <https://doi.org/10.1007/s13595-021-01029-4>
- Council Directive 1999/105/EC of 22 December “On the marketing of forest reproductive material”. Draft Law of Ukraine No. 9116 “On forest reproductive resources”. <https://ucfb.info/informacija/publicna-informacija.html> [Директива 1999/105/ЄС «Про маркетинг лісового репродуктивного матеріалу» від 22 грудня 1999 року. Проект ЗУ № 9116 “Про лісові репродуктивні ресурси”]. (in Ukrainian)

- Davydenko, K., Vasaitis, R., Elfstrand, M., Baturkin, D., Meshkova, V., & Menkis, A. (2021). Fungal communities vectored by *Ips sexdentatus* in declining *Pinus sylvestris* in Ukraine: focus on occurrence and pathogenicity of ophiostomatoid species. *Insects*, 12(12), article number 1119. <https://doi.org/10.3390/insects12121119>.
- Danchuk, O., Blystiv, V., Yurkiv, Z., & Vovchanskyi, V. (2024). Forestry features of regionalization of forest reproductive material. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 26, 89–101. <https://doi.org/10.15421/412406> [Данчук, О., Блистів, В., Юрків, З., Вовчанський, В. (2024). Лісівничі особливості регіоналізації лісового репродуктивного матеріалу. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 26, 89–101]. (in Ukrainian)
- Debrynyuk, Yu., Kalinin, M., Guz, M., & Shablii, I. (1998). *Forest seed production*. Lviv: Svit. [Дебринюк, Ю. М., Калінін, М. І., Гузь, М. М., Шаблій І. В. (1998). *Лісове насінництво*. Львів: Світ. 432 с.] (in Ukrainian)
- Dyshko, V., & Torosova, L. (2018). A comprehensive assessment of candidates to synthetic variety-populations in the Scots pine variety tests in Gutyanske Forest Enterprise. *Forestry and Forest Melioration*, 132, 57–65. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.57> [Дишко, В. А., Торосова, Л. О. (2018). Комплексне оцінювання кандидатів у синтетичні сорти-популяції в сортовипробних культурах сосни звичайної в ДП «Гутянське лісове господарство». *Лісівництво і агролісомеліорація*, 132, 57–65] (in Ukrainian)
- Dickie, I. A., Bennett, B. M., Burrows, L. E., Nuñez, M. A., Peltzer, D. A., Porté, A., ... van Wilgen, B. W. (2014). Conflicting values: Ecosystem services and invasive tree management. *Biological Invasions*, 16(3), 705–719. <https://doi.org/10.1007/s10530-013-0609-6>
- Frischbier, N., Nikolova, P. S., Brang, P., Klumpp, R., Aas, G., & Binder, F. (2019). Climate change adaptation with non-native tree species in Central European forests: Early tree survival in a multi-site field trial. *European Journal of Forest Research*, 138(6), 1015–1032. <https://doi.org/10.1007/s10342-019-01213-2>
- Fuchylo, Ya., Onyskiv, M., & Sbytina, M. (2006). *Biological and technological foundations of plantation forestry*. Kyiv: National Research Center “Institute of Agrarian Economy”. 394 p. [Фуцило, Я. Д., Ониськів, М. І., Сбитна, М. В. (2006). *Біологічні та технологічні основи плантаційного лісовирощування*. Київ: ННЦ ІАЕ. 394 с.] (in Ukrainian)
- Fuchylo, Ya., Hayda, Yu., Ivanyuk, I., Mazhula, O., & Ivaniuk, T. (2023). Provenance tests of *Pinus sylvestris* L.: Estimation at the age of the half-rotation period. *Scientific Horizons*, 26(7), 34–44. <https://doi.org/10.48077/scihor7.2023.34>
- Gülcü, S., & Bilir, N. (2017). Growth and survival variation among scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances. *International Journal of Genomics*, 2017, article number 1904623. <https://doi.org/10.1155/2017/1904623>
- Haida, Yu. (2014). Geographical cultures as a tool for studying the response of forest tree species to climate change. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(9), 8–14. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_9/index.htm [Гайда, Ю. І. (2014). Географічні культури як інструмент вивчення реакції лісових деревних видів на зміни клімату. *Науковий вісник НЛТУ України* 24(9), 8–14] (in Ukrainian)
- Hayda, Yu. (2014a). Plus Trees of Pedunculate Oak and Sessile Oak as Objects of Conservation of Genetic Resources *in Situ*. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24(11), 20–26. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_11/index.htm [Гайда, Ю. І. (2014a). Плюсові дерева дуба звичайного та скельного як об'єкти збереження генетичних ресурсів *in Situ*. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(11), 20–26] (in Ukrainian)
- 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. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0028>
- Hayda, Y., Los, S., Tereshchenko, L., Shlonchak, H., & Mytrochenko, V. (2025). Forest tree breeding based on individual selection in Ukraine: quo vadimus? *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 28, 136–148. <https://doi.org/10.15421/412511> [Гайда, Ю. І., Лось, С. А., Терещенко, Л. І., Шлончак, Г. А., Митроченко, В. В. (2025). Лісова селекція на основі індивідуального відбору в Україні: quo vadimus? *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 28, 136–148] (in Ukrainian)
- Jimenez-Ramirez, A., Grivet, D., & Robledo-Arnuncio, J. J. (2021). Measuring recent effective gene flow among large populations in *Pinus sylvestris*: Local pollen shedding does not

- preclude substantial long-distance pollen immigration. *PLoS ONE*, 16(8), e0255776. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0255776>
- Johansson, K., Ring, E., & Högbom, L. (2013). Effects of pre-harvest fertilization and subsequent soil scarification on the growth of planted *Pinus sylvestris* seedlings and ground vegetation after clear-felling. *Silva Fennica*, 47(4), article 1016. <https://doi.org/10.14214/sf.1016>.
- Kovaleva, V., Yusipovich, Y., Shalovilo, Y., Grunyk, N., & Gut, R. (2018). Differentiation of pine genotypes by polymorphism of the length of introns of defensin genes. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28(8), 40–44. <https://doi.org/10.15421/40280808>. [Ковальова, В., Юсипович, Ю., Шаловило, Ю., Груник, Н., Гут, Р. (2018). Диференціація генотипів сосни звичайної за поліморфізмом довжини інтронів генів дефензинів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28(8), 40–44] (in Ukrainian)
- König, A. O. (2005). Provenance research: Evaluating the spatial pattern of genetic variation. In T. Geburek & J. Turok (Eds.), *Conservation and management of forest genetic resources in Europe* (pp. 275–333). Arbora Publishers.
- Kremer, A., Ronce, O., Robledo-Arnuncio, J. J., Guillaume, F., Bohrer, G., Nathan, R., ... Schueler, S. (2012). Long-distance gene flow and adaptation of forest trees to rapid climate change. *Ecology Letters*, 15, 378–392. <https://doi.org/10.1111/j.1461-0248.2012.01746.x>
- Krynytsky, G., Gut, R., Kovaleva, V., & Hrunyk, N. (2022). Research on the genetic diversity of the species composition of forest stands. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 24, 11–23. <https://doi.org/10.15421/412201> [Криницький, Г. Т., Гут, Р. Т., Ковальова, В. А., Гриник, Н. І. (2022). Дослідження генетичного різноманіття видового складу лісових деревостанів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 24, 11–23] (in Ukrainian)
- Krynytsky, H., Skolsky, I., Krynytska, O., Lutsiv, N., & Yakhnytsky, V. (2021). Biotic stability of Scots pine growing in stands on fairly fertile soil types of the Lviv Roztochya. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 50–57. <https://doi.org/10.15421/412126> [Криницький, Г. Т., Скольський, І. М., Криницька, О. Г., Луців, Н. Г., Яхницький, В. Й. (2021). Біотична стійкість *Pinus sylvestris* L. у сугрудових лісостанах Львівського Розточчя. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 23, 50–57] (in Ukrainian)
- Krynytsky, H., Korol, M., Lavnyy, V., Kovaleva, V., Kramarets, V., Krynytska, O., & Mahuran, V. (2023). Forestry and ecological features of distribution and improvement of biotic stability of pine forests in the conditions of Lviv region. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 87–97. <https://doi.org/10.15421/412306> [Криницький, Г. Т., Король, М. М., Лавний, В. В., Ковальова, В. А., Крамарець, В. В., Криницька, О. Г., Магуран, В. К. (2023). Лісівничо-екологічні особливості поширення та підвищення біотичної стійкості соснових лісостанів в умовах Львівського регіону. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 87–97] (in Ukrainian)
- Krynytsky, G., Hayda, Y., Yatsyk, R., Parpan, V., & Los, S. (2017). Concept for the conservation and sustainable use of forest genetic resources in Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(8), 37–44. <https://doi.org/10.15421/40270805>
- Lefèvre, F., Boivin, T., Bontemps, A., Courbet, F., Davi, H., Durand-Gillmann, M., ... Pichot, C. (2014). Considering evolutionary processes in adaptive forestry. *Annals of Forest Science*, 71, 723–739. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0272-1>
- Li, B., & Mckeand, S. (2024) Orchards evolution from traditional Seed production to advanced gains and breeding base. Seed Orchards Conference 20-24 May 2024, Brasov, Romania. https://60f00f7e-c173-476d-8b41-a427f5ebe3b5.filesusr.com/ugd/6600dd_ab4ea35fbd04076ba0780cdb9aa7637.pdf
- Liesebach, M. (2001). Genetic variation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) provenances in international provenance trials. In *Proceedings of the IUFRO Symposium "Scots Pine Breeding and Genetics"* (Kaunas, Lithuania). Lithuanian Forest Research Institute.
- Los, S., Tereshchenko, L., Hayda, Yu., Shlonchak, G., Mitrochenko, V., Shlonchak, G., ... Danchuk, O. (2017). *Guidelines for forest seed production*. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration. http://ucfb.info/fileadmin/user_upload/%D0%9D%D0%B0%D1%81%D1%82%D0%B0%D0%BD%D0%BE%D0%B2%D0%B8.pdf [Лось, С. А., Терещенко, Л. І., Гайда, Ю. І., Шлончак, Г. А., Митроченко, В. В., Шлончак, Г. В., ... Данчук, О. Т. (2017).

- Настанови з лісового насінництва. Харків: УкрНДІЛГА] (in Ukrainian)
- Los, S., Tereshchenko, L., Torosova, L., Hayda, Yu., Vysotskaya, N., Yatsyk, R., ... Dishko, V. (2019). *Methods of varietal testing of forest trees. Departmental testing*. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration. [Лось, С. А., Терещенко, Л. І., Торосова, Л. О., Гайда, Ю. І., Висоцька, Н. Ю., Яцик, Р. М., ... Дишко В. А. (2019). *Методика сортівипробування лісових деревних порід. Відомче випробування*. Харків: УкрНДІЛГА. 32 с.] (in Ukrainian)
- Lovynska, V., Terentiev, A., Lakyda, P., Sytnyk, S., Bala, O., & Gritsan, Yu. (2021). Comparison of Scots pine growth dynamics in Polissya and Steppe zone of Ukraine. *Journal of Forest Science*, 67(11), 533–543. <https://doi.org/10.17221/93/2021-JFS>
- Matisons, R., Schneck, V., Jansone, D., Bāders, E., Dubra, S., Zeltiņš, P., & Jansons, Ā. (2021). South-Eastern baltic provenances of scots pine show heritable weather-growth relationships. *Forests*, 12(8), article number 1101. <https://doi.org/10.3390/f12081101>
- Mazhula, O. (2009). Progeny testing of artificial varieties-populations of Scotch pine. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 19(11), 17–20. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_11/index.htm [Мажула, О. С. (2009). Випробні культури штучних сортів-популяцій сосни звичайної. *Науковий вісник НЛТУ України*, 19(11), 17–20] (in Ukrainian)
- Mazhula, O., Shlonchak, G., Mytrochenko, V., Tereshchenko, L., & Shlonchak, A. (2008). *Recommendations for the creation and operation of seed plantations of Scots pine (Pinus sylvestris L.) of the first and second orders*. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration. https://ucfb.info/fileadmin/user_upload/REKOMENDACII.pdf [Мажула, О. С., Шлончак, Г. А., Митроченко, В. В., Терещенко, Л. І., Шлончак, А. В. *Рекомендації зі створення та експлуатації насінних плантацій сосни звичайної (Pinus sylvestris L.) першого та другого порядків*. Харків: УкрНДІЛГА. 16 с.] (in Ukrainian)
- Mitrochenko, V. (2009). Regional principle of using genetically improved seeds of Scots pine. *Forestry and Forest Melioration*, 115, 59–64. [Митроченко, В. В. (2009). Регіональний принцип використання генетично покращеного насіння сосни звичайної. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 115, 59–64] (in Ukrainian)
- Mitrochenko, V., Shlonchak, G., & Shlonchak, G. (2010). Comparative analysis of the growth of progenies of selected Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plus trees from the Kharkiv and Kyiv regions with and without reproductive abnormalities. In *Forestry science: origins, modernity, perspectives: proceedings of International Scientific and practical Conference*, 124–125. Kharkiv: October 12-14. Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration [Митроченко, В. В., Шлончак, Г. А., Шлончак, Г. В. (2010). Порівняльний аналіз росту потомств плюсових дерев сосни звичайної Харківської та Київської областей з порушеннями та відсутністю таких у генеративній сфері. *Наук. конф., присвячена 80-річчю від дня заснування УкрНДІЛГА*, м. Харків, 12–14 жовтня 2010 р. Харків: УкрНДІЛГА, 124–125] (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/>
- Molotkov, P., Patlai, I., & Davydova, N. (1989). *Seed production of forest species*. Kyiv: Urozhay. [Молотков, П. І., Патлай, І. М., Давидова, Н. І. *Насінництво лісових порід*. Київ: Урожай. 232 с.] (in Ukrainian)
- Molotkov, P., Patlai, I., Davydova, N., Shvadchak, I., Gaida, Yu., ... Los, S. (1993). *Guidelines for forest seed production*. Kharkiv: the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute for Forestry and Forest Melioration [Молотков, П. І., Патлай, І. М., Давидова, Н. І., Швадчак, І. М., Гайда, Ю. І., ... Лось, С. А. (1993). *Настанови з лісового насінництва*. Харків: УкрНДІЛГА] (in Ukrainian)
- Neyko, I., Kolchanova, O., Monarkh, V., & Poznyakova, S. (2020). Seed productivity and variability of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clones of Finnish origin in seed orchard in the central part of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*, 62(1), 1–12. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0001>
- Official website of the Ukrainian State Project Forest Management Industrial Association “Ukrderzhlisproekt”. [Державне об’єднання «Укрдержліспроєкт»] (n.d.). Retrieved from <https://www.lisproekt.gov.ua/> (in Ukrainian)
- Official website of the Ukrainian Forest Breeding Center “UkrLSC” (n.d.). [Державна організація «Український лісовий селекційний центр»] Retrieved from

- <https://ucfb.info/dijalnist/nasha-dijalnist.html>
(in Ukrainian)
- Palamarchuk, V., & Shedemenko, I. (2021). Statistical evaluation of temporal changes in annual precipitation in the plain territory of Ukraine. *Article in Physical Geography and Geomorphology*, 3-4(101-102), 7-18. <https://doi.org/10.17721/phgg.2020.3-4.01> [Паламарчук, Л., Шедеменко, І. (2021). Статистична оцінка часових змін річних сум опадів рівнинної території України. *Фізична географія та геоморфологія*, 3-4(101-102), 7–18] (in Ukrainian)
- Patlai, I. (1965) The influence of the geographical origin of seeds on the growth and stability of pine in the cultures of the northern left-bank part of the Ukrainian SSR: Abstract doctoral dissertation, Ukrainian Agricultural Academy, Kyiv, Ukraine. [Патлай, І. М. (1965). *Вплив географічного походження насіння на ріст і стійкість сосни в культурах північної частини лівобережжя УРСР*: дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.01. Київ: Українська сільськогосподарська академія] (in Ukrainian)
- Patlai, I., & Molotkov, P. (1997). *Methods of varietal testing of forest trees. Departmental testing*. Kyiv: Urozhai. [Патлай, І. М., Молотков, П. І. (1997). *Методика сортовипробування лісових деревних рослин*. Київ: Урожай. 28 с.] (in Ukrainian)
- Protas, T., Melnyk, O., & Blystiv, V. (2025) Creation of experimental cultures of Scots pine seed objects (*Pinus sylvestris* L.) in the conditions of the southern part of Kyiv Polissya. In *Sustainable forestry management in the conditions of climate change: from research to practice: Proceedings of the international Scientific and practical Conference to the 100th anniversary of the Boyarka FRS*, 231–235. Boyarka: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine [Протас, Т. І., Мельник, О. М., Блистів, В. І. (2025). Створення випробних культур насінних об'єктів сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) в умовах південної частини Київського Полісся. *Стале ведення лісового господарства в умовах кліматичних змін: від досліджень до практики: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. до 100-річчя Боярської ЛДС*. Боярка: НУБІП України, 231–235] (in Ukrainian)
- Protas, T., Krol, A., & Blystiv, V. (2025a). Creation of experimental cultures of Scots pine from seed objects in the conditions of the south of Kyiv Polissya. In *Actual problems of research of forest and urban ecosystems of Ukraine under martial law: Abstracts of reports of participants of the III International Scientific and practical Conference*, 109–110. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. [Протас, Т. І., Кроль, А. В., Блистів, В. І. (2025a). Створення випробних культур сосни звичайної з насінних об'єктів в умовах півдня Київського Полісся. *Актуальні проблеми дослідження лісових та урбоєкосистем України в умовах воєнного стану: матеріали доповідей III Міжнарод. наук.-практ. конф.* Київ: НУБІП України, 109–110] (in Ukrainian)
- Quegwer, J., Merbitz, L., Tröber, U., & Meyer, M. (2024, May 20–24). Challenges for a seed orchard programme towards seed availability for future forest composition in Saxony, Germany. In *Book of Abstracts: Seed Orchards Conference 2024*. Braşov, Romania. <https://seedorchards2024.wixsite.com/conference/book-of-abstracts>
- Savolainen, O., Bokma, F., Garcia-Gil, R., Komulainen, P., & Repo, T. (2004). Genetic variation in cessation of growth and frost hardiness and consequences for adaptation of *Pinus sylvestris* to climatic changes. *Forest Ecology and Management*, 197(1-3), 79-89. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.05.006>
- Sbytna, M., & Fuchylo, Ya. (2010). *Genetic potential of Scots pine populations and its use to increase the productivity of forests plantations in Kyiv Polissya*. Kyiv: Logos. [Сбитна, М. В., Фучило, Я. Д. (2010). *Генетичний потенціал популяцій сосни звичайної та його використання для підвищення продуктивності лісових насаджень Київського Полісся*. Київ: Логос. 240 с.] (in Ukrainian)
- Shvidenko, A., Buksha, I., & Krakovska, S. (2018). *Vulnerability of ukrainian forests to climate change*. Kyiv: Nika-centr. [Швиденко, А. З, Букша, І. Ф., Краковська, С. В. (2018). *Уразливість лісів України до зміни клімату*. Київ: Ніка-центр. 128 с.] (in Ukrainian)
- Shlonchak, G., & Lavreniuk, O. (2025). Genetic and breeding potential of the NUBiPU of Ukraine "Boyarsk Forest Research Station". In *Sustainable forestry management in the conditions of climate change: from research to practice: Proceedings of the international Scientific and practical Conference to the 100th anniversary of the Boyarka FRS*, 346–349. Boyarka: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. [Шлончак, Г. А., Лавренюк, О. А. (2025). Генетико-селекційний потенціал ВП «Боярська лісова дослідна станція». *Стале ведення лісового*

- господарства в умовах кліматичних змін: від досліджень до практики: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. до 100-річчя Боярської ЛДС. Боярка: НУБІП України, 346–349] (in Ukrainian)
- Tereshchenko, L., & Dyshko, V. (2019). Results of 20-year tests of candidates for synthetic varieties-populations of Scots pine in the conditions of the State Enterprise "Zmiyivskiy lishosp" in the Kharkiv region. *Forestry and Forest Melioration*, 134, 33–42. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.33> [Терещенко, Л. І., Дишко, В. А. (2019). Результати 20-річних випробувань кандидатів у сорти-популяції синтетичні сосни звичайної в умовах ДП «Зміївський лісгосп» на Харківщині. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 134, 33–42] (in Ukrainian)
- Tereshchenko, L., Los, S., Vysotska, N., Grigorieva, V., Kolchanova, O., Plotnikova, O., ... Kokhany, S. (2014). *New objects of preservation of valuable gene pool and study of features of inheritance of economically valuable traits of forest species*. Kharkiv: the G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute for Forestry and Forest Melioration. [Терещенко, Л. І., Лось, С. А., Висоцька, Н. Ю., Григор'єва, В. Г., Колчанова, О. Ю., Плотнікова, О. М., ... Коханий, С. Г. (2014). *Нові об'єкти збереження цінного генофонду та вивчення особливостей успадкування господарчо-цінних ознак лісових порід*. Харків: УкрНДЛПА. 32 с.] (in Ukrainian)
- Voitiuk, V., Andreieva, V., Kychyliuk, O., & Hetmanchuk, A. (2020). Application of growth traits and qualitative indices for selection of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) elite trees. A case study from Volyn region, Western Ukraine. *Folia Forestalia Polonica. Series A. Forestry*, 62(3), 199–209. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0019>
- Vysotska, N., Khromuliak, O., Borysenko, O., Rumiantsev M., Yashchuk, I., & Kipran, O. (2025). Comparing the effectiveness of random forest and generalized linear models in predicting ungulate browsing impact on Kyiv Polissya's young pine forests. *Folia Forestalia Polonica, Series A. Forestry*, 67(1), 1–11. <https://doi.org/10.2478/ffp-2025-0001>
- Yatsyk, R. (2006). *Course of lectures on forest breeding*. Ivano-Frankivsk: Publishing House of Vasyl Stefanyk Precarpathian National University. [Яцик, Р. М. (2006). *Курс лекцій з лісової селекції*. Івано-Франківськ: Вид-во Прикарпатського національного ун-ту. 150 с.] (in Ukrainian)
- Yatsyk, R., Hayda, Yu., & Sluchyk, V. (2012). *Fundamentals of genetics and selection of forest plants*. Ternopil: Textbooks and manuals. [Яцик, Р. М., Гайда, Ю. І., Случик, В. М. (2012). *Основи генетики й селекції лісових рослин*. Тернопіль: Підручники і посібники. 288 с.] (in Ukrainian)
- Zhurova, P. (2007). The results of 25-year testing of Scots pine climatypes in the pine forests at the steppe boulder in the Ukraine. In *Forest typology in Ukraine: Current state, prospects for development: Proceedings of 11-th Pogrebnyak Readings*, 124–126). Kharkiv: the G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration [Журова, П. (2007). Результати 25-річних випробувань кліматипів сосни звичайної в соснових лісах на межі Степу в Україні. *Типологія лісів в Україні: сучасний стан, перспективи розвитку: матеріали 11-х Погребняківських читань*. Харків: УкрНДЛПА, 124–126] (in Ukrainian)

Assessment of Preliminary Results and Specific Features of Progeny Testing of *Pinus sylvestris* L. Seed Orchard and Seed Stand Progenies at the Southern Boundary of the Ukrainian Polissya

V. Blystiv¹, R. Vasylyshyn², I. Budzinsky³, T. Protas⁴, A. Krol⁵, O. Melnyk⁶

The establishment of new experimental sites for studying the hereditary characteristics of selected (plus) trees and populations under conditions requiring the adaptation of forestry to climate change is a highly relevant task for contemporary forest management. At the southern boundary of the Ukrainian Polissya, the adverse effects of climate change are already evident, and further forest regeneration activities in the region require the involvement of forest tree breeders and a reassessment of appropriate breeding approaches. The aim of this study was to evaluate the progeny performance of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forest reproductive material from the permanent forest seed base at an early age and to assess the potential of such regional progeny trials for forest tree breeding programmes.

The relevance of this research is further reinforced by the need to implement pan-European approaches aimed at enhancing the multifunctional role of forests in Ukraine. The study considers the use of the synergistic potential of progenies derived from synthetic local populations in combination with those of native populations to improve the resilience of future forests. The establishment of synthetic mini-populations based on progenies from seed orchards and permanent seed stands is proposed as one possible approach, alongside the adaptive evaluation of local Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) populations.

A similar approach has been successfully applied in field trials of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) population varieties established in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine and along its southern boundary. This approach also provides an opportunity to improve the procedure for verifying the compliance of forest reproductive material with the requirements for the "Tested" category under Council Directive 1999/105/EC of 22 December 1999 on the marketing of forest reproductive material, as well as under the corresponding EU Regulation that replaces this Directive.

The broad geographical range represented in the trials (covering more than 700 km along the southern boundary between the Ukrainian Polissya and the Forest-Steppe) provides a strong basis for evaluating the adaptive potential of different provenances in developing resilience to adverse climatic conditions.

Preliminary assessments of the established progeny trials confirm the value of genetically improved forest reproductive material, which promotes superior early growth performance of the progeny and provides an important foundation for the development of highly productive and resilient forest stands.

The results of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) variety trials in Ukraine indicate that, in some cases, the geographical origin (provenance) of the seed exerts a greater influence on progeny growth

¹ *Vasyl Blystiv* – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Director. State Organization "Ukrainian Forest Breeding Center" of the Ukrainian State Forestry Agency, 14 Lisodoslidna St., Boyarka, 08150, Kyiv region, Ukraine. E-mail: vasyblystiv1@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0801-7599>

² *Roman Vasylyshyn* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: rvasyls@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7268-8911>

³ *Ihor Budzinsky* – Head of the Department of Forestry and Forest Restoration. State Agency of Forest Resources of Ukraine, 6 Bolsunovska St., Kyiv, 01601, Ukraine. E-mail: i.budzinskyi@forest.gov.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0298-5494>

⁴ *Tetyana Protas* – Head of the Separate Subdivision «Donetsk Forest Seed Laboratory», Ukrainian Forest Breeding Center, 14 Lisodoslidna St., Boyarka, 08150, Kyiv region, Ukraine. E-mail: protasmail@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-6474-3315>

⁵ *Anatoly Krol* – PhD in Agricultural Sciences, Acting Director, Separate Subdivision of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine "Boyarka Forest Research Station", 12 Lisodoslidna St., Boyarka, Kyiv Region 08150, Ukraine. E-mail: kroltolya@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8701-2070>

⁶ *Oleksandr Melnyk* – PhD in Agricultural Sciences, Deputy Director for Research, Education and Innovation, Separate Subdivision "Boyarka Forest Research Station" of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 12 Lisodoslidna St., Boyarka, Kyiv Region 08150, Ukraine. E-mail: o_melnyk@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3967-4710>

than its breeding category. This aspect should be taken into account when developing regulatory frameworks for the regionalization of forest reproductive material use in the process of harmonizing national legislation with European requirements.

The results obtained from progeny trials established using forest reproductive material from permanent forest seed base objects of different geographical origins should be further analysed in conjunction with long-term monitoring data on the condition and reproductive performance of these

seed sources, as well as the condition of the plus trees whose clones constitute their genetic base. Such experimental material represents a valuable resource for integrated ecological, silvicultural, and forest tree breeding research. It requires a comprehensive evaluation of materials of different origins, continuous monitoring, and systematic scientific support.

Key words: seed orchards; population variety trials; forest reproductive material; regionalization of forest reproductive material; forest types; progeny trials.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412610>
Article received 2025.10.28
Article revised 2026.03.23
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Henyk
yarhenyk@gmail.com
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*272:582.4:712.2

Видовий склад і систематична структура дендрофлори парків малих міст західного регіону України

Я.В. Генік¹, Т.Я. Онисько², В.З. Шульга³, В.Я. Заячук⁴, Р.Б. Дудин⁵

Встановлено видовий склад дендрофлори паркових фітоценозів малих міст західного регіону України, який представлений 95 видами і формами деревних рослин із 59 родів, 28 родин та 22 порядків. За результатами досліджень, видове різноманіття дендрофлори старовинних історичних парків міст західного регіону України є значно багатшим порівняно з видовим різноманіттям новостворених паркових насаджень. У біоморфологічній структурі паркових рослинних угруповань малих міст переважають дерева – 83,2% (79 видів і форм), кущі складають 16,8% (16 видів) за повної відсутності ліан. У паркових насадженнях малих міст переважають деревні види рослин відділу Magnoliophyta – 80,0% видового біорізноманіття (76 видів і форм), а деревні рослини відділу Pinophyta складають лише 20,0% (19 видів і форм) видового різноманіття. Загалом у дендрофлорі паркових екосистем частка аборигенних деревних видів є децю вищою (52,6%) порівняно із часткою інтродукованих видів деревних рослин (47,4%). Аналіз розподілу загальної кількості деревних рослин у

¹ Генік Ярослав Вячеславович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор Інституту лісового і садово-паркового господарства. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: yarhenyk@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-6079-6827>

² Онисько Тарас Ярославович – аспірант кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекотології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: onysko1980@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0243-4617>. Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор Генік Ярослав Вячеславович

³ Шульга Володимир Зіновійович – аспірант кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекотології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: volodya.sh8@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6572-506X>. Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор Генік Ярослав Вячеславович

⁴ Заячук Василь Яремович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, 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: zayachuk_vsim@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0342-2482>

⁵ Дудин Роман Богданович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, завідувач кафедри ландшафтної архітектури, садово-паркового господарства та урбоекотології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: drb2008@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4539-7489>

паркових фітоценозах показав найбільше представництво таких видів: *Acer platanoides* L. (4,23%), *Picea abies* [L.] Karst. (4,26%) *Cornus alba* L. (4,30%) *Fraxinus excelsior* L. (5,23%), *Aesculus hippocastanum* L. (5,26%), *Thuja occidentalis* L. (6,57%), *Robinia pseudoacacia* L. (7,32%), *Carpinus betulus* L. (7,86%), *Tilia cordata* Mill. (8,13%), *Ligustrum vulgare* L. (8,67%) та *Malus sylvestris* (L.) Mill. (9,72% від загальної кількості всіх деревних рослин). У всіх досліджених паркових екосистемах малих міст трапляються *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Fraxinus excelsior* L., *Picea abies* [L.] Karst., *Prunus divaricata* Ledeb., *Robinia pseudoacacia* L., *Tilia cordata* Mill. За результатами проведених досліджень запропоновано заходи щодо збільшення біорізноманіття дендрофлори паркових фітоценозів та підвищення естетичності, декоративності і привабливості рослинних композицій у паркових екосистемах малих міст західного регіону України.

Ключові слова: паркові насадження; рослинне вкриття; дендрологічна структура; частота трапляння деревних рослин; міське озеленення; урбанізовані екосистеми.

Вступ (Introduction).

Інтенсивний розвиток міських екосистем як вагомих осередків соціального, культурного та економічного розвитку територіальних громад, супроводжується змінами в урбанізованому довкіллі та зумовлює появу нових, антропогенно сформованих ландшафтів (Білоус, 2001; Гнатів, 2003; Кучерявий, 2003, 2017; Maksymenko & Burchenko, 2019; Зібцева, 2021). Процеси урбанізації призводять до значних трансформацій у природному середовищі та характеризуються змінами видового складу, структури і динаміки розвитку зелених насаджень у міському середовищі (Кучерявий, 2008; Геник та ін., 2017; Лук'янчук, Мартинюк, 2018; Yukhnovskyi et al., 2022; Кучерявий та ін., 2025; Пушка, 2025; Шевченко та ін., 2025).

У загальній організації функціонування міських екосистем вагомим значення набувають питання щодо формування комплексних зелених насаджень, які виконують важливі середовищотвірні, природоохоронні, фітомеліоративні та рекреаційні функції (Кучерявий, 2003, 2008; Геник та ін., 2017; Oloś, 2023; Suárez et al., 2024; Кучерявий та ін., 2025). Формування естетично привабливих зелених зон в урбанізованому середовищі, зокрема паркових насаджень і скверів, зумовлюють необхідність проведення подальших ґрунтовних досліджень із вивчення видового складу, систематичної, екологічної і просторової структури рослинного вкриття, динаміки розвитку фітоценозів у міських екосистемах, а також розроблення заходів зі збільшення видового різноманіття дендрофлори, що в подальшому забезпечуватиме стабільність і стійкість зелених насаджень до негативного впливу абіотичних, біотичних та антропогенних чинників в урбанізованому довкіллі (Геник, Дудин, 2013; Бойко, 2019; Melnyk & Denysiuk, 2020; Myronchuk et al., 2021; Yukhnovskyi et al., 2022; Кучерявий та ін., 2023, 2024).

Дослідження санітарного стану дендрофлори у паркових і лісопаркових насадженнях міських екосистем показали, що переважна

більшість деревних рослин є стійкими до дії несприятливих природних та антропогенних чинників, негативного впливу рекреаційних навантажень. Однак, враховуючи видову, вікову та просторову структуру паркових рослинних угруповань, а також негативні антропогенні впливи, насамперед надмірні рекреаційні навантаження, забрудненість довкілля, несприятливі мікрокліматичні і ґрунтові умови, значна частина деревних рослин парків уражена різноманітними фітохворобами і ентомошкідниками, часто механічно пошкоджена, що зумовлює необхідність проведення заходів із запобігання уражень деревних рослин та підтримання їхньої вітальності (Кучерявий, 2003; Геник та ін., 2017; Вікторова, 2021; Зібцева, 2021; Кучерявий та ін., 2025; Шевченко та ін., 2025).

Дослідження видового різноманіття, просторової структури рослинних угруповань та життєвого стану зелених насаджень, які мають охоронний статус місцевого чи загальнодержавного значення є особливо актуальними з огляду на встановлення стійкості вікових деревостанів до несприятливих чинників міського середовища та реагування різних видів деревних рослин на надмірне рекреаційне навантаження і зміни клімату (Кучерявий, 2003; Геник та ін., 2017; Melnyk & Denysiuk, 2020; Зібцева, 2021; Yukhnovskyi et al., 2022).

У наукових працях вітчизняних і зарубіжних дослідників (Марно-Куца, 2013; Melnyk & Denysiuk, 2020; Chatzimontor et al., 2020; Вікторова, 2021; Зібцева, 2021; Oloś, 2023; Копилова та ін., 2024; Suárez et al., 2024; Шевченко та ін., 2025; Wang et al., 2025; Wu et al., 2025) значну увагу приділено питанням встановлення систематичної структури дендрофлори в зелених насадженнях урбанізованого середовища та фітомеліоративної ролі рослинних угруповань в міських екосистемах, що в подальшому слугує основою для розроблення пропозицій і рекомендацій з охорони, збереження, відновлення і, за потреби, реконструкції садово-паркових об'єктів і зелених зон в умовах значного антропо-

погенного навантаження та надмірного рекреаційного освоєння.

Результати досліджень зелених зон різних міст – Дніпра, Києва, Львова, Полтави, Рівного, Умані, Хмельницька, Херсону (Марно-Куца, 2013; Геник, Дудин, 2013; Melnyk & Denysiuk, 2020; Шевченко та ін., 2025; Yukhnovskyi et al., 2022; Копилова та ін., 2024; Власенко, 2025) дали змогу встановити систематичну структуру дендрофлори окремих паркових зон, розподіл деревних насінних рослин за відділами, кількісне видове представництво та частоту трапляння різних видів і форм деревних рослин у паркових насадженнях урбанізованих територій України. Вивчення безпосередньо видового складу дендрофлори паркових насаджень міських екосистем показало відносно значне біорізноманітність дерев і кущів (Геник та ін., 2017; Копилова та ін., 2024; Шевченко та ін., 2025). Зокрема, видове різноманіття історичних парків м. Львова (Геник, Дудин, 2013) налічує понад 50 видів і форм деревних рослин: у парку Високий Замок – 51 деревний вид, у парку ім. Івана Франка – 69 видів, а лише у партерній частині Стрийського парку – 76 видів і форм деревних рослин.

Наукові дослідження (Зібцева, 2021; Yukhnovskyi et al., 2022), що зосереджені на концептуальних основах озеленення малих міст Київської області через видове різноманіття дендрофлори і тенденціях формування міських зелених насаджень, виходячи із систематичної структури дендрофлори паркових насаджень, показали відносно значне видове різноманіття дерев і кущів в зелених насадженнях міст Київщини, зокрема і в паркових екосистемах. Авторами (Зібцева, 2021; Yukhnovskyi et al., 2022) проаналізовано тренди екологічної стабільності міських екосистем на основі стійкості деревних рослин до негативних чинників урбанізованого середовища.

Результати дослідження (Власенко, 2025), що ґрунтуються на оцінюванні санітарного стану насаджень у зелених зонах м. Полтави та стійкості деревних рослин до негативного антропогенного впливу, дали можливість розробити рекомендації щодо ефективного планування озеленення урбанізованих територій та формування різних за видовим складом рослинних угруповань шляхом підбору стійких до дії зовнішніх чинників рослин, що забезпечить в подальшому підвищення екологічної стійкості урбоекосистем.

Дослідження фітомеліоративної ефективності зелених зон м. Львова (Kucheryavui, 2008; Henyk et al., 2017; Lukyanchuk et al., 2018; Kucheryavui et al., 2023; Kucheryavui et al., 2024;

Kucheryavui et al., 2025) показали значущість впливу видового дендрологічного різноманіття на загальний санітарний стан, декоративність, естетичний вигляд та рекреаційну привабливість паркових насаджень. Дослідники (Кучерявий, 2008; Геник та ін., 2017; Лук'ячук, Мартинюк, 2018; Кучерявий та ін., 2023, 2024, 2025) акцентували увагу на значному середовищевірному значенні зелених насаджень та їхню важливу роль у покращенні екологічного стану міського довкілля, а науково обґрунтований підбір асортименту деревних рослин може значно поліпшити комфортність проживання живих організмів в урбанізованому середовищі.

Подальший розвиток зелених зон в урбанізованих екосистемах і формування стійких стабільних рослинних угруповань у паркових фітоценозах повинні ґрунтуватись на всебічних дослідженнях із встановлення видового складу дендрофлори та систематичної структури деревних рослин у зелених насадженнях міських екосистем, що сприятиме розробленню науково-обґрунтованих рекомендацій щодо ведення садово-паркового господарства, створення естетично привабливих зелених насаджень у міському середовищі та покращення загального екологічного стану урбанізованого довкілля.

Мета досліджень – встановити та здійснити аналіз видового різноманіття дендрофлори, частоти трапляння деревних рослин у парках малих міст західного регіону України, що дасть змогу оцінити систематичну структуру зелених насаджень і надати рекомендації щодо формування стабільних і стійких паркових рослинних угруповань до негативних антропогенних чинників міського середовища та подальшого створення естетично привабливих зелених зон і міського ландшафту в урбанізованому довкіллі.

Для досягнення зазначеної мети визначено видовий склад дендрофлори та кількісне видове представництво деревних рослин у паркових насадженнях; встановлено біоморфологічну структуру дендрофлори паркових насаджень; з'ясовано систематичну структуру дендрофлори паркових насаджень за різного ступеня інтенсивності антропогенного навантаження; встановлено частку аборигенних та інтродукованих видів деревних рослин у паркових фітоценозах; проаналізовано кількісне представництво та частоту трапляння деревних рослин у зелених насадженнях паркових екосистем; надано рекомендації щодо збільшення біорізноманіття дендрофлори у паркових насадженнях малих міст західного регіону України та підвищення естетичної і декоративної привабливості паркових рослинних угруповань.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт досліджень – аналіз видового різноманіття деревних рослин та систематичної структури дендрофлори паркових насаджень малих міст західного регіону України. *Предмет дослідження* – методи і засоби встановлення систематичної структури дендрофлори паркових екосистем на підставі видового різноманіття і кількісного представництва деревних рослин у паркових фітоценозах, що дасть змогу в подальшому підвищувати стійкість зелених насаджень до впливу негативних чинників міського середовища та покращувати екологічний стан урбанізованого довкілля.

Дослідження видового різноманіття дендрофлори паркових насаджень у західному регіоні України (Закарпатська обл. – Хустський міський парк у м. Хуст; Івано-Франківська обл. – парк ім. Кирила Трильовського в м. Коломия та парк ім. Аполлінарія Тарнавського в м. Косів; Львівська обл. – Городоцький міський парк у м. Городок та Пустомитівський міський парк у м. Пустомити; Чернівецька обл. – парк ім. Юрія Федьковича у м. Вижниця) здійснювали із застосуванням сукупності загальнонаукових і спеціальних

біологічних методів. Видовий склад дендрофлори, кількісне представництво деревних рослин та особливості структури рослинних угруповань у паркових насадженнях міст визначали маршрутним методом натурних обстежень.

Результати (Results).

Розвиток зелених насаджень в урбанізованому середовищі та розроблення науково-обґрунтованих рекомендацій із раціонального ведення садово-паркового господарства повинні базуватись на прикладних дослідженнях із встановлення видового складу та систематичної структури паркових екосистем, що зумовлюватиме подальше формування раціональних та естетично привабливих рослинних угруповань в міському середовищі (Білоус, 2001; Гнатів, 2003; Кучерявий, 2003, 2017; Геник та ін., 2017; Maksymenko & Burchenko, 2019; Зібцева, 2021; Кучерявий та ін., 2023).

Дослідження дендрофлори паркових насаджень з різною інтенсивністю рекреаційного навантаження у західному регіоні України показали значне біологічне різноманіття видового складу, який загалом налічує 95 видів і форм дерев і кущів (табл. 1).

Таблиця 1. Видовий склад деревних рослин у парках малих міст західного регіону України

Table 1. Species composition of woody plants in the parks of small towns in Western Ukraine

Деревний вид	Назва парку та його місцезнаходження					
	Хустський міський парк, м. Хуст	Парк ім. К.Трильовського м. Коломия	Парк ім. А.Тарнавського, м. Косів	Городоцький міський парк, м. Городок	Пустомитівський міський парк, м. Пустомити	Парк ім. Ю.Федьковича, м. Вижниця
1	2	3	4	5	6	7
<i>Abies alba</i> Mill.	–	+	+	–	–	+
<i>Acer campestre</i> L.	–	+	+	–	–	–
<i>Acer dasycarpum</i> L.	+	+	–	–	+	–
<i>Acer negundo</i> L.	+	+	+	+	+	–
<i>Acer platanoides</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Purpurea'	–	+	–	+	–	+
<i>Acer saccharinum</i> L.	–	–	–	–	–	+
<i>Acer tataricum</i> L.	–	–	+	–	–	–
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	+	–	–	+	–	–
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	–	+	–	–	–	–
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliot	–	–	–	–	–	+

Продовження таблиці 1

<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	—	+	+	+	+	+
<i>Buxus sempervirens</i> L.	—	+	—	—	—	—
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	—	—	+	—	—	—
<i>Carpinus betulus</i> L.	—	+	+	+	+	+
<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	+	—	—	—	+	—
<i>Cerasus avium</i> (L.) Moench	—	+	+	—	+	+
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	—	+	+	—	+	+
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb.	—	+	—	—	+	—
<i>Chamaecyparis pisifera</i> Sieb.et Zucc.	—	+	+	—	+	+
<i>Cornus alba</i> L.	+	+	+	—	+	—
<i>Corylus avellana</i> L.	—	+	+	—	+	—
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	+	+	—	—	+	—
<i>Fagus sylvatica</i> L.	—	—	+	—	+	+
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	—	—	—	+	+	—
<i>Ginkgo biloba</i> L.	—	+	+	—	—	—
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	+	—	—	—	—	—
<i>Grossularia reclinata</i> (L.) Mill.	—	+	—	—	—	—
<i>Gymnocladus dioica</i> (L.) C.Koch	—	+	—	—	—	—
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	—	+	—	—	—	—
<i>Juglans cinerea</i> L.	—	+	—	—	—	+
<i>Juglans nigra</i> L.	—	—	+	—	—	—
<i>Juglans regia</i> L.	+	+	+	—	+	+
<i>Juniperus communis</i> L.	—	+	—	—	—	—
<i>Laburnum anagyroides</i> Medic.	—	+	+	—	—	—
<i>Larix decidua</i> Mill.	—	—	+	—	+	—
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	+	+	—	—	—	+
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	—	—	+	—	—	+
<i>Magnolia kobus</i> DC	—	—	+	—	—	—
<i>Magnolia soulangeana</i> Soul.	—	—	+	—	—	—
<i>Malus purpurea</i> L.	+	—	—	—	—	—
<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	+	+	+	—	+	+
<i>Morus alba</i> L.	—	—	—	—	+	—
<i>Padus mahaleb</i> Borkh.	—	—	—	—	—	+
<i>Padus racemosa</i> Gilib.	—	—	—	+	+	—
<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	—	+	+	—	—	—
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	—	+	+	—	+	—
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	—	+	—	—	—	—
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	+	+	+	+	+	+
<i>Picea pungens</i> Ehrh.	—	—	+	—	+	—
<i>Picea pungens</i> 'Glauca'	—	—	—	—	—	+
<i>Pinus cembra</i> L.	—	—	+	—	—	—
<i>Pinus nigra</i> Arn.	—	+	+	—	—	—
<i>Pinus strobus</i> L.	—	+	+	—	—	—
<i>Pinus sylvestris</i> L.	—	—	+	—	+	+
<i>Platanus orientalis</i> L.	+	—	+	+	—	—
<i>Populus alba</i> L.	—	—	—	—	+	—
<i>Populus nigra</i> L.	+	+	+	+	+	—
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier.	—	—	—	—	—	+
<i>Populus tremula</i> L.	—	+	+	—	—	—
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	+	+	+	+	+	+
<i>Prunus domestica</i> L.	+	—	+	+	+	+
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	—	+	—	—	—	+
<i>Pyrus communis</i> L.	—	+	+	—	—	+
<i>Quercus robur</i> L.	—	+	+	+	+	+
<i>Quercus rubra</i> L.	+	+	+	+	+	—
<i>Rhus typhina</i> L.	—	—	+	—	—	+
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	+	+	+	+	+	+
<i>Rosa canina</i> L.	—	—	—	—	—	+

Продовження таблиці 1

Salix alba L.	+	—	+	—	—	—	
Salix alba 'Pendula'	+	—	—	+	—	+	
Salix caprea L.	+	+	+	—	—	+	
Salix fragilis L.	+	—	—	—	—	—	
Salix matsudana 'Tortuosa'	+	+	—	—	—	+	
Sambucus nigra L.	+	—	+	—	—	+	
Sophora japonica L.	+	—	—	—	—	—	
Sorbus aucuparia L.	—	+	+	+	+	+	
Spiraea salicifolia L.	—	—	—	—	—	+	
Swida sanguinea (L.) Opiz.	+	—	—	—	—	+	
Symphoricarpos albus (L.) Blake	—	+	—	—	—	—	
Syringa vulgaris L.	—	—	—	—	—	+	
Taxus baccata L.	—	+	—	—	—	+	
Thuja occidentalis L.	—	+	+	+	+	+	
Thuja occidentalis 'Compacta'	—	+	—	—	—	—	
Thuja occidentalis 'Ellwangeriana'	—	+	—	—	—	—	
Thuja occidentalis Ericoides'	—	+	—	—	—	—	
Thuja plicata D.Don	—	+	—	—	—	—	
Tilia cordata Mill.	+	+	+	+	+	+	
Tilia platiphylllos Scop.	—	+	—	—	—	+	
Ulmus laevis Pall.	—	+	+	—	—	+	
Ulmus scabra Mill.	—	+	+	+	—	+	
Viburnum opulus L.	—	—	—	—	—	+	
Всього видів і форм деревних рослин	95	31	58	52	24	37	47

Видовий склад дендрофлори старовинних історичних парків малих міст західного регіону України значно багатший, порівняно з видовим складом новостворених паркових насаджень. Так, у парку ім. К. Трильовського в м. Коломия обліковано 58 видів і форм; у парку ім. А. Тарнавського у м. Косів – 52 види і форми; у парку ім. Ю. Федьковича у м. Вижниця – 47 видів і форм деревних рослин.

Видове різноманіття деревних рослин новостворених паркових насаджень у містах західного регіону України дещо бідніше – в Пустомитівському центральному міському парку – 37 видів дерев і кущів; у Хустському центральному міському парку – 31 вид; у Горо-

доцькому міському парку – лише 24 види і форми деревних рослин (див. табл. 1).

Аналіз біоморфологічної структури паркових насаджень показав значне переважання дерев – 79 видів і форм (83,2% від загального видового різноманіття). Кущі представлені 16 видами (16,8% дендрологічного видового різноманіття), а ліани у колекційному фонді парків відсутні, хоча і є бажаними елементами, зважаючи на їхню високу естетичність і декоративність.

Аналіз систематичної структури дендрофлори паркових насаджень з різною інтенсивністю антропогенного навантаження показав відносно значну різноманітність видового складу, який налічує 95 видів і форм дерев і кущів із 59 родів, 28 родин та 22 порядків (табл. 2).

Таблиця 2. Систематична структура дендрофлори паркових насаджень малих міст західного регіону України

Table 2. Taxonomic structure of dendroflora of park plantings in small towns of Western Ukraine

Відділ	Клас	Кількість			
		порядків	родин	родів	видів
Хустський міський парк (м. Хуст, Закарпатська область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Pinopsida</i>	1	1	1	1
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	13	13	20	30
Парк ім. Кирила Трильовського (м. Коломия, Івано-Франківська область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Ginkgopsida</i>	1	1	1	1
	<i>Pinopsida</i>	3	3	7	12
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	18	24	27	45
Парк ім. Аполлінарія Тарнавського (м. Косів, Івано-Франківська область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Ginkgopsida</i>	1	1	1	1
	<i>Pinopsida</i>	2	2	6	10
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	15	17	29	41

Продовження таблиці 2

Городоцький міський парк (м. Городок, Львівська область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Pinopsida</i>	2	2	2	2
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	10	11	16	22
Пустомитівський міський парк (м. Пустомити, Львівська область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Pinopsida</i>	2	2	5	6
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	14	15	23	31
Парк ім. Юрія Федьковича (м. Вижниця, Чернівецька область)					
<i>Pinophyta</i>	<i>Pinopsida</i>	3	3	7	8
<i>Magnoliophyta</i>	<i>Magnoliopsida</i>	14	16	29	39
Загалом					
2	3	22	28	59	95

У дендрофлорі паркових насаджень малих міст переважають деревні види рослин відділу Покритонасінні, які загалом складають 80,0% загального видового біорізноманіття (від 77,5% у парку ім. К. Трильовського в м. Коломий до 96,8% у насадженнях Хустського міського

парку). Деревні рослини відділу Голонасінні представлені незначною кількістю видів, що складає 20,0% біорізноманіття дендрофлори (від 3,2% у насадженнях Хустського міського парку до 22,4% у парку ім. К. Трильовського в м. Коломий) (табл. 3).

Таблиця 3. Розподіл деревних рослин за відділами у паркових насадженнях малих міст західного регіону України

Table 3. Distribution of dendroflora by divisions (Gymnosperms and Angiosperms) in park plantings in small towns of Western Ukraine

Об'єкти	Голонасінні		Покритонасінні		Загальна кількість видів
	кількість видів	%	кількість видів	%	
Хустський міський парк (м. Хуст)	1	3,2	30	96,8	31
Парк ім. К. Трильовського (м. Коломия)	13	22,4	45	77,5	58
Парк ім. А. Тарнавського (м. Косів)	11	21,2	41	78,8	52
Городоцький міський парк (м. Городок)	2	8,3	22	91,7	24
Пустомитівський міський парк (м. Пустомити)	6	16,2	31	83,8	37
Парк ім. Ю. Федьковича (м. Вижниця)	8	17,0	39,0	83,0	47
Загалом	19	20,0	76	80,0	95

У більшості паркових насаджень переважають аборигенні деревні види, які загалом складають 52,6% видового біорізноманіття дендрофлори (від 48,3% у парку ім. К. Трильовського до 66,6% у насадженнях Городоцького міського

парку). Видове дендрологічне різноманіття інтродукованих видів дещо менше і становить 47,4% (від 33,4% у Городоцькому міському парку до 51,7% у насадженнях парку ім. К. Трильовського) (табл. 4).

Таблиця 4. Розподіл аборигенних та інтродукованих видів деревних рослин в паркових насадженнях малих міст західного регіону України

Table 4. Distribution of native and introduced tree species in park plantings in small towns of Western Ukraine

Об'єкти	Аборигенні види		Інтродуковані види		Загальна кількість видів
	кількість видів	%	кількість видів	%	
Хустський міський парк (м. Хуст)	17	54,8	14	45,2	31
Парк ім. К. Трильовського (м. Коломия)	28	48,3	30	51,7	58

Продовження таблиці 4

Парк ім. А. Тарнавського (м. Косів)	29	55,8	23	44,2	52
Городоцький міський парк (м. Городок)	16	66,6	8	33,4	24
Пустомитівський міський парк (м. Пустомити)	21	56,8	16	43,2	37
Парк ім. Ю. Федьковича (м. Вижниця)	30	63,8	17	36,2	47
Загалом	50	52,6	45	47,4	95

У паркових насадженнях серед листяних деревних видів значною кількістю екземплярів представлені *Acer negundo* L. – 2,52%; *Acer pseudoplatanus* L. – 2,71%; *Acer platanoides* L. – 4,23%; *Fraxinus excelsior* L. – 5,23%; *Aesculus*

hippocastanum L. – 5,26%; *Robinia pseudoacacia* L. – 7,32%; *Carpinus betulus* L. – 7,86%; *Tilia cordata* Mill. – 8,13% та *Malus sylvestris* (L.) Mill. – 9,72% від загальної кількості всіх деревних рослин (табл. 5).

Таблиця 5. Кількісне видове представництво і частота трапляння деревних рослин у паркових насадженнях малих міст західного регіону України

Table 5. Quantitative species representation and frequency of occurrence of trees in park plantings in small towns of Western Ukraine

Деревний вид	Загальна кількість екземплярів виду, шт.	Частка від загальної кількості деревних рослин, %	Частота трапляння, Ктр
<i>Abies alba</i> Mill.	12	0,21	0,50
<i>Acer campestre</i> L.	8	0,14	0,33
<i>Acer dasycarpum</i> L.	36	0,63	0,50
<i>Acer negundo</i> L.	144	2,52	0,83
<i>Acer platanoides</i> L.	242	4,23	1,00
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	155	2,71	1,00
<i>Acer pseudoplatanus</i> 'Purpurea'	16	0,28	0,50
<i>Acer saccharinum</i> L.	3	0,05	0,17
<i>Acer tataricum</i> L.	4	0,07	0,17
<i>Aesculus hippocastanum</i> L.	301	5,26	1,00
<i>Alnus glutinosa</i> Gaertn.	9	0,16	0,33
<i>Amorpha fruticosa</i> L.	24	0,42	0,17
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliot	6	0,10	0,17
<i>Betula verrucosa</i> Ehrh.	74	1,29	0,83
<i>Buxus sempervirens</i> L.	18	0,31	0,17
<i>Caragana arborescens</i> Lam.	5	0,09	0,17
<i>Carpinus betulus</i> L.	450	7,86	0,83
<i>Catalpa bignonioides</i> Walt.	5	0,09	0,33
<i>Cerasus avium</i> (L.) Moench	30	0,52	0,67
<i>Cerasus vulgaris</i> Mill.	22	0,38	0,67
<i>Cercidiphyllum japonicum</i> Sieb.	3	0,05	0,33
<i>Chamaecyparis pisifera</i> Sieb.et Zucc.	16	0,28	0,67
<i>Cornus alba</i> L.	246	4,30	0,67
<i>Corylus avellana</i> L.	18	0,31	0,50
<i>Crataegus monogyna</i> Jacq.	14	0,24	0,50
<i>Fagus sylvatica</i> L.	6	0,10	0,50
<i>Fraxinus excelsior</i> L.	299	5,23	1,00
<i>Fraxinus lanceolata</i> Borkh.	14	0,24	0,33
<i>Ginkgo biloba</i> L.	4	0,07	0,33
<i>Gleditsia triacanthos</i> L.	5	0,09	0,17
<i>Grossularia reclinata</i> (L.) Mill.	102	1,78	0,17
<i>Gymnocladus dioica</i> (L.) C.Koch	1	0,02	0,17
<i>Hippophae rhamnoides</i> L.	2	0,03	0,17

Продовження таблиці 5

<i>Juglans cinerea</i> L.	14	0,24	0,33
<i>Juglans nigra</i> L.	2	0,03	0,17
<i>Juglans regia</i> L.	46	0,80	0,83
<i>Juniperus communis</i> L.	3	0,05	0,17
<i>Laburnum anagyroides</i> Medic.	6	0,10	0,33
<i>Larix decidua</i> Mill.	34	0,59	0,33
<i>Ligustrum vulgare</i> L.	496	8,67	0,50
<i>Liriodendron tulipifera</i> L.	4	0,07	0,33
<i>Magnolia kobus</i> DC	1	0,02	0,17
<i>Magnolia soulangeana</i> Soul.	3	0,05	0,17
<i>Malus purpurea</i> L.	4	0,07	0,17
<i>Malus sylvestris</i> (L.) Mill.	556	9,72	0,83
<i>Morus alba</i> L.	1	0,02	0,17
<i>Padus mahaleb</i> Borkh.	3	0,05	0,17
<i>Padus racemosa</i> Gilib.	9	0,16	0,33
<i>Padus serotina</i> (Ehrh.) Agardh.	38	0,66	0,33
<i>Phellodendron amurense</i> Rupr.	6	0,10	0,50
<i>Philadelphus coronarius</i> L.	4	0,07	0,33
<i>Picea abies</i> (L.) Karst.	244	4,26	1,00
<i>Picea pungens</i> Ehrh.	15	0,26	0,33
<i>Picea pungens</i> 'Glauca'	2	0,03	0,17
<i>Pinus cembra</i> L.	4	0,07	0,17
<i>Pinus nigra</i> Arn.	15	0,26	0,33
<i>Pinus strobus</i> L.	55	0,96	0,33
<i>Pinus sylvestris</i> L.	32	0,56	0,50
<i>Platanus orientalis</i> L.	5	0,09	0,50
<i>Populus alba</i> L.	6	0,10	0,17
<i>Populus nigra</i> L.	33	0,58	0,83
<i>Populus pyramidalis</i> Rozier.	1	0,02	0,17
<i>Populus tremula</i> L.	6	0,10	0,33
<i>Prunus divaricata</i> Ledeb.	81	1,42	1,00
<i>Prunus domestica</i> L.	51	0,89	0,83
<i>Pseudotsuga menziesii</i> Franco	4	0,07	0,33
<i>Pyrus communis</i> L.	32	0,56	0,50
<i>Quercus robur</i> L.	49	0,86	0,83
<i>Quercus rubra</i> L.	37	0,65	0,83
<i>Rhus typhina</i> L.	10	0,17	0,33
<i>Robinia pseudoacacia</i> L.	419	7,32	1,00
<i>Rosa canina</i> L.	5	0,09	0,17
<i>Salix alba</i> L.	16	0,28	0,33
<i>Salix alba</i> 'Pendula'	10	0,17	0,50
<i>Salix caprea</i> L.	8	0,14	0,67
<i>Salix fragilis</i> L.	2	0,03	0,17
<i>Salix matsudana</i> 'Tortuosa'	7	0,12	0,50
<i>Sambucus nigra</i> L.	28	0,49	0,50
<i>Sophora japonica</i> L.	1	0,02	0,17
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	18	0,31	0,83
<i>Spiraea salicifolia</i> L.	4	0,07	0,17
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz.	2	0,03	0,33
<i>Symphoricarpos albus</i> (L.) Blake	8	0,14	0,17
<i>Syringa vulgaris</i> L.	1	0,02	0,17
<i>Taxus baccata</i> L.	23	0,40	0,33
<i>Thuja occidentalis</i> L.	376	6,57	0,83
<i>Thuja occidentalis</i> 'Compacta'	6	0,10	0,17
<i>Thuja occidentalis</i> 'Ellwangeriana'	4	0,07	0,17
<i>Thuja occidentalis</i> 'Ericoides'	1	0,02	0,17
<i>Thuja plicata</i> D.Don	6	0,10	0,17
<i>Tilia cordata</i> Mill.	465	8,13	1,00
<i>Tilia platyphyllos</i> Scop.	4	0,07	0,33

Продовження таблиці 5

<i>Ulmus laevis</i> Pall.	17	0,30	0,50
<i>Ulmus scabra</i> Mill.	83	1,45	0,67
<i>Viburnum opulus</i> L.	2	0,03	0,17
Всього	5722	100	–

Серед хвойних деревних видів у паркових насадженнях значною кількістю екземплярів представлені *Picea abies* [L.] Karst. – 4,26% і *Thuja occidentalis* L. – 6,57% від загальної кількості всіх деревних рослин. Серед кущів найбільшою кількістю екземплярів у парках малих міст представлені *Grossularia reclinata* (L.) Mill.) – 1,78%; *Cornus alba* L. – 4,30% та *Ligustrum vulgare* L. – 8,67% від загальної кількості всіх деревних рослин (див. табл. 5).

Дослідженнями частоти трапляння окремих деревних видів, що виражається через коефіцієнт трапляння ($K_{тр} = 1,0$ за умови виявлення деревного виду в усіх паркових насадженнях), встановлено найбільше поширення низки деревних видів – *Prunus divaricata* Ledeb.; *Aesculus hippocastanum* L.; *Acer platanoides* L.; *Acer pseudoplatanus* L.; *Tilia cordata* Mill.; *Robinia pseudoacacia* L.; *Picea abies* (L.) Karst., *Fraxinus excelsior* L., коефіцієнт трапляння яких становив 1,0.

Дещо менше значення коефіцієнта трапляння ($K_{тр} = 0,83$) характерне для *Betula pendula* Roth., *Juglans regia* L., *Sorbus aucuparia* L., *Carpinus betulus* L., *Quercus robur* L., *Quercus rubra* L., *Acer negundo* L., *Prunus domestica* L., *Populus nigra* L., *Thuja occidentalis* L. та *Malus sylvestris* (L.) Mill.

Значна частота трапляння та поширення вище вказаних деревних рослин в паркових насадженнях пояснюється високим рівнем їхньої життєвості, доброю здатністю до природного поновлення та стійкістю до значних антропогенних навантажень.

Натомість 32 види і форми деревних рослин, що становить 33,7% дендрофлори паркових насаджень малих міст, трапляються лише в одному із досліджених парків ($K_{тр} = 0,17$) (див. табл. 5).

Результати досліджень щодо встановлення видового складу деревних рослин та аналізу біоморфологічної і систематичної структури дендрофлори парків малих міст західного регіону України показали доцільність здійснення низки садово-паркових заходів, спрямованих на збільшення видового різноманіття та кількісного представництва хвойних деревних рослин; збільшення у колекційному фонді частки кущів та їх представництва; введення у насадження різноманітних видів ліан; збільшення кількісного видового представництва високо декоративних деревних рослин. Здійснення таких заходів

сприятиме збільшенню біорізноманіття та підвищенню естетичності, декоративності і привабливості рослинних композицій у паркових насадженнях малих міст.

Проведені дослідження видового складу, біоморфологічної та систематичної структури дендрофлори паркових насаджень малих міст західного регіону України показали, що видове різноманіття дендрофлори паркових насаджень є дещо біднішим, порівняно з дендрологічним біорізноманіття великих міст країни – менше 50 видів і форм деревних рослин (від 22 деревних видів у Городоцькому міському парку до 45 видів і форм деревних рослин у парку ім. Кирила Трильовського в м. Коломия).

У дендрофлорі паркових насаджень малих міст західного регіону України, як і в структурі дендрофлори паркових екосистем великих міст, переважають деревні види рослин відділу Покритонасінні – понад 80,0% видового дендрологічного різноманіття.

Загалом у паркових насадженнях малих міст, як і в паркових насадженнях великих міст, переважають аборигенні деревні види. Однак, частка інтродукованих деревних рослин у паркових зонах малих міст загалом є дещо вищою і навіть може перевищувати частку аборигенних видів дерев і кущів (наприклад, частка інтродукованих деревних видів у парку ім. Кирила Трильовського в м. Коломії складає 51,7%).

Результати проведених досліджень можуть слугувати основою для оцінювання фітоценотичної структури зелених насаджень у контексті рекреаційного освоєння, збереження та реконструкції паркових рослинних угруповань, створення нових паркових насаджень в малих містах України. Отримані результати можна використовувати під час планування міського озеленення та розроблення заходів з підвищення декоративності і рекреаційної привабливості паркових насаджень в урбанізованому середовищі.

Дискусія (Discussion).

У структурно-функціональній організації урбанізованого середовища вагомим значення набувають питання зі створення зелених просторів, що дає змогу забезпечити необхідні для живих організмів екологічні та соціальні умови життєдіяльності в міських екосистемах. При цьому особливої актуальності та уваги набу-

вають дослідження зі встановлення видової, вікової та фітоценотичної структури рослинних угруповань і зелених зон у міському середовищі, що сприяє формуванню стабільних і стійких до зовнішніх впливів зелених насаджень в урбанізованому довкіллі (Gnativ, 2003; Henyk et al., 2013; Melnyk et al., 2020; Yukhnovskyi et al., 2022; Kucheryavyy et al., 2024; Pushka, 2025).

Наукові дослідження стосовно дендрологічного складу, систематичної, біоморфологічної та фітоценотичної структури паркових і лісопаркових насаджень в урбанізованих екосистемах висвітлено в працях низки як вітчизняних (Марно-Куца, 2013; Геник, Дудин, 2013; Геник та ін., 2017; Maksymenko & Burchenko, 2019; Melnyk & Denysiuk, 2020; Вікторова, 2021; Зібцева, 2021; Yukhnovskyi et al., 2022; Роговський та ін., 2023; Коджебаш та ін., 2024; Копилова та ін., 2024; Левандовська, Хрик, 2024; Шевченко та ін., 2025; Власенко, 2025; Пушка, 2025; Казімірова та ін., 2025), так і зарубіжних (Chatzimontor et al., 2020; Delić et al., 2021; Josefsson et al., 2021; Hussein et al., 2023; Von Post et al., 2023; Suárez et al., 2024; Jiang et al., 2025; Wang et al., 2025; Wu, 2025) учених, що підтверджує актуальність знань із формування естетично привабливих рослинних угруповань у міському середовищі.

Оцінювання науковцями показників дендрологічного різноманіття зелених насаджень в урбанізованому довкіллі насамперед ґрунтуються на вивченні видового складу деревних рослин у паркових і лісопаркових зонах та є основою для розроблення науково обґрунтованих пропозицій із покращення декоративності зелених насаджень в урбанізованому середовищі та естетичного вигляду міського ландшафту (Марно-Куца, 2013; Геник, Дудин, 2013; Бойко, 2019; Melnyk & Denysiuk, 2020; Зібцева, 2021; Кучерявий та ін., 2023, 2024; Пушка, 2025).

Результати досліджень науковців НЛТУ України підтверджують доцільність наукового обґрунтованого та системного підходу до планування зелених просторів у міському середовищі з урахуванням насамперед видового різноманіття рослинних угруповань та фітомеліоративних і середовищевісних властивостей паркових і лісопаркових насаджень (Геник, Дудин, 2013; Геник та ін., 2017; Кучерявий, 2017; Кучерявий та ін., 2024, 2025). Науковцями також встановлено, що фітомеліоративна ефективність рослинних угруповань у міському довкіллі, зокрема шумозахисна і пилофільтрувальна здатність зелених зон, безпосередньо залежить від видового складу та просторової структури сформованих зелених насаджень (Геник та ін., 2017; Кучерявий та ін., 2025).

Дослідження дендрологічного різноманіття паркових і лісопаркових насаджень різного ступеня інтенсивності рекреаційного навантаження у містах західного регіону України показали значну різноманітність їх видового складу, який загалом налічує 157 видів і форм дерев і кущів із 81 роду та 36 родин (Геник, Дудин, 2013). Видовий склад деревних рослин старовинних парків значно багатший, порівняно з видовим складом новостворених паркових насаджень. У складі деревних рослин паркових насаджень західного України переважають деревні види відділу *Magnoliophyta*, що загалом складають від 77,5 до 96,7% загального видового різноманіття дендрофлори. У більшості паркових насаджень західного регіону України переважають аборигенні види деревних рослин, які загалом складають 51,7-71,4% від видового різноманіття дендрофлори (Геник, Дудин, 2013).

На матеріалах досліджень видового складу деревної рослинності паркових насаджень науковці провідних навчально-наукових установ встановили таксономічну, еколого-географічну та просторову структуру дендрофлори міських зелених зон міст Дніпра, Києва, Львова, Полтави, Рівного, Умані, Хмельницька, Херсона та здійснили аналіз щодо середовищевісних і захисних функцій рослинних угруповань у зелених насадженнях урбанізованого середовища (Геник, Дудин, 2013; Марно-Куца, 2013; Melnyk & Denysiuk, 2020; Вікторова, 2021; Yukhnovskyi et al., 2022; Копилова та ін., 2024; Власенко, 2025; Шевченко та ін., 2025).

Як і для паркових насаджень великих міст країни, для паркових фітоценозів малих міст найбільше представництво характерне для таких видів деревних рослин: *Acer platanoides* L., *Fraxinus excelsior* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Robinia pseudoacacia* L., *Tilia cordata* Mill., *Picea abies* (L.) Karst. і *Thuja occidentalis* L. Для паркових насаджень малих міст, на відміну від паркових фітоценозів великих міст, характерним є наявність значної кількості екземплярів *Malus sylvestris* (L.) Mill.

Обговорення результатів дослідження показало, що дослідження видового складу, біоморфологічної та систематичної структури дендрофлори паркових насаджень є вкрай важливим для оцінювання загального стану, декоративності та рекреаційної привабливості паркового середовища в урбанізованому середовищі.

Результати досліджень паркових насаджень у малих містах західного регіону України загалом корелюють з дослідженнями та науковими висновками вітчизняних науковців, хоча і мають деякі відмінності порівняно зі структурою зелених насаджень у великих містах країни.

Отже, дослідження видового складу, біоморфологічної та систематичної структури дендрофлори паркових насаджень малих міст західного регіону України є актуальними та важливими з метою подальшого оцінювання декоративності, стабільності і стійкості міських зелених насаджень до негативного впливу антропогенних чинників та вирішення питань щодо покращення екологічного стану урбанізованого середовища, ефективного використання паркових і лісопаркових насаджень у рекреаційних цілях.

Висновки (Conclusions).

1. Дендрофлора паркових насаджень малих міст західного регіону України представлена 95 видами і формами деревних рослин із 59 родів, 28 родин та 22 порядків. Видове різноманіття дендрофлори старовинних історичних парків значно багатше порівняно з видовим різноманіттям новостворених паркових насаджень.

2. За біоморфологічною структурою у паркових фітоценозах малих міст західного регіону України переважають дерева – 83,2% від загального дендрологічного видового різноманіття (79 видів і форм). Кущі представлені 16,8% (16 видів), а ліани у колекційному фонді паркових екосистем відсутні.

3. У дендрофлорі паркових насаджень переважають деревні види рослин відділу Покритонасінні – 80,0% видового біорізноманіття. Деревні рослини відділу Голонасінні представлені значно меншою часткою – 20,0% біорізноманіття дендрофлори паркових фітоценозів.

4. У паркових деяку перевагу мають аборигенні деревні види – 52,6% видового дендрорізноманіття. Інтродуковані види дерев-

них рослин складають 47,4% біорізноманіття дендрофлори парків.

5. Максимальною кількістю екземплярів у паркових насадженнях малих міст західного регіону України представлені такі деревні види: *Fraxinus excelsior* L., (5,23%), *Aesculus hippocastanum* L. (5,26%), *Thuja occidentalis* L. (6,57%), *Robinia pseudoacacia* L. (7,32%), *Carpinus betulus* L. (7,86%), *Tilia cordata* Mill. (8,13%), *Ligustrum vulgare* L. (8,67%) та *Malus sylvestris* (L.) Mill. (9,72%) від загальної кількості всіх деревних рослин.

6. За частотою трапляння окремих деревних видів найбільш поширеними є *Prunus divaricata* Ledeb., *Aesculus hippocastanum* L., *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Tilia cordata* Mill., *Robinia pseudoacacia* L., *Picea abies* (L.) Karst. та *Fraxinus excelsior* L..

7. Збільшення біорізноманіття дендрофлори паркових фітоценозів та підвищення естетичності, декоративності і привабливості рослинних композицій у паркових екосистемах малих міст західного регіону України можливе за збільшення кількісного представництва і видового різноманіття хвойних деревних рослин; збільшення у дендрофонді парків частки кущів та їхнього видового представництва; введення у насадження паркових рослинних угруповань різноманітних видів ліан; збільшення кількісного видового представництва високо декоративних деревних рослин.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Bilous, V. I. (2001). *Garden and park art*. Kyiv: Scientific World. [Білоус, В. І. (2001). *Садово-паркове мистецтво*. Київ: Науковий світ, 299 с. (in Ukrainian)]
- Boyko, T. O. (2019). Taxonomic structure and condition of street plantations in Kherson. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 29(8), 51–54. <https://doi.org/10.36930/40290807> [Бойко, Т. О. (2019). Таксономічна структура і стан вуличних насаджень міста Херсон. Науковий вісник НЛТУ України, 29(8), 51–54] (in Ukrainian)
- Chatzimontor, A., Apostolopoulou, E., & Mazaris, A. D. (2020). A review of green infrastructure research in Europe: challenges and opportunities. *Landscape and Urban Planning*, 198, article ID 103775. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2020.103775>
- Delić, E., Dorbić, B., & Adžemović, A. (2021). Dendroflora of Donatim Park in Adapazari/Sakarya – Republic of Turkey. *Sibenik: Glasilo Future*, 4(2/3), 1–15. <https://doi.org/10.32779/gf.4.2-3.1>
- Gnativ, P. S. (2003). Adaptation of woody plants in the urban ecosystem of Lviv. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 2, 108–113. http://base.dnsgb.com.ua/files/journal/Nauk-Praci-LANU/2003_2/LAN_2_All.pdf [Гнатів, П. С. (2003). Адаптація деревних рослин в урбоєкосистемі міста Львова. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 2, 108–113] (In Ukrainian)
- Henyk, Ya. V., & Dudyn, R. B. (2013). Systematic structure of dendroflora and sanitary condition of park plantings of cities of the Carpathian

- region of Ukraine. *Scientific Bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine: Forestry and Ornamental Horticulture*, 18.7(1), 42–52. [Геник, Я. В., Дудин, Р. Б. (2013). Систематична структура дендрофлори та санітарний стан паркових насаджень міст Карпатського регіону України. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування: Лісівництво та декоративне садівництво*, 18.7(1), 42–52] (in Ukrainian)
- Henyk, Ya. V., Dudyn, R. B., Dyda, A. P., Marutyak, S.B. & Kaspruk, O. I. (2017). Transformation processes in forest park and park plantings of urbanized ecosystems of western Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(10), 9–15. <https://doi.org/10.15421/40271001> [Геник, Я. В., Дудин, Р. Б., Дида, Р. В., Дида, А. П., Марутяк, С. Б., Каспрук, О. І. (2017). Трансформаційні процеси в лісопаркових і паркових насадженнях урбанізованих екосистем Заходу України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 27(10), 9–15] (in Ukrainian)
- Hussein, J., Kumble, P., & Hanson, H. W. (2023). A Study of Green Infrastructure in European Cities: Opportunities and possibilities: A Systematic Review and Meta-Analysis. *Journal of Regional and City Planning*, 34(3), 270–285. <https://doi.org/10.5614/jpwk.2023.34.3.3>
- Jiang, Yiyi, Li, Tian, Xu, Haibin, Huang, Xujia, Li, Hailong, & Wang, Zixuan. (2025). Exploring the factors influencing visits to urban parks: a case study of Beijings central urban area, *Applied Geography*, 178 p. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2025.103613>
- Josefsson, J., Widenfalk, L., Blicharska, M., Hedblom, M., Pärt, T., Ranius, Th., & Öckinger, E. (2021). Compensating for lost nature values through biodiversity offsetting – Where is the evidence? *Biological Conservation*, 257 p. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2021.109117>
- Kazimirova, L. P., Ilyinskiy, S. V., Rydak, V. V., & Mateyuk, O. P. (2025). Kryvchytsky Park of Khmelnytskyi Region as a prospective object of the Nature Reserve Fund of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(4), 51–60. <https://doi.org/10.36930/40350406> [Казімірова, Л. П., Ільїнський, С. В., Рибак, В. В., Матеюк, О. П. (2025). Кривчицький парк Хмельницької області як перспективний об'єкт природно-заповідного фонду України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(4), 51–60] (in Ukrainian)
- Kodzhebash, A. V., Shlapak, V. P., Kozachenko, I. V., & Parubok, M. I. (2024). Analysis of the composition and indicators of species diversity of the dendroflora of Vatutinsky City Park and Taras Shevchenko Arboretum in Zvenyhorodka. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 34(5), 9–15. <https://doi.org/10.36930/40340501> [Коджебаш, А. В., Шлапак, В. П., Козаченко, І. В., Парубок, М. І. (2024). Аналіз складу та показники видового різноманіття дендрофлори Ватутінського міського парку та дендропарку ім. Т. Г. Шевченка м. Звенигородка. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(5), 9–15] (in Ukrainian)
- Kopylova, T. V., Romyankov, Y. O., Porokhnyava, O. L., Muzyka, G. I., Zayachuk, V. Y., & Vegera, L. V. (2024). Dendroflora and Landscape Organization of the V.V. Pashkevych Arboretum of the National Dendrological Park "Sofiyivka". *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 34(3), 30–37. <https://doi.org/10.36930/40340304> [Копилова, Т. В., Рум'янков, Ю. О., Порохнява, О. Л., Музика, Г. І., Заячук, В. Я., Вегера, Л. В. (2024). Дендрофлора та ландшафтна організація арборетуму ім. В. В. Пашкевича Національного дендрологічного парку "Софіївка". *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(3), 30–37] (in Ukrainian)
- Kucheryavyi, V. P. (2003). *Phytomelioration*. Lviv: Svit [Кучерявий В. П. (2003). *Фітомеліорація*. Львів: Світ. 650 с.] (in Ukrainian)
- Kucheryavyi, V. P. (2008). *Gardens and parks of Lviv*. Lviv: Svit. [Кучерявий, В. П. (2008). *Сади і парки Львова*. Львів: Світ. 360 с.] (in Ukrainian)
- Kucheryavyi, V. P. (2017). *Landscape architecture*. Lviv: Novyi Svit – 2000. [Кучерявий, В. П. (2017). *Ландшафтна архітектура*. Львів: Новий світ – 2000. 520 с.] (in Ukrainian)
- Kucheriavyi, V. P., Henyk, Y. V., Kucheriavyi, V. S., Shuplat, T. I., & Hotsii, N. D. (2023). Ecospatial and thermophysical features of the formation of the "heat island; Lviv city center and the vitality of woody plants. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 33(3), 23–33. <https://doi.org/10.36930/40330304> [Кучерявий, В. П., Геник, Я. В., Кучерявий, В. С., Шуплат, Т. І., Гоцій, Н. Д. (2023). Екопросторові та теплофізичні особливості формування "Острова тепла" Львівського середмістя і життєвість деревних рослин.

- Науковий вісник НЛТУ України*, 33(3), 23–33] (in Ukrainian)
- Kucheryavyy, V., Henyk, Y., Popovych, V., Kucheryavyy, V., Kopylov, V., & Shuplat T. (2024). Influence of the Urban Heat Island Effect of a Large City on the Physiological Stability of Tree Plantations. *Ecological Engineering and Environmental Technology This link is disabled*, 25(12), 180–193. <https://doi.org/10.12912/27197050/194125>
- Kucheryavyy, V. P., Henyk, Ya. V., Popovych V. V., Kucheryavyy, V. S., Kendziora, N. Z., Hotsii, N. D., & Ianysyn, B. M. (2025). Scientific basis of phytomelioration efficiency of green infrastructure of the city. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(4), 18–27. <https://doi.org/10.36930/40350402> [Кучерявий, В. П., Генік, Я. В., Кучерявий, В. С., Кендзьора, Н. З., Гоцій, Н. Д., Янишин, Б. М. (2025). Наукові засади фітомеліоративної ефективності зеленої інфраструктури міста. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(4), 18–27] (in Ukrainian)
- Levandovska, S., & Khryk, V. (2024). Dendrobiotic diversity of the Fastivskyi; landscape park of local significance, its scientific value and preservation state. *Agrobiology*, 1, 70–81. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2024-187-1-70-81> [Левандовська, С., Хрик, В. (2024). Дендробіотичне різноманіття ландшафтного парку місцевого значення «Фастівський», його наукова цінність, стан і збереження. *Агробіологія*, 1, 70–81] (in Ukrainian)
- Lukyanchuk, N., & Martynyuk, N. (2018). Vegetative reclamation efficiency of street phytocoenoses as one of the parameters of the environmental measurement of balanced development of the city. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 217–222. <https://doi.org/10.15421/411630> [Лук'янчук, Н., Мартинюк, Н. (2018). Фітомеліоративна ефективність вуличних фітоценозів як один із параметрів екологічного виміру збалансованого розвитку міста. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 14, 217–222] (in Ukrainian)
- Maksymenko, N. V., & Burchenko, S. V. (2019). Theoretical Basis of the Green Infrastructure Strategy: International Experience. *Man and Environment. Issues of Neoeology*, 31, 16–25. <https://doi.org/10.26565/1992-4224-2019-31-02>
- Marno-Kutsa, O. M. (2013). The current state of tree and shrub vegetation of the «childrens» park in Uman. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(5), 242–246. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/23_5_zm.pdf [Марно-Куца, О. М. (2013). Сучасний стан деревно-чагарникової рослинності парку "Дитячий" в Умані. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23(5), 242–246] (in Ukrainian)
- Melnyk, V. I., & Denysiuk, N. V. (2020). *Taxonomic and ecological structures of dendroflora of parks and squares of Rivne city*. Scientific developments of Ukraine and EU in the field of natural sciences: collective monograph. Wloclawek, Poland: Izdawnictwa «Baltija Publishing»; Part 2, 521–538. <https://doi.org/10.30525/978-9934-588-73-0/2.7>
- Myronchuk K., Henyk Y., & Kumytska M. (2021). Species composition, structure and quality status of hedges in Bukovynian Carpathian region of Ukraine. *Forestry ideas*, 27.1(61), 74–88.
- Oloś, G. (2023). Green facades support biodiversity in urban environment – A case study from Poland. *Journal of Water and Land Development*, 59(X–XII), 257–266. <https://doi.org/10.24425/jwld.2023.148450>
- Pushka, I. M. (2025). Assessment of species diversity and vital condition of tree plantations in Childrens park in Uman. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(4), 28–35. <https://doi.org/10.36930/40350403> [Пушка, І. М. (2025). Оцінювання видового різноманіття та життєвого стану деревних насаджень парку "Дитячий" міста Умані. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(4), 28–35] (in Ukrainian).
- Rogovskyi, S., Ishchuk, L., Strutynska, Y., Yarmola, M., & Krutyslov, A. I. (2023). Results of the dendroflora inventory and assessment of the plantations of the Tomylivskyi Park, a monument of landscape art. *Agrobiology*, 1, 215–229. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2023-179-1-215-229> [Роговський, С., Іщук, Л., Струтинська, Ю., Ярмола, М., Круцілов, А. (2023). Результати інвентаризації та оцінки дендрофлори насаджень Томилівського парку – пам'ятки садово-паркового мистецтва. *Агробіологія*, 1, 215–229] (in Ukrainian)
- Shevchenko, S. M., Yefremova, O. O., Dyachuk, A. O., & Mateyuk, O. P. (2025). The current state of tree plantations in Ivan Franko Park in Khmelnytskyi. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(1), 52–59. <https://doi.org/10.36930/40350107> [Шевченко, С. М., Єфремова, О. О., Дячук, А. О., Матеюк, О. П. (2025). Сучасний стан деревних насаджень парку імені Івана

- Франка міста Хмельницького. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(1), 52–59] (in Ukrainian)
- Suárez, M., Rieiro-Díaz, A. M., Alba, D., Langemeyer, J., Gómez-Baggethun, E., & Ametzaga-Arregi, I. (2024). Urban resilience through green infrastructure: A framework for policy analysis applied to Madrid, Spain. *Landscape and Urban Planning*, 241, article ID 104923. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2023.104923>
- Viktorova, V. V. (2021). Justification of the phyto-reclamation role of plantations and phyto-indication of air quality in parks on the right bank of the city of Dnipro: Masters thesis. Dnipro State Agrarian and Economic University, 83 p. <https://dspace.dsau.dp.ua/bitstream/123456789/6309/1/%D0%92%D1%96%D0%BA%D1%82%D0%BE%D1%80%D0%BE%D0%B2%D0%B0%20%D0%92.%D0%94.%20%28pdf.io%29.pdf> [Вікторова, В. В. (2021). Обґрунтування фітомеліоративної ролі насаджень та фітоіндикація стану повітря парків правобережжя м. Дніпро. Дипломна робота магістра. Дніпровський державний аграрно-економічний університет. 83 с.] (in Ukrainian)
- Vlasenko, N. O. (2025). Strategies of tree adaptation to urban environment. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(1), 9–15. <https://doi.org/10.36930/40350101> [Власенко, Н. О. (2025). Стратегії адаптації дерев до умов урбанізованого середовища. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(1), 9–15] (in Ukrainian)
- Von Post, M., Knaggard, A., Alkan Olsson, J., Olsson, O., Persson, A. S., & Ekroos, J. (2023). The Swedish green infrastructure policy as a policy assemblage: What does it do for biodiversity conservation? *People and Nature*, 5(2), 839–851. <https://doi.org/10.1002/pan3.10456>
- Wang, J., Kong, W., & Han, W. (2025). Achieving win-win outcomes between urban growth and urban greening: The role of environmental governance. *Applied Geography*, 183, article ID 103735. <https://doi.org/10.1016/j.apgeog.2025.103735>
- Wu, H., Zeng, Q., Chen, Q., & Dewancker, B. (2025). Impact of newly constructed parks on urban thermal environment: A comparative analysis of 20 parks before-and-after construction. *Journal of Environmental Management*, 373, article ID 123548. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2024.123548>
- Yukhnovskiy, V., Zibtseva, J., & Henyk, Ya. (2022). Provision of periurban zones of small towns of Kyiv region by forests as a factor of eco-stability: *Central European Forestry Journal*, 68(1), 43–50. <https://doi.org/10.2478/forj-2021-0021>
- Zibtseva, O. V. (2021). *Conceptual Foundations of Green Space Systems of Small Towns of the Kyiv Region in the Context of Sustainable Development*. Abstract doctoral dissertation, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Kyiv, Ukraine. [Зібцева, О. В. (2021). *Концептуальні основи систем зелених насаджень малих міст Київщини в контексті екобалансованого розвитку*: автореф. дис. ... д-ра с.-г. наук: 06.03.01. Київ: Національний університет біоресурсів і природокористування України] <https://dglb.nubip.edu.ua/handle/123456789/9886> (in Ukrainian)

Species composition and taxonomic structure of the dendroflora of parks in small towns of Western Ukraine

Ya. Henyk¹, T. Onysko², V. Shulha³, V. Zayachuk⁴, R. Dudyn⁵

The study focused on analysing the species diversity of woody plants and the taxonomic structure of the dendroflora in park plantings in small towns of Western Ukraine (The Transcarpathian region – Khust City Park in the town of Khust; Ivano-Frankivsk region – Kyrylo Trilovskyi Park in Kolomyia and Apollinaris Tarnavskyi Park in Kosiv; Lviv region – Horodok City Park in Horodok and Pustomyty City Park in Pustomyty; Chernivtsi region – Yuriy Fedkovych Park in Vyzhnytsia). The species diversity of the dendroflora was investigated using a combination of general scientific and specialised biological methods. The species composition of the dendroflora, the quantitative representation of woody plants, and the structural characteristics of plant communities within the park plantings were determined through field surveys conducted using the route method.

The dendroflora of park phytocoenoses in small towns of Western Ukraine was found to comprise 95 species and forms of woody plants belonging to 59 genera, 28 families, and 22 orders. According to the study findings, the species diversity of the dendroflora in historic parks of Western Ukrainian towns is significantly richer than that recorded in newly established park plantings. The biomorphological structure of the park plant communities is dominated by trees, which account for 83.2% (79 species and forms) of the total dendroflora, whereas shrubs comprise 16.8% (16 species); woody lianas were absent. Woody plant species of the division Magnoliophyta predominate in the park plantings, representing 80.0% (76 species and forms) of the total species diversity, while species of the division Pinophyta account for only 20.0% (19 species and forms).

In the dendroflora of the studied park ecosystems, the proportion of native woody species is slightly higher (52.6%) than that of introduced species (47.4%). An analysis of the distribution of the total number of woody plants within the park phytocoenoses revealed that the most abundant species were *Acer platanoides* L. (4.23%), *Picea abies* (L.) Karst. (4.26%), *Cornus alba* L. (4.30%), *Fraxinus excelsior* L. (5.23%), *Aesculus hippocastanum* L. (5.26%), *Thuja occidentalis* L. (6.57%), *Robinia pseudoacacia* L. (7.32%), *Carpinus betulus* L. (7.86%), *Tilia cordata* Mill. (8.13%), *Ligustrum vulgare* L. (8.67%), and *Malus sylvestris* (L.) Mill. (9.72% of the total number of woody plants). The species *Acer platanoides* L., *Acer pseudoplatanus* L., *Aesculus hippocastanum* L., *Fraxinus excelsior* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Prunus divaricata* Ledeb., *Robinia pseudoacacia* L., and *Tilia cordata* Mill. were recorded in all of the investigated park ecosystems of the small towns.

Enhancing the biodiversity of the dendroflora of park phytocoenoses and enhancing the aesthetic appeal, ornamental value, and attractiveness of plant compositions in the park ecosystems of small towns in Western Ukraine can be achieved by increasing both the abundance and species diversity of coniferous woody plants, expanding the proportion and species richness of shrubs in the parks' dendrological collections, introducing various species of woody lianas into park plant communities, and increasing the quantitative representation of highly ornamental woody plant woody plant species.

Key words: park plantings; plant cover; dendrological structure; frequency of occurrence of woody plants; urban greening; urbanized ecosystems.

¹ Yaroslav Henyk – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Director of the Institute of Forestry and Horticulture. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: yarhenyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6079-6827>

² Taras Onysko – PhD Student at the Department of Landscape Architecture, Horticulture and Urban Ecology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: onysko1980@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-0243-4617> Research supervisor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor Yaroslav Henyk

³ Volodymyr Shulha – PhD Student at the Department of Landscape Architecture, Horticulture and Urban Ecology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: volodya.sh8@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-6572-506X> Research supervisor – Doctor of Agricultural Sciences, Professor Yaroslav Henyk

⁴ Vasyl Zayachuk – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor at the Department of botany, wood science and non-wood resources of the forest. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynkа St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: zayachuk_vsim@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0342-2482>

⁵ Roman Dudyn – PhD of Agricultural Sciences, Associate Professor, Manager at the Department of Landscape Architecture, Horticulture and Urban Ecology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprinka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: drb2008@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-4539-7489>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412611>
Article received 2025.11.07
Article revised 2026.03.10
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Petro Lakyda
lakyda@nubip.edu.ua
15 Heroiv Oboroni St.,
Kyiv, 03041, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 582.475:630*5

Таксаційна структура лісів Північного Степу України як основа оцінювання їхніх екосистемних функцій

П.І. Лакида¹, Л.М. Матушевич², А.М. Макаревич³

Екосистемні функції лісів в умовах глобальної зміни клімату слугують ефективним інструментарієм протидії цим процесам й турбують суспільство впродовж останніх десятиліть. Особливу увагу при цьому приділяють лісовим екосистемам, які виконують роль буфера на межі географічних зон. Ліси Північного Степу України є саме таким об'єктом, який потребує детальних досліджень щодо їхнього екологічного впливу на довкілля регіону.

Реалізація завдання потребує актуального оцінювання структури деревостанів за основними таксаційними ознаками. З цією метою проаналізовано структуру основних таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних видів Північного Степу України за даними повидільної бази даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2024 року. Оцінено таксаційну структуру деревостанів, проаналізовано його складові у межах лісового фонду восьми адміністративних областей досліджуваного регіону.

Встановлено, що структура таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних видів регіону має невисоку дисперсію в межах груп твердолистяних та м'яколистяних порід. Однією із причин цього є відсутність категорії експлуатаційних лісів. У твердолистяній групі порід середній вік деревостанів відносно високий і змінюється в межах 62-104 роки. У групі м'яколистяних порід середній вік істотно нижчий і змінюється в межах 31-58 років за винятком видів роду тополі, де середній вік перестійних деревостанів складає 115 років.

Середні показники продуктивності для основних видів твердолистяної групи порід (дуба звичайного, робінії звичайної та ясена звичайного) знаходяться в межах II та III класів бонітету.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, перший віце-президент ЛАН України, Заслужений діяч науки і техніки України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua 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@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7282-3215>

³ Макаревич Анатолій Миколайович – доктор філософії, асистент. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. E-mail: amakarevych@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9448-3028>

Середній запас стовбурової деревини цих деревних видів становить відповідно 169, 94 та 203 м³·га⁻¹. М'яколистяна група порід (тополеві види, береза повисла та вільха клейка) характеризується високою середньою продуктивністю деревостанів у відповідних типах лісорослинних умов, яка змінюється в межах I^a – II класів бонітету. Їхній середній запас стовбурової деревини відповідно становить 210, 90 та 211 м³·га⁻¹.

Хвойна група порід представлена сосною звичайною середньої продуктивності (I,5 бонітет), переважаючий діапазон знаходиться в межах I^b–IV класів бонітету. Середній запас стовбурової деревини становить 230 м³·га⁻¹.

Усі групи порід формують переважно середньоповнотні насадження з відносною повнотою 0,6 та 0,7. Залежно від деревного виду, частка площі таких насаджень змінюється в межах 46,8-67% зайнятої ними площі. Високоповнотні та низькоповнотні насадження хвойних і твердолистяних порід у регіоні досліджень трапляються рідко.

Незважаючи на високий середній вік аналізованих груп деревостанів, їхні продуктивність, середні запаси та відносні повноти характеризуються невисокими показниками, що цілком природньо для лісів цієї географічної зони.

Досліджувана категорія деревостанів становить вагомую частку у ресурсному та екологічному потенціалі регіону і потребує опрацювання актуального нормативно-інформаційного забезпечення для оцінювання кількісних та якісних параметрів екосистемних функцій лісів.

Ключові слова: лісотвірний деревний вид; адміністративна область, деревостан; продуктивність; вікова структура; запас; бонітет; повнота, типи лісорослинних умов.

Вступ (Introduction).

Стале управління лісами – це комплексна екологічна, економічна та соціальна складова, яка забезпечує процес використання лісових ресурсів та екосистемних функцій (киснепродукування, вуглецедепонування, рекреація тощо) в умовах глобальної зміни клімату. Особливої актуальності у вирішенні цих проблем набувають лісові екосистеми північної частини степової зони України, де ліси, поряд з типовою степовою рослинністю, виконують важливі стабілізуючі екологічні функції та здійснюють відповідні екосистемні послуги.

Особливої актуальності набуває адаптація нормативної лісотаксаційної бази України до європейських стандартів з метою ведення лісового господарства на засадах сталості й ринкових відносин, що вимагає від українських науковців і практиків отримання об'єктивної інформації про ресурсний потенціал лісів окремих регіонів і держави в цілому та прогнозування його раціонального використання (Bala, 2020; Білоус та ін., 2021). Отже, виникає нагальна потреба детального аналізу параметричної структури основних таксаційних показників деревостанів головних лісотвірних деревних видів конкретного регіону.

Загальновідомо, що лісові екосистеми є одним із ключових регуляторів глобального вуглецевого циклу та важливим елементом стабілізації змін клімату, оскільки забезпечують поглинання й довготривале утримання атмосферного CO₂ у своїй біомасі та мортмасі. Акумуляування вуглецю в процесі фотосинтезу у надземній та підземній біомасі, мортмасі, органічній речовині ґрунтів сприяє формуванню

багатокомпонентної системи вуглецевих пулів (Intergovernmental Panel..., 2006; Intergovernmental Panel..., 2022).

Вітчизняні та міжнародні дослідження з проблем міжнародної кліматичної політики свідчать, що лісовий сектор розглядається як один із найбільш економічно доцільних напрямів пом'якшення зміни клімату. Аналіз глобальних сценаріїв показує, що заходи у секторі землекористування можуть забезпечити значну частку необхідних скорочень викидів парникових газів за відносно низької вартості, особливо порівняно з технологічними рішеннями декарбонізації енергетики. При цьому природні кліматичні рішення, які включають збереження, відновлення і стале управління лісами, розглядаються як ключовий інструмент досягнення кліматичних цілей (Shvidenko et al., 2017; Lakyda et al., 2018; Roe et al., 2019; Lovynska et al., 2019).

У досліджуваному регіоні оцінювання параметричної структури деревостанів основних лісотвірних деревних видів – сосни звичайної й робінії звичайної та їхніх екосистемних функцій у північному степу України здійснено низкою українських дослідників (Ловинська, Лакида, 2016; Ситник, Лакида, 2017; Sytnyk et al., 2018; Lovynska et al., 2019). Однак їхні дослідження потребують системного розширення на увесь перелік основних лісотвірних деревних видів регіону для отримання комплексної оцінки біотичної продуктивності лісів та їхнього впливу на довкілля в умовах глобальної зміни клімату.

Мета роботи – дослідити таксаційну структуру деревостанів Північного Степу України з можливістю сталого використання їхнього ресурсного потенціалу і майбутнім

опрацюванням коректного нормативно-інформаційного забезпечення оцінювання кількісних та якісних параметрів екологічних функцій в умовах глобальної зміни клімату.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – процеси нагромадження стовбурового запасу деревостанами головних лісотвірних деревних видів у розрізі географічних областей Північного Степу України за їхніми основними таксаційними ознаками. *Предмет дослідження* – стан і таксаційна структура площ і запасів деревостанів основних лісотвірних видів у межах адміністративних областей зони Північного Степу України.

Оцінювання і статистичний аналіз таксаційних параметрів головних лісотвірних видів лісів у розрізі географічних областей Північного Степу України та можливості сталого використання їх ресурсного й екологічного потенціалу, потребує аналізу таксаційної структури деревостанів за основними ознаками – походженням, віком, продуктивністю за класами бонітету, відносною повнотою тощо (Nothdurft et al., 2012; Bontemps & Bouriaud, 2013; Миронюк та ін., 2019). З цією метою використано таксаційну повидільну базу даних обліку лісів України станом на 01.01.2024 року, як єдино доступну на сьогодні інформацію за відсутності цілісної системи статистичної інвентаризації лісів держави (Васькевич, 2010).

Об'єктивна інформація таксаційної структури деревостанів та її детальний аналіз необхідна

для здійснення моделювання екологічних функцій лісів регіону. Спираючись на ці дані та матеріали тимчасових пробних площ, закладених у деревостанах головних лісотвірних деревних видів досліджуваного регіону з використанням прикладної комп'ютерної програми CARBON (Лакида, 2002), можна здійснити оцінювання потенціалу депонування вуглекислого газу лісостанами основних лісотвірних деревних видів північної частини степової зони України і встановити чинники, які впливають на ефективність виконання ними вуглецедепонуальної та киснепродукуючої функцій.

Результати (Results).

За даними обліку лісового фонду лісів Північного Степу України, деревостани основних лісотвірних деревних видів ростуть на теренах північної частини восьми адміністративних областей держави (Генсірук, 2002), зокрема в межах Дніпропетровської, Донецької, Запорізької, Кіровоградської, Луганської, Миколаївської, Одеської та Харківської областей на площі 539464,6 га із загальним запасом понад 88,1 млн м³ (табл. 1).

Переважає більшість лісів у досліджуваному регіоні росте у Луганській області (41,4% від загальної площі та 40,5% від загального стовбурового запасу), а найменша – у Запорізькій області (2,8 та 1,6% відповідно). Незважаючи на строкатість площі лісів у межах адміністративних областей регіону, вони виконують надзвичайно важливі екологічні та захисні функції (табл. 2).

Таблиця 1. Розподіл кількості виділів, площі й запасу вкритих лісовою рослинністю ділянок Північного Степу України за областями

Table 1. Distribution of the number of plots, area and stock of forested areas of the Northern Steppe of Ukraine by region

№ з.п.	Область	Загальний підсумок			% за	
		кількість виділів	площа, га	запас, м ³	площею	запасом
1.	Дніпропетровська	22918	75621,2	15499802,8	14,0	17,6
2.	Донецька	28624	101450,8	16775447,2	18,8	19,0
3.	Запорізька	4491	14845,2	1435994,1	2,8	1,6
4.	Кіровоградська	9675	32660,0	4578152,5	6,1	5,2
5.	Луганська	63251	223334,1	35728217,7	41,4	40,5
6.	Миколаївська	7329	28692,6	2677689,0	5,3	3,0
7.	Одеська	7575	25866,4	3044609,0	4,8	3,5
8.	Харківська	10417	36994,3	8404529,2	6,9	9,5
Всього по регіону		154280	539464,6	88144441,5	100	100

Відсутність категорії експлуатаційних лісів й переважання площі захисних та рекреаційно-оздоровчих лісів (83,0%) свідчить про їх екологічну значимість для досліджуваного регіону навіть без урахування їхніх екосистемних функцій.

Характеристика лісового фонду регіону потребує детального аналізу середніх таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних деревних видів, як основи для прогнозування потенційних можливостей сталого вико-

ристання деревного ресурсу та екосистемних функцій лісів (Копій та ін., 2013; Миронюк та ін., 2019). Середні таксаційні показники деревостанів основних лісотвірних видів за результатами повидільної оцінки таксаційної бази даних розраховано за віком, діаметром, висотою, запасом на 1 га, відносною повнотою та класом бонітету (табл. 4). При цьому варто відмітити, що під родовою назвою *Клен* агреговано сім видів (клен гостролистий, клен красивий, клен польовий,

клен сріблястий, клен татарський, клен ясенелистий і клен-явір), *В'яз* – 4 види (берест, в'яз гладкий, в'яз дрібнолистий та в'яз шорсткий), *Тополя* – 8 видів (тополя бальзамічна, тополя біла, тополя Болле, тополя канадська, тополя китайська, тополя лавролиста, тополя пірамідальна, тополя чорна). Зазначені види окремо займають незначні площі і їхня таксаційна характеристика в подальшому представлена родовою породою.

Таблиця 2. Розподіл площі вкритих лісовою рослинністю ділянок Північного Степу України за категоріями захисності лісів, га

Table 2. Distribution of the area covered by forest vegetation in the Northern Steppe of Ukraine by forest protection categories, ha

№ з.п.	Область	Захисні ліси	Рекреаційно-оздоровчі ліси	Ліси природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення	Разом
1.	Дніпропетровська	38810,7	23269,3	13541,2	75621,2
2.	Донецька	18047,3	48389,3	35014,2	101450,8
3.	Запорізька	6847,2	5617,3	2380,7	14845,2
4.	Кіровоградська	21019,7	6057,7	5582,6	32660,0
5.	Луганська	123259,0	78397,7	21677,4	223334,1
6.	Миколаївська	22290,6	773,3	5628,7	28692,6
7.	Одеська	20683,2	345,5	4837,7	25866,4
8.	Харківська	26897,6	6915,1	3181,6	36994,3
Всього		277855,3	169765,2	91844,1	539464,6
%		51,5	31,5	17,0	100

Аналіз середніх таксаційних показників деревостанів основних лісотвірних деревних видів регіону свідчить про невисоку дисперсію в межах груп твердолистяних та м'яколистяних порід (табл. 3). Основна причина полягає у відсутності категорії експлуатаційних лісів. Так, у групі твердолистяних порід середній вік деревостанів є відносно високим і змінюється в межах 62-104 роки. У групі м'яколистяних порід середній вік істотно нижчий (31-58 років) за винятком видів роду тополі, де середній вік перестійних

деревостанів становить 115 років. Незважаючи на високий середній вік аналізованих груп деревостанів, їхні середні запаси та відносні повноти характеризуються порівняно низькими показниками, що цілком природньо для лісів цієї географічної зони (Генсірук, 2002). Хвойна група порід представлена середньовіковими деревостанами сосни звичайної середньої продуктивності (І,5 бонітет), середньої повноти (0,69) і середнім запасом стовбурової деревини ($230 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).

Таблиця 3. Середні таксаційні показники деревостанів основних лісотвірних видів Північного Степу України

Table 3. Average forest attributes of stands of the main forest-forming species of the Northern Steppe of Ukraine

Деревний вид (порода)	Середні					
	вік, років	діаметр, см	висота, м	запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	відносна повнота	клас бонітету
Сосна звичайна	54	21,7	17,2	230	0,69	І,5
Дуб звичайний	75	25,7	17,7	169	0,69	ІІ,9
Робінія звичайна	83	16,4	13,0	94	0,68	ІІ,2
Ясен звичайний	70	25,9	20,0	203	0,68	ІІ,3
Ясен зелений	104	17,9	13,5	107	0,66	ІІІ,0
Клен	62	17,2	13,2	106	0,66	ІІІ,0

Продовження таблиці 3

В'яз	96	18,7	13,6	96	0,63	II,8
Береза повисла	31	15,4	12,5	90	0,60	I,3
Вільха клейка	58	24,1	19,5	211	0,68	I,8
Осика	38	21,1	16,1	175	0,66	I,6
Тополя	115	34,7	21,3	210	0,56	I ^a ,3
Всього	71	22,3	16,3	163	0,68	II,4

Детальніший аналіз показників продуктивності за класами бонітету аналізованих основних лісотвірних видів представлено у табл. 4 та їхня графічна інтерпретація на рис. 1-3.

Аналізуючи дані табл. 4 та рис. 1-3 варто зауважити, що у твердолистяній групі порід найширший діапазон бонітетів спостережено у

деревостанах дуба звичайного, робінії звичайної та ясена звичайного. Їхні середні показники знаходяться в межах II – III класів бонітету. Інші твердолистяні види складають незначну частку за площею зростання і розподілені у значно широкому діапазоні класів бонітету – від I^a до V^a.

Таблиця 4. Розподіл площі основних деревних видів Північного Степу України за класами бонітету, га

Table 4. Distribution of the area of the main tree species of the Northern Steppe of Ukraine by site classes, ha

Клас бонітету								
I ^c і вище	I ^b	I ^a	I	II	III	IV	V	V ^a і нижче
Дуб звичайний (209161,1 га)								
20,8	172,4	1430,1	12142,8	56733,5	82021,8	43027,1	12299,6	1313,0
Сосна звичайна (111743,6 га)								
184,1	1516,2	13105,8	44091,8	36559,3	14075,8	2013,0	161,7	35,9
Робінія звичайна (85523,4 га)								
766,0	1627,8	6331,6	16793,2	22397,9	24756,7	9928,0	2624,0	298,2
Ясен звичайний (36705,8 га)								
6,4	181,5	1231,8	6437,2	14388,2	10367,9	3360,3	632,1	100,4
Ясен зелений (15360,4 га)								
11,3	42,7	220,6	1449,5	3500,2	5191,7	3210,3	1402,2	331,9
В'яз (13574,9 га)								
1,1	14,8	201,4	1251,5	3520,6	5395,0	2450,1	695,4	45,0
Клен (11576,9 га)								
13,4	63,4	185,5	1120,6	2891,8	3475,3	2106,4	1260,9	459,6
Тополя (9823,6 га)								
2091,8	2682,9	1304,6	928,0	711,7	714,8	1042,9	281,7	65,2
Береза повисла (6086,3 га)								
142,4	998,7	461,9	1342,5	1651,3	1066,7	378,8	42,7	1,3
Вільха клейка (5169,1 га)								
18,6	65,2	345,7	1394,6	2217,9	875,0	222,4	24,5	5,2
Осика (1625,6 га)								
24,0	47,1	171,0	624,8	358,7	312,5	71,4	16,1	–
Всього (506350,7 га)								
3279,9	7412,7	24990,0	87576,5	144931,1	148253,2	67810,7	19440,9	2682,7

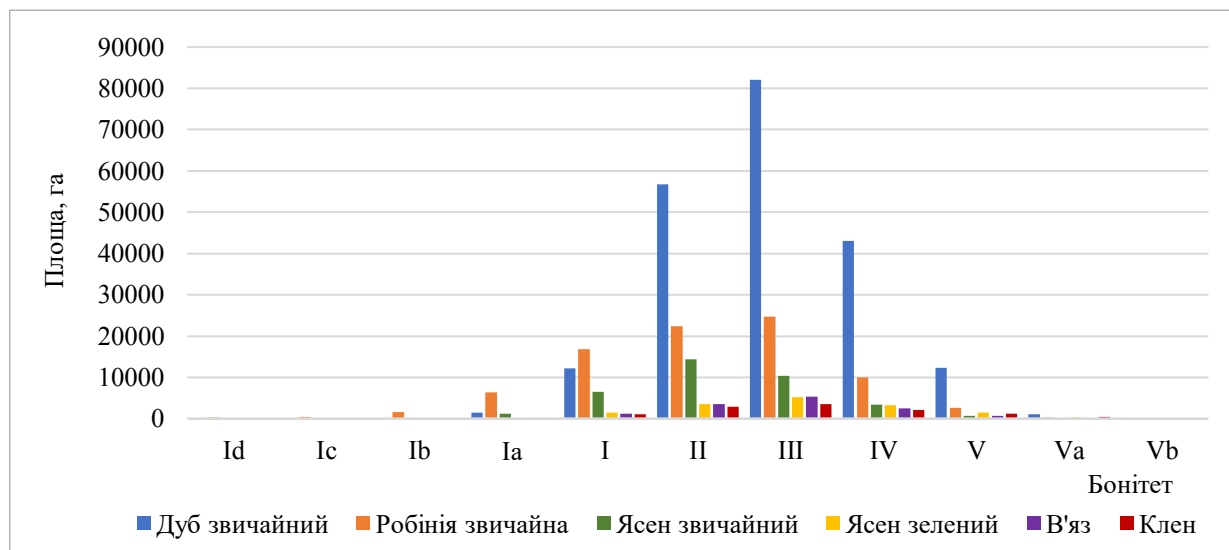


Рис. 1. Розподіл площі твердолистяних деревних видів за класами бонітету, га
Fig. 1. Distribution of the area of hardwood tree species by site classes, ha

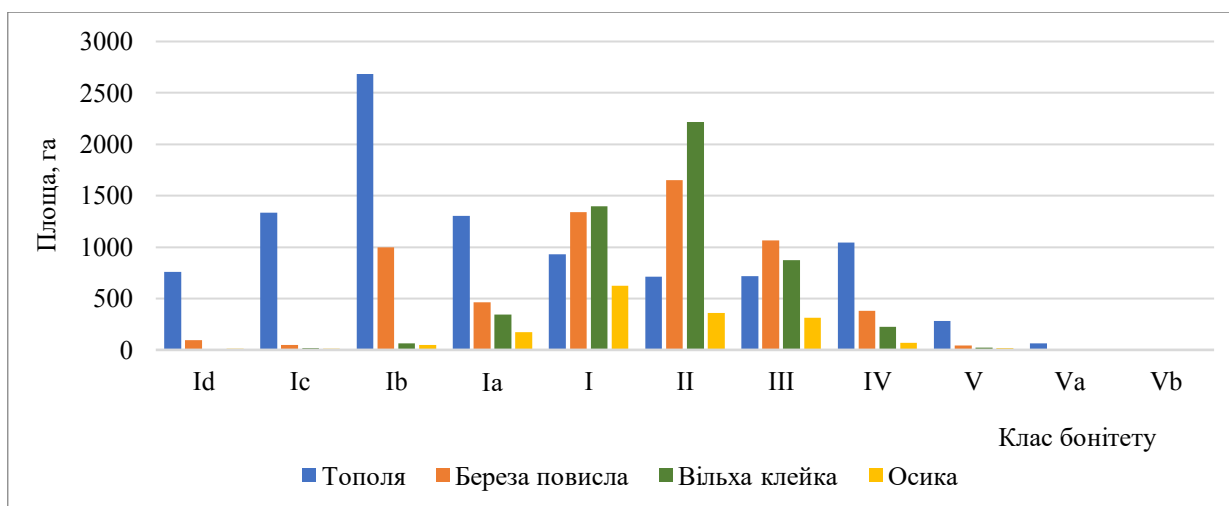


Рис. 2. Розподіл площі м'яколистяних деревних видів за класами бонітету, га
Fig. 2. Distribution of the area of softwood tree species by site classes, ha

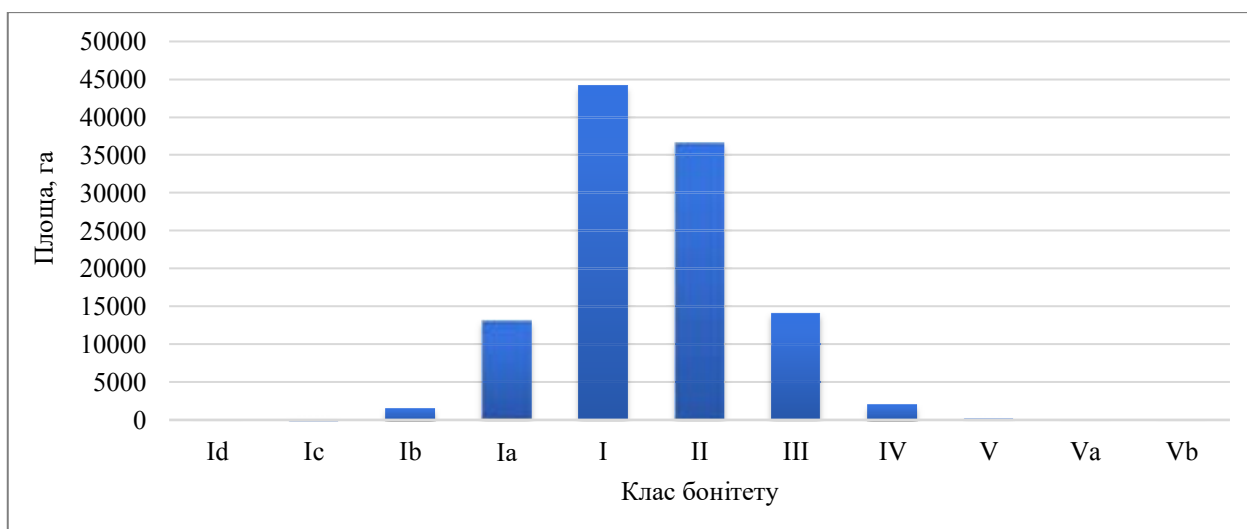


Рис. 3. Розподіл площі деревостанів сосни звичайної за класами бонітету, га
Fig. 3. Distribution of the area of Scots pine stands by site classes, ha

М'яколистяна група порід характеризується високою продуктивністю деревостанів тополевих видів, берези повислої та вільхи клейкої (у відповідних типах лісорослинних умов). Їхня середня продуктивність змінюється в межах від I^a до II класів бонітету.

Деревостани сосни звичайної характеризуються середньою продуктивністю (I,5) та широким діапазоном класів бонітету (I^b – IV).

Важливою таксаційною ознакою, від якої залежить структура деревостану та його продуктивність за запасом стовбурної деревини, є його відносна повнота. Аналіз відносних повнот деревостанів основних лісотвірних деревних видів лісів Північного Степу України в межах породних груп наведено на рис. 4-6.

Залежно від біологічних особливостей та лісорослинної зони зростання, деревні види можуть

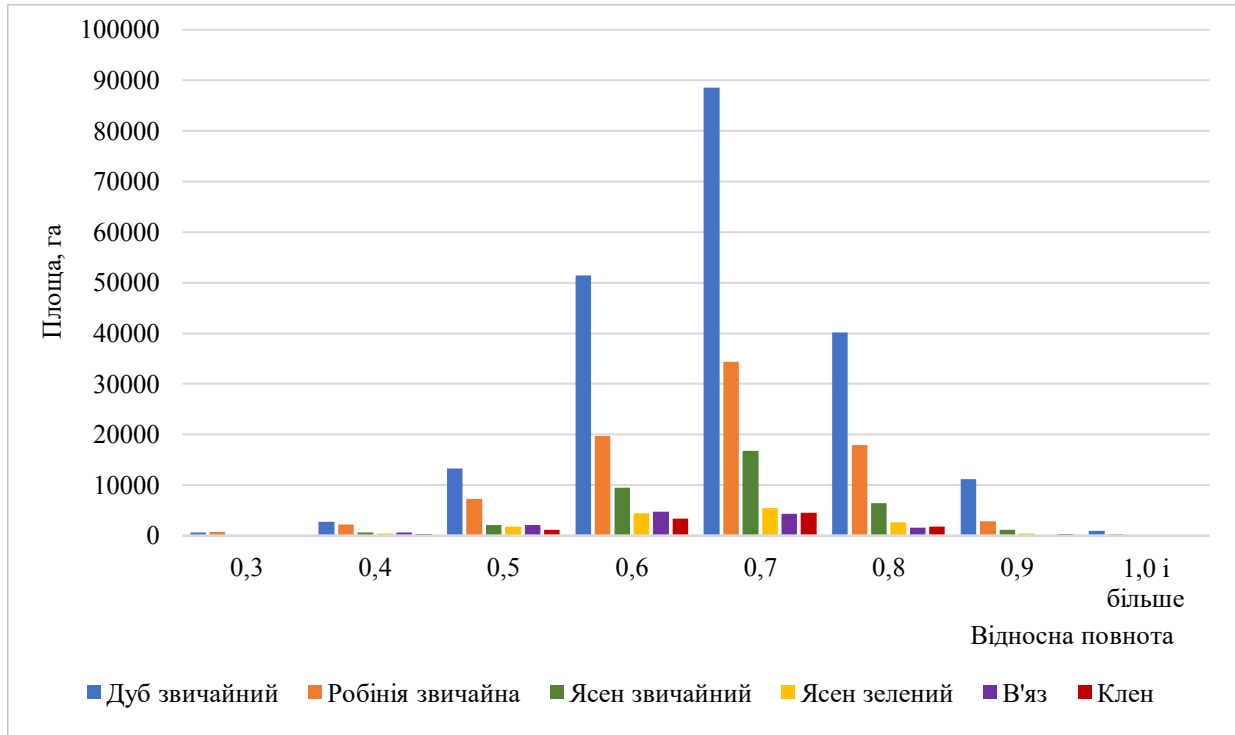


Рис. 4. Розподіл площі твердолистяних деревних видів за повнотою, га
Fig. 4. Distribution of the area of hardwood tree species by relative stocking, ha

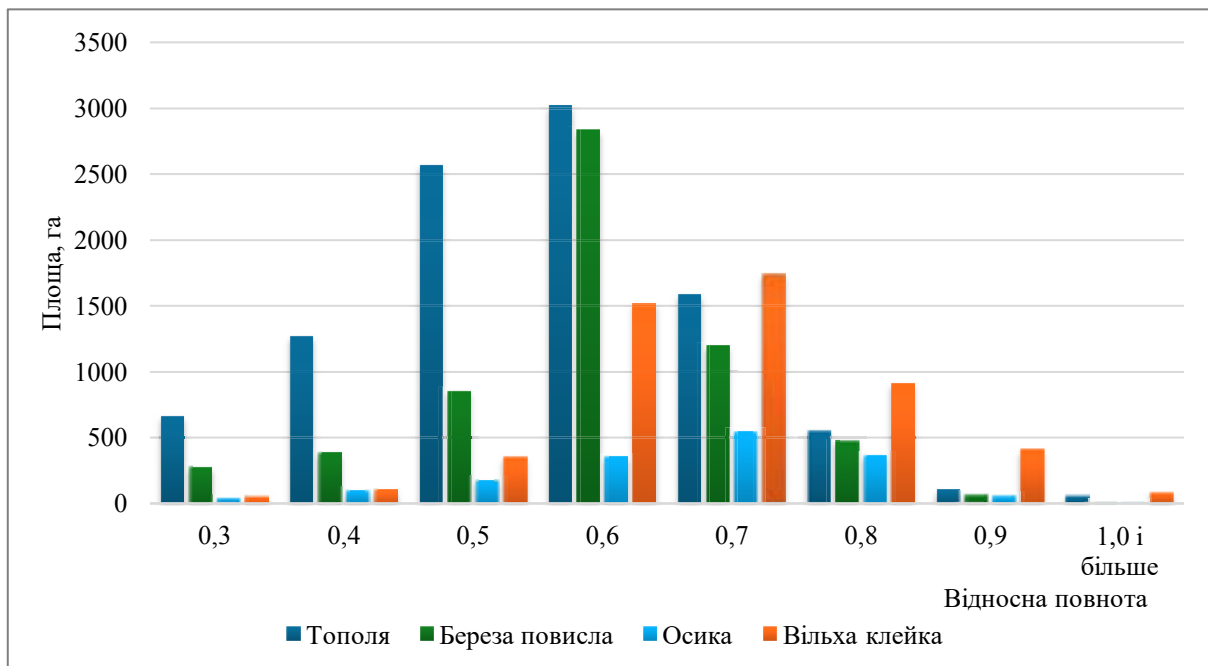


Рис. 5. Розподіл площі м'яколистяних деревних видів за повнотою, га
Fig. 5. Distribution of the area of softwood tree species by relative stocking, ha

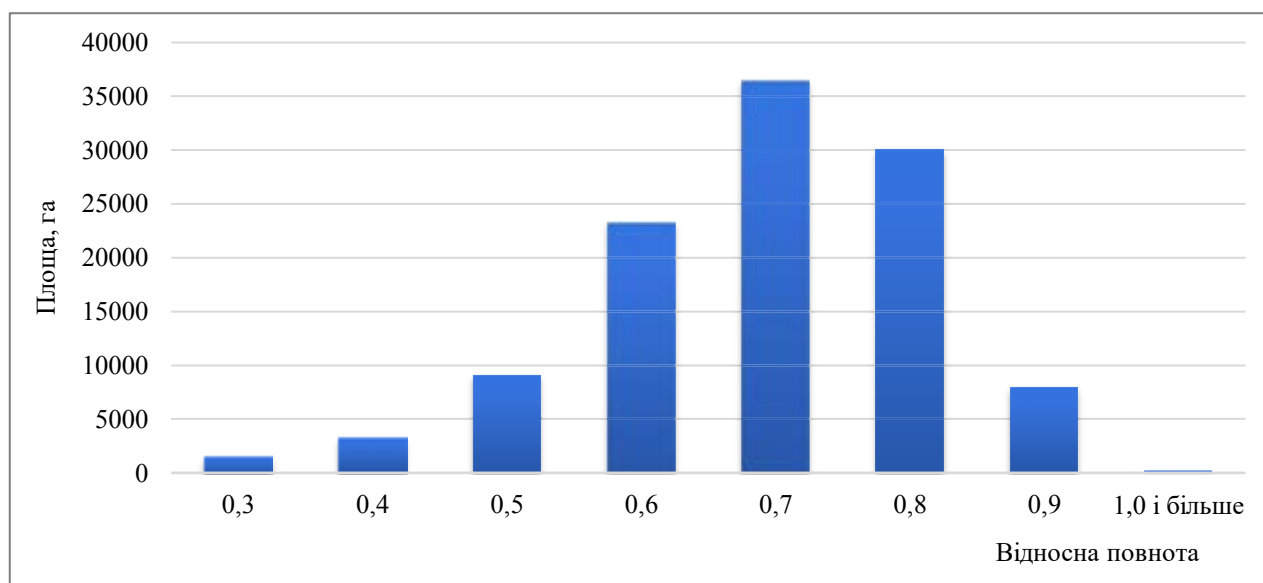


Рис. 6. Розподіл площі насаджень сосни звичайної за повнотою, га

Fig. 6. Distribution of the area of Scots pine plantations by relative stocking, ha

мати різну потребу в площі живлення та формувати різну повноту насаджень. У лісах Північного Степу України найбільші площі серед твердолистяних деревних видів займають дуб звичайний та робінія звичайна. Дуб звичайний відноситься до світлолюбних деревних видів, який витримує затінення лише в молодому віці. Відповідно, цей деревний вид формує переважно середньоповнотні насадження з відносною повнотою 0,6 (24,6%) та 0,7 (42,4%), що в сукупності становить 67% площі всіх дубових насаджень в регіоні досліджень. Значно менша площа дубових насаджень із повнотою 0,8 (19,2%) і повнотою 0,9 і більше (5,8%). На низькоповнотні дубові насадження з повнотою 0,3-0,5 сукупно припадає лише 8% займаної площі (див. рис. 4).

Робінія звичайна є дуже світлолюбним деревним видом. Подібно до дуба звичайного, робінія в регіоні досліджень формує переважно середньоповнотні насадження із повнотою 0,6 (23,1%) та 0,7 (40,2%), що в сукупності становить 63,3% зайнятої площі. Високоповнотні деревостани з повнотою 0,8 становлять доволі високу частку – 20,9%. Низькоповнотні робінієві насадження із повнотою 0,3-0,5 сукупно займають лише 12,0% площі. Високоповнотні насадження робінії звичайної з повнотою 0,9 і більше трапляються зрідка (3,8%).

М'яколистяні деревні види у досліджуваному регіоні формують переважно середньоповнотні насадження із повнотою 0,6 та 0,7, які сукупно для різних видів тополі становлять 46,8, берези повислої – 66,1, осики – 55,0 та вільхи клейкої – 63,0% зайнятої площі (див. рис. 5). Високоповнотні насадження із повнотою 0,8

частіше формує осика (22,4%) та вільха клейка (17,5%). Низькоповнотні насадження із повнотою 0,3-0,5 часто формують різні види тополі (45,7%) та береза повисла (24,8%).

Світлолюбна сосна звичайна, яка також досить поширена у регіоні досліджень, формує середньоповнотні деревостани із повнотою 0,6 та 0,7, які сукупно становлять 53,4% зайнятої площі та високоповнотні – із повнотою 0,8 (26,9%). Соснові насадження із повнотою 0,9 і вище становлять невелику частку – 7,3%, а низькоповнотні із повнотою 0,3-0,5 – 12,3% (див. рис. 6).

На території Північного Степу України найпоширенішими типами лісорослинних умов є сугруди, які займають більше половини площі вкритих лісовою рослинністю ділянок (52,8%). Грудові типи становлять 25,2%, субори – 13,9%, бори – 8,1%. Серед усіх гігروتопів переважають сухі (сукупно 52,2%) та свіжі (сукупно 40,6%). Значно рідше трапляються вологі (4,8%), дуже сухі (1,2%), сирі (1,0%) та мокрі (0,1%) гігروتопи.

Дискусія (Discussion). Ліси Північного Степу України виконують переважно водоохоронні, ґрунтозахисні, санітарно-гігієнічні, оздоровчі та природоохоронні функції. В умовах недостатнього зволоження ці ліси забезпечують надзвичайно важливу місію у пом'якшенні клімату, в оптимізації водного балансу, запобіганні ерозії ґрунтів, будучи одночасно особливо вразливими до зміни клімату. Вони не утворюють суцільних лісових масивів, переважно ростуть у вигляді байрачних, заплавних лісів та штучних насаджень. Твердолистяні деревні види, серед яких основним лісотвірним видом є дуб звичайний, здебільшого ростуть у байрачних

лісах (балки, яри), посідаючи більш зволожені місця. М'яколистяні ліси (тополеві, березові, осикові, вільхові) переважно формуються у заплавах річок. Хвойні ліси із сосни звичайної здебільшого створені штучним шляхом для захисту полів від вітрової ерозії, які переважно ростуть у сухих та свіжих умовах на піщаних і супіщаних ґрунтах.

На важливості природоохоронної й біосферної ролі лісів, особливо в степовій зоні, а також на їхньому економічному й загальнодержавному значенні наголошують багато дослідників (Ткач та ін., 2025). Під час створення нових лісів необхідно звертати увагу на те, щоб їхні майбутні склад і структура якнайповніше враховували склад і структуру лісів, характерних для певного типу лісу (корінного деревостану), були максимально наближеними до складу природних лісостанів, еволюційно сформованих впродовж тривалого часу.

Географічне положення, особливості клімату та лісорослинні умови Північного Степу України значною мірою визначають склад і структуру лісів. Незважаючи на несприятливі кліматичні умови для формування лісів, досліджуваний регіон все ж вирізняється значним видовим різноманіттям основних лісотвірних видів, серед яких дуб звичайний (38,8%), сосна звичайна (20,7%), робінія звичайна (15,9%), ясен звичайний (6,8%), ясен зелений (2,8%), береза повисла (1,1%), вільха клейка (1%), а також різні види в'язів, кленів, тополь та деяких інших деревних видів.

Середні таксаційні показники деревостанів основних лісотвірних видів за результатами повидільної оцінки таксаційної бази даних показали значну розбалансованість вікової структури в межах лісостанів. У всіх групах порід спостережено переважання середньовікових деревостанів та нагромадження стиглих і перестиглих насаджень серед твердолистяних і м'яколистяних деревних видів. Для всіх груп порід у регіоні характерна низька площа молодняків. Основною причиною такої вікової структури може бути відсутність категорії експлуатаційних лісів з інтенсивним проведенням рубок та відновленням лісів або зарахування стиглих і перестиглих насаджень до складу природоохоронних об'єктів.

Проведений дослідниками на території Дніпропетровської обл. лісівничо-таксаційний аналіз лісів (Ситник та ін., 2013) також засвідчує розбалансованість вікової структури лісостанів й перевагу середньовікових і стиглих деревостанів у цьому регіоні, як і в цілому по країні (Ткач та ін., 2025).

Результати досліджень соснових деревостанів в умовах Лівобережного Придніпровського Степу України (Ловинська та ін., 2015) показали, що загалом їхня відносна повнота змінюється від 0,3 до 1,0, проте переважають середньоповнотні насадження з повнотою 0,6-0,7 (55,6%) та високоповнотні – з повнотою 0,8-1,0 (24,0%). На досліджуваній території сосна звичайна формує високопродуктивні деревостани І і вище – ІІ класів бонітету (93,0%). Середньо- та низькобонітетні насадження займають незначну площу, як і в цілому для Північного Степу України. Отримані нами результати досліджень у загальних рисах співпадають з результатами досліджень Ловинської та ін. (2015).

Висновки (Conclusions).

1. В умовах Північного Степу України деревостани розміщені нерівномірно. Найбільша їхня площа знаходиться у Луганській області (41,4%), а найменша – у Запорізькій (3,5%);

2. У регіоні досліджень відсутня категорія експлуатаційних лісів. Переважають площі захисних та рекреаційно-оздоровчих лісів (83,0%), що свідчить про їхню високу екологічну значимість для досліджуваного регіону.

3. У групі твердолистяних порід середній вік деревостанів є відносно високим і змінюється в межах 62-104 роки. У групі м'яколистяних порід середній вік істотно нижчий (31-58 років) за винятком видів роду тополі, де середній вік перестиглих деревостанів становить 115 років. Хвойна група порід представлена середньовіковими деревостанами сосни звичайної.

4. У твердолистяній групі порід найширший діапазон бонітетів спостережено у деревостанах дуба звичайного, робінії звичайної та ясена звичайного. Їхні середні показники знаходяться в межах ІІ-ІІІ класів бонітету. М'яколистяна група порід характеризується високою продуктивністю деревостанів тополевих видів, берези повислої та вільхи клейкої. Їхня середня продуктивність змінюється в межах від І^а до ІІ класів бонітету. Деревостани сосни звичайної характеризуються середньою продуктивністю (І,5 клас бонітету).

5. Деревостани основних лісотвірних деревних видів регіону досліджень є середньоповнотними в усіх групах порід з переважанням середніх відносних повнот в межах 0,6-0,7.

6. Найпоширенішими типами лісорослинних умов є сугруди, які займають більше половини площі вкритих лісовою рослинністю ділянок (52,8%). Менше поширені груди (25,2%), субори (13,9%) та бори (8,1%) з переважанням сухих (52,2%) та свіжих (40,6%) гігروتопів.

7. Лісостани Північного Степу України становлять вагому складову як ресурсного, так і екологічного потенціалу лісового фонду держа-

ви, а тому потребують розроблення сучасного нормативно-інформаційного забезпечення для

оцінювання їхніх екосистемних функцій, впливу на довкілля та глобальні зміни клімату.

Список літератури (References)

- Bala, O. (2020). To the methods for actualization of main stands parameters of hardwood tree species of Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11(3), 4–14. <https://doi.org/10.31548/forest2020.03.001>
- 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». 424 с.] (in Ukrainian)
- Bontemps, J. D., & Bouriaud, O. (2013). Predictive approaches to forest site productivity: recent trends, challenges and future perspectives. *Forestry*, 87, 109–128. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt034>
- Gensiruk, S. A. (2002). *Forests of Ukraine*. Lviv: Ukrainian State Forestry University [Генсірук, С. А. (2002). *Ліси України*. Львів: УДЛТУ. 328 с.] (in Ukrainian)
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2006) *2006 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories*. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324>
- Intergovernmental Panel on Climate Change. (2022). *Climate change 2022: Mitigation of climate change*. <https://doi.org/10.1017/9781009157926>
- Kopiy, L. I., Honchar, V. M., Kaganyak, Yu. Y., & Kopiy, S. L. (2013). Analysis of the dependence of the main mensurational indicators of birch-pine stands on environmental factors – a prerequisite for the formation of highly productive forest ecosystems in the Western Polissia. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 58–64. [Копій, Л. І., Гончар, В. М., Каганяк, Ю. Й., Копій, С. Л. (2013). Аналіз залежності основних таксаційних показників березово-соснових деревостанів від чинників середовища – передумова формування високопродуктивних лісових екосистем Західного Полісся. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, –, 58–64]. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/325> (in Ukrainian)
- Lakyda, P. I. (2002). *Live biomass of Ukrainian forests*. Ternopil: Zbruch [Лакида, П. І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч. 242 с.] (in Ukrainian)
- Lakyda, P., Bilous, A., Shvidenko, A., Myroniuk, V., Matsala, M., Vasylyshyn, R., Holiaka, D., & Lakyda, I. (2018). *Ecosystem Services of Ukrainian Forests: a Case Study for the Polissya Region*. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. ISBN 978-617-7630-62-2
- Lovynska, V. M., Balabak, A. F., Maslikova, K. P., & Molyboga A. S. (2015). Forestry and measurement characteristics of pine stands in the conditions of the Left-bank Dnieper Steppe of Ukraine. *Collection of scientific papers of the Uman National University of Horticulture*, 87(1), 30–36. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87\(1\)_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/zhpumus_2015_87(1)_6) [Ловинська, В. М., Балабак, А. Ф., Маслікова, К. П., Молибога, А. С. (2015). Лісівничо-таксаційна характеристика соснових деревостанів в умовах Лівобережного Придніпровського Степу України. *Збірник наукових праць Уманського національного університету садівництва*, 87(1), 30–36] (in Ukrainian)
- Lovynska, V., Lakyda, P., Sytnyk, S., Lakyda, I., Gritzan, Y., & Hetmanchuk, A. (2019): Stem production of Scots pine and black locust stands in Ukraine's Northern Steppe. *Journal of Forest Science*, 65, 461–471. <https://doi.org/10.17221/92/2019-JFS>
- Lovynska, V. M., & Lakyda, P. I. (2016). Estimation of carbon and energy content in above-ground live biomass of pine stands of the Northern Bayrach Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 255, 73–80. http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_lis_2016_255_10 [Ловинська, В. М., Лакида, П. І. (2016). Оцінка вмісту вуглецю та енергії у надземній фітомасі соснових деревостанів Північного байрачного степу України. *Науковий вісник НУБіП України*, 255, 73–80] (in Ukrainian)
- Lovynska, V., Buchavyi, Yu., Lakyda, P., Sytnyk, S., Gritzan, Yu., & Sendziuk, R. (2020). Assessment of pine aboveground biomass within Northern Steppe of Ukraine using Sentinel-2 data. *Journal of Forest Science*, 66, 339–348. <https://doi.org/10.17221/28/2020-JFS>
- Myroniuk V. V., Svinchuk V. A., Bilous A. M., & Vasylyshyn R. D. (2019). *Forest mensuration*. Kyiv: National University of Life and

- Environmental Sciences of Ukraine [Миронюк В. В., Свинчук В. А., Білоус А. М., Василишин Р. Д. (2019). Лісова таксація. Київ : НУБіП України/ 324 с.] (in Ukrainian)
- Nothdurft, A., Wolf, T., Ringeler, A., Böhner, J., & Saborowski, J. (2012). Spatio-temporal prediction of site index based on forest inventories and climate change scenarios. *Forest Ecology and Management*, 279, 97–111. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.05.01>
- Roe, S., Streck, C., Obersteiner, M., Frank, S., Griscom, B., Drouet, L., ... Lawrence, D. (2019). Contribution of land sector to 1.5°C pathways. *Nature Climate Change*, 9, 817–828. <https://doi.org/10.1038/s41558-019-0591-9>
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. & Lakyda, P. (2017). *Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute in Basel, Switzerland. MDPI. <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- Sytnyk, S. A., Lovynska, V. M., & Velichko, V. M. (2013). Forestry and measurement analysis of forests of the Dnipropetrovsk region. *Bulletin of the Dnipropetrovsk University*, 21(2), 76–82. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdube_2013_21\(2\)_6](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vdube_2013_21(2)_6) [Ситник, С. А., Ловинська, В. М., Величко, В. М. (2013). Лісівничо-таксаційний аналіз лісів Дніпропетровської області. *Вісник Дніпропетровського університету*, 21(2), 76–82] (in Ukrainian)
- Sytnyk, S. A., & Lakyda, P. I. (2017). Leaf surface area index of robinia stands in the Northern Steppe of Ukraine. *Forestry and agroforestry melioration. Forestry and Forest Melioration*, 131, 143–149. http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2017_131_18
- [Ситник, С. А., Лакида, П. І. (2017). Індекс площі листової поверхні робінієвих деревостанів Північного Степу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 131, 143–149] (in Ukrainian)
- 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>
- Tkach, V., & Kobets, O. (2025). Current state of forests in Ukraine under the influence of climate change and military aggression. *Forestry and Forest Melioration*, 146, 3–13. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.146.2025.3>
- [Ткач, В., Кобець, О. (2025). Сучасний стан лісів в Україні в умовах впливу зміни клімату та воєнної агресії. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 146, 3–13] (in Ukrainian)
- Vaskevich, M. S. (2010). Features of the creation and structure of the “Forest Fund of Ukraine” data bank. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental sciences of Ukraine*, 147, 188–195 [Васькевич, М. С. (2010). Особливості створення та структура банку даних «Лісовий фонд України». *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 147, 188–195] (in Ukrainian)

Mensuration structure of forests of the Northern Steppe of Ukraine as a basis for assessing their ecosystem functions

P. Lakyda¹, L. Matushevich², A. Makarevych³

In the context of global climate change, the ecosystem functions of forests represent an effective tool for mitigating these processes and have been a major focus of scientific and public attention over the past decades. Particular attention is paid to forest ecosystems that act as critical buffers at the boundaries of geographical zones. The forests of the Northern Steppe of Ukraine represent precisely such systems, requiring detailed studies of their ecological impact on the regional environment.

The implementation of this task requires an up-to-date assessment of the structure of forest stands according to the main mensuration features. For this purpose, the structure of the main mensuraed indicators of stands of the main forest-forming species of the Northern Steppe of Ukraine was analyzed according to the data of the separate database of the Production Association «Ukrderzhlisproekt» as of 01.01.2024. The mensuraed structure of stands was assessed, its components were analyzed within the forest fund of 8 administrative regions of the studied region.

According to the results of the research, it was found that the structure of mensuraed indicators of stands of the main forest-forming species of the region has a low dispersion within the groups of hardwood and softwood species. One of the reasons for this is the absence of a category of operational forests. In the hardwood group of species, the average age of stands is relatively high and ranges from 62-104 years. In the softwood group, the average age is significantly lower and ranges from 31-58 years, with the exception of species of the poplar species, where the average age of standing stands is 115 years.

The average productivity indicators for the main species of the hardwood group of species (oak, robinia and ash) are within the II and III site classes.

The average stock of stem wood of the named species is 169, 94 and 203 m³·ha⁻¹, respectively. The soft-leaved group of species (poplar species, birch and alder) is characterized by high average productivity of stands in the corresponding types of forest vegetation conditions, which fluctuates within the I^a and II site classes. Their average stock of stem wood is 210, 90 and 211 m³·ha⁻¹, respectively. The coniferous group of species is represented by Scots pine of average productivity (I.5 site class), the prevailing range is within the I^b - IV site classes. The average stock of stem wood is 230 m³·ha⁻¹.

It is noted that all groups of species form mainly medium stocking stands with a relative stocking of 0.6 and 0.7. Depending on the tree species, the area of such stands ranges from 46.8 % to 67 % of the area occupied by them. High-relative stocking and low-relative stocking stands of coniferous and hardwood species in the study region are rare.

Despite the high average age of the analyzed groups of stands, their productivity, average stocks and relative stocking are characterized by low indicators, which is quite natural for the forests of this geographical subzone.

The studied category of stands constitutes a significant share in the resource and ecological potential of the region and requires the development of current regulatory and information support for assessing the quantitative and qualitative parameters of the ecosystem functions of forests.

Key words: forest-forming tree species; administrative region, stand; productivity; age structure; stock; site classes; relative stocking, types of forest vegetation conditions.

1 *Petro Lakyda* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, First Vice-president of the FAS of Ukraine, Honored Worker of Science and Technology of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

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

3 *Anatoliy Makarevych* – Doctor of Philosophy, Assistant Professor, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 15 Heroiv Oborony St., Kyiv, 03041, Ukraine, E-mail: amakarevych@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9448-3028>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412612>
Article received 2025.10.23
Article revised 2026.03.27
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Petro Khomiuk
khompetro@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*5 : 633.872

Характеристика деревних лісових ресурсів букових деревостанів південного мегасхилу Полонинського хребта і Вулканічних Українських Карпат

В.В. Трикур¹, П.Г. Хомюк²

Для модальних букових деревостанів, поширених у лісовому фонді Хустського, Свалявського та Ужгородського надлісництв, на основі повидільної лісовпорядної бази даних 2021 р. проаналізовано обсяги деревних лісових ресурсів залежно від вікових груп, експозицій схилу, висоти над рівнем моря, бонітету та відносної повноти. Найбільші запаси модальних букових деревостанів у регіоні досліджень зосереджені в лісовому фонді Хустського і Свалявського надлісництв – 49,45 млн м³, що становить 76,9% від загального обсягу. На висоті 401-800 м н.р.м. в межах південного мегасхилу Полонинського хребта зосереджено 34,4 млн м³ деревини або 67%, а у Вулканічних Українських Карпатах на висоті 201-600 м н.р.м. – 7,8 млн м³ або 63%. У регіоні досліджень букові деревостани високої товарності формуються в умовах вологої чистої бучини з відносною повнотою 0,71-0,80, характеризуються I^a і вище класами бонітету та розташовані на висоті 401-800 м н.р.м. здебільшого на схилах північних експозицій. За продуктивністю переважають експлуатаційні букові деревостани південного мегасхилу Полонинського хребта з середніми запасами 380 м³·га⁻¹ (максимальні – 780 м³·га⁻¹). В умовах Вулканічних Українських Карпат середні запаси децю нижчі – 330 м³·га⁻¹ з максимальним показником 630 м³·га⁻¹. У регіоні досліджень у лісовому фонді лісогосподарських підприємств щороку заготовлюють близько 410 тис. м³ стовбурової деревини, з яких 234 тис. м³ (57%) припадає на рубки головного користування, а 176 тис. м³ (43 %) – на рубки, пов'язані з веденням лісового господарства. Інтенсивність експлуатації деревних лісових ресурсів невисока і за часткою використання загального середнього приросту запасів характеризується значенням в межах 38-48%, що свідчить про наявність значного лісоресурсного потенціалу букових лісостанів. Площа букових деревостанів з високими показниками товарності запасів для лісогосподарських підприємств південного мегасхилу Полонинського хребта становить 42-62%, а для Вулканічних Українських Карпат – 68-77%. У 100-річному віці модальні букові деревостани в регіоні досліджень здатні нагромаджувати близько 500 м³·га⁻¹ деревини, вартість якої за ставками

¹ Трикур Василь Васильович – аспірант кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: trivasuya@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>

рентної плати становить 138 тис. грн·га⁻¹, а також депонувати 212 т·га⁻¹ вуглецю і нагромаджувати 424 т·га⁻¹ надземної фітомаси.

Ключові слова: запас деревостану; тип лісу; таксаційні показники деревостану; товарна структура запасів; вартість деревини; рентна плата; ділові стовбури; надземна фітомаса.

Вступ (Introduction).

Оцінювання деревних лісових ресурсів у контексті раціонального природокористування розглядається як ключовий елемент в системі управління природними ресурсами і сталого ведення лісового господарства. У сучасних наукових дослідженнях цей аспект вивчається комплексно, поєднуючи якісні, кількісні та економічно значимі характеристики лісових насаджень. Окрім того, останнім часом цей перелік доповнюють такими екосистемними послугами, як депонування вуглецю, збереження біорізноманіття та забезпечення рекреаційного потенціалу лісових територій. За дослідженнями окремих науковців (Kangas & Maltamo, 2020), характеристика лісових ресурсів передбачає оцінювання запасів деревини, вертикальної і горизонтальної структури насаджень, обсягів нагромадження біомаси (в окремих випадках – лише фітомаси) та екосистемних функцій. Комплексне оцінювання деревних лісових ресурсів особливо важливе для України, де воно, поряд із експлуатаційними функціями, відіграє важливу роль у забезпеченні екологічної рівноваги.

За даними ФАО, згідно з програмою глобального оцінювання лісових ресурсів Forest Resources Assessment (FRA), площа вкритих лісовою рослинністю ділянок в Україні зросла з 1988 до 2025 року на 877 тис. га, тобто з 9213 до 10090 тис. га, з яких 52% представлено лісами природного походження. Водночас за результатами дистанційних досліджень виявлено близько 1,7 млн га самосійних лісів, щодо яких наразі триває процедура верифікації та офіційної зміни їхнього первинного статусу на лісові угіддя. Також за результатами такого оцінювання було виявлено, що загальний запас стовбурової деревини становить 2334,0 млн м³, з яких 1205 млн м³ зосереджено у деревостанах природного і 1129,0 млн м³ – у деревостанах штучного походження. Станом на 2025 р. середній запас деревостанів на вкритих лісовою рослинністю ділянках становить 230 м³·га⁻¹ у природних лісостанах і 232 м³·га⁻¹ – у лісових культурах. В середньому у деревостанах лісового фонду України зосереджено 140 т·га⁻¹ надземної фітомаси, яка містить 69,45 т/га вуглецю. Із загальної площі вкритих лісовою рослинністю ділянок експлуатаційні ліси становлять 4,41 млн га, або 43,7% (Global Forest ..., 2025).

Деревні лісові ресурси належать до біотичних відновлювальних природних багатств, які людство використовує для задоволення своїх потреб. Поряд з невідновлювальними викопними енергетичними ресурсами (нафта, вугілля, газ) деревні характеризуються багатофункціональністю, оскільки мають екологічну, економічну та інноваційну цінність і відновлюються в процесі росту лісостанів.

Згідно із Лісовим Кодексом України (1994), «Лісові ресурси – це деревні, технічні, лікарські та інші продукти лісу (гриби, ягоди, горіхи), що використовуються для потреб населення та виробництва». Найвагомішими і найперспективнішими з них вважаються деревні ресурси, що пов'язані зі щораз ширшим використанням деревини у будівництві, біоенергетиці (паливні пелети, брикети, деревна тріска), біоекономіці (біопластики), циркуляційній економіці (перероблення відходів деревини, повторне використання матеріалів) та ін. Також варто відзначити непересічну роль деревних ресурсів в екосистемних послугах (поглинання вуглекислого газу, захист ґрунтів) і сталому використанні цих ресурсів (заготівля деревини, відновлення лісових масивів, збереження біорізноманіття).

Основні напрями сучасних досліджень природних лісових ресурсів України стосуються різних аспектів, зокрема, статистичної оцінки і динаміки запасів лісостанів. Результати досліджень (Korotetska et al., 2022) свідчать, що динаміка лісових ресурсів відзначається регіональними особливостями, зокрема, виявлені більш позитивні тенденції у західних областях та менш позитивні – у східних. За результатами окремих досліджень (Kalashnikov et al., 2024) зроблено висновок про значні втрати як деревних лісових ресурсів, так і біорізноманіття лісових екосистем, що пов'язано з господарською діяльністю та військовими діями. За даними ФАО, близько 1 млн га українських земель перебувають у прифронтовій зоні, а 690 тис. га земель потребують розмінування (Global Forest ..., 2025).

За проміжними підсумками Національної інвентаризації лісів України (2023), лісистість території держави становить близько 15,9%, що є низьким показником порівняно з іншими європейськими державами. Водночас міжнародні дослідження (FAO, 2020) підтверджують поступове зростання площі лісів за рахунок

природного відновлення та лісорозведення, що також характерне і для території Закарпаття (*Стратегія розвитку Закарпатської області...*, 2024).

Не менш важливим аспектом є еколого-економічне значення деревних лісових ресурсів (Deyneka, 2009; Soloviy et al., 2017; Prykhodko et al., 2020; Soloviy et al., 2021; Dankevych, 2021). Еколого-економічний підхід передбачає інтеграцію екологічних та економічних показників у систему лісогосподарювання та управління лісовими ресурсами. Це особливо важливо в умовах військового стану, коли екологічні збитки від знищення і деградації лісів суттєво зростають. Економічний ефект від використання природних лісових ресурсів можна успішно оцінювати за такими екосистемними послугами, як регулювання клімату, водоохоронні та ґрунтозахисні функції, рекреаційна цінність тощо. Такий підхід дає змогу повноцінніше враховувати реальну економічну значимість лісових ресурсів, особливо в гірських умовах (Екологічний паспорт Закарпатської області ..., 2024).

Традиційні методики оцінювання лісових ресурсів зазвичай базуються на лісоінвентаризаційних і лісовпорядних даних, які в подальшому становлять основу для статистичної звітності у лісовому секторі держави (World Bank Group, 2022; UNECE, 2021; State Forest Resources Agency of Ukraine, 2023; State Statistics Service of Ukraine, 2024). Проте останнім часом спостерігається дедалі ширше використання дистанційних методів та геоінформаційних систем для ідентифікації й територіального розташування лісових ресурсів (Kangas & Maltamo, 2020; Burkhardt & Tomé, 2021). Сучасні дослідження у цій царині акцентують увагу на використанні ГІС-технологій і супутникових даних для ефективнішого оцінювання площі лісів, виявлення зрубів, аналізу процесів знеліснення, виявлення площ пошкоджених насаджень під впливом стихійних явищ. Такі підходи особливо затребувані в умовах обмеженого доступу до лісових територій, зокрема й через військові дії.

Незважаючи на те, що деревостани основних лісотвірних деревних видів здатні поновлюватися природним шляхом, й надалі актуальними залишаються питання відновлення корінних деревостанів, що є одним із ключових чинників сталого управління деревними лісовими ресурсами (FSC Ukraine, 2023). Також при цьому особливу увагу звертають на самосійні ліси, які мають значний потенціал для досягнення оптимальної лісистості України (Horodyschna, 2022). За умови ефективного відновлення корінних лісових фітоценозів лісова політика

сталого управління деревними ресурсами має орієнтуватися на пошук балансу між експлуатацією та їх відновленням (Gusti et al., 2020), впровадженням сертифікації (FSC), адаптацією до зміни клімату основних лісотвірних деревних видів.

Економічна роль деревних лісових ресурсів вважається непересічною для успішного розвитку економіки, особливо в сільських територіях, де вони є джерелом доходів, зайнятості та інвестицій. За даними Світового банку (World Bank Group, 2022), лісовий сектор України має значний потенціал для зростання, проте потребують реформування системи управління та підвищення прозорості стосовно експлуатації деревних ресурсів.

Аналіз низки наукових праць (Gusti et al., 2020; Slyusarchuk, 2020; UNECE, 2021; Global Forest Resources Assessment, 2025) засвідчує, що під час оцінювання деревних лісових ресурсів відбувається перехід від традиційних методів до цифрових технологій, акцентування уваги на екосистемних послугах та економічній характеристиці, врахування нових викликів, пов'язаних з кліматичними змінами і військовими діями, врахуванні ролі деревини як відновлювального природного ресурсу. Тому сучасні дослідження формують комплексну систему оцінювання деревних ресурсів, яка відповідає основам сталого розвитку, а інтеграція екосистемних послуг сприяє розумінню лісового фітоценозу як ресурсу деревини у поєднанні з вуглецевим балансом, біорізноманіттям та рекреацією.

Перехід до дистанційного моніторингу за природними ресурсами дає змогу активно використовувати супутникові дані (Sentinel-2, Landsat), забезпечуючи точність понад 90% під час оцінювання вкритих лісовою рослинністю площ та сприяє розширенню ресурсної бази за рахунок потенційних площ для лісорозведення – самосійних лісів і деградованих земель. У зв'язку з цим, поступово зростатиме економічна роль деревних лісових ресурсів, вдосконалюватимуться механізми рентної плати за деревину та екосистемні послуги, що безумовно відобразиться на регіональному розвитку лісистих територій України, зокрема, й на теренах Закарпатської області.

Дослідження ресурсного потенціалу букових насаджень стосувалися, насамперед, вивчення особливостей нагромадження запасів деревини (Ільків, 2004; Куриляк, 2011), формування біологічної продуктивності бучин та моделювання динаміки їхніх запасів (Каганяк, 2006; Вапа, 2015; Бала, Лакида, 2017, 2019; Слюсарчук, 2020; Гриник, Г., Задорожний, Гриник, О., 2021), моделювання вікової зміни

фітомаси залежно від різних факторів (Гриник, Задорожний, 2018; Задорожний, 2021), формування букових лісостанів під впливом кліматичних змін (Шпарик та ін., 2020; Калашніков та ін., 2024; Fuchs et al., 2025), лісоуправління деревними ресурсами букових лісів та надання ними екосистемних послуг (Криницький та ін., 2014; Парпан, В., Чернявський, Парпан, Т., 2017; Prykhodko et al., 2020; Roessiger et al., 2023; Kisin et al., 2025).

Проте, незважаючи на значну кількість наукових публікацій з оцінювання деревних лісових ресурсів, зокрема у букових фітоценозах, дослідження деревних ресурсів у лісостанах за участю *Fagus sylvatica* L. й надалі залишаються актуальним. Зокрема, ведення лісового господарства на засадах наближеного до природи лісівництва потребує наявності надійних таксаційних даних, на основі яких можна було б розробляти план лісоуправління деревними лісовими ресурсами окремого регіону. Зважаючи на цей аспект, ефективне використання деревних ресурсів має опиратися на реальні лісоінвентаризаційні матеріали і враховувати регіональні особливості структури лісового фонду та особливості формування лісових насаджень в умовах кліматичних змін. Тому *актуальність дослідження* полягає в тому, що за отриманими результатами аналізуватиметься лісоресурсний потенціал букових насаджень, за якими встановлюватимуться особливості формування товарних запасів деревини у модальних деревостанах конкретного регіону досліджень.

Мета роботи полягає у виявленні обсягів деревних лісових ресурсів, вивченні особливостей структури заготовленої деревини у високопродуктивних експлуатаційних букових деревостанах вологої чистої бучини в межах регіону досліджень, наданні їм лісівничо-таксаційної, товарної та економічної оцінки.

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

Об'єкт досліджень – зміни з віком таксаційних показників і товарності запасів експлуатаційних букових деревостанів вологої чистої бучини у лісовому фонді найбільших за площею лісогосподарських підприємств в межах південного мегасхилу Полонинського хребта і Вулканічних Українських Карпат. *Предмет досліджень* – товарна структура запасів деревини, лісівничо-таксаційні показники букових деревостанів та їхня зміна.

Для дослідження структури та обсягів деревних лісових ресурсів модальних букових деревостанів вологої чистої бучини використано матеріали повидільної бази даних ВО «Укредержліспроєкт» станом на 01.01.2021 р.

лісового фонду тих підприємств, які зосереджені у регіоні досліджень: південний мегасхил Полонинського хребта (філія «Свалявське ЛГ», філія «Довжанське ЛМГ», філія «Хустське ЛДГ»); Вулканічні Українські Карпати (філія «Ужгородське ЛГ», філія «Мукачівське ЛГ»). Також були використані матеріали 41 пробної ділянки, відмежовані у цьому типі лісу лісового фонду згаданих підприємств. За результатами аналізу матеріалів базового лісовпорядкування встановлено особливості розподілу площ модальних букових деревостанів за запасами стовбурової деревини, кількістю ділових стовбурів, висотою над рівнем моря.

Для детального висвітлення поставлених завдань також використано інформаційні ресурси, розміщені на сайтах Державної служби статистики України, Державного агентства лісових ресурсів України, лісовпорядні бази підприємств Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання ВО «Укредержліспроєкт».

Лісівничо-таксаційну характеристику деревостанів і товарну структуру запасів коригували за результатами, отриманими на основі опрацювання 41 тимчасової пробної ділянки, які були закладені у букових деревостанах вологої чистої бучини.

Основні лісівничо-таксаційні показники букових деревостанів встановлювали за загальновідомими таксаційними методиками (Щурик, 2000; Гром, 2010) з використанням чинних нормативів (Білоус та ін., 2020). Достовірність обчислених таксаційних показників встановлювали за статистичними критеріями (Горошко та ін., 2004).

Результати (Results).

Рациональне використання деревних лісових ресурсів у Карпатському регіоні неможливе без їхнього обліку, формування бази даних з основних лісівничо-таксаційних характеристик модальних деревостанів, зокрема й букових. Для цього необхідно виконати роботи з оптимізації внутрішньо-господарської організації територій надлісництва, оновити дані про сучасні кількісні та якісні характеристики букових лісостанів, опрацювати лісівничі вимоги до порядку використання деревних ресурсів, розробити комплекс господарських заходів з підвищення їхньої продуктивності та збереження біорізноманіття.

Суть раціонального ведення лісового господарства у лісових масивах Українських Карпатах передбачає таке використання деревних лісових ресурсів, яке не призведе до їхнього виснаження і сприятиме збереженню екологічної рівноваги у регіоні, оскільки карпатські ліси характеризуються не лише господарським, але й

вагомим водоохоронним, ґрунтозахисним, кліматорегулюючим та рекреаційним значенням. З огляду на це, потрібно поєднувати економічне використання лісів з їхньою охороною та відновленням.

Завдання у напрямі раціонального ведення лісового господарства передбачають застосування надійної нормативної бази, сформованої на основі достовірних даних з обов'язковим урахуванням поточних змін у насадженнях лісового фонду, динаміки їхньої продуктивності і товарності запасів. Досягнути такого рівня можна за умови використання таксаційних нормативів, отриманих за підсумками опрацювання статистично однорідних результатів з урахуванням поточного стану лісів, інтенсивності використання лісових ресурсів.

Якщо лісогосподарське виробництво в експлуатаційних лісах здійснювати на основі науково-обґрунтованих підходів, які передбачають раціональне використання запасів відпаду, вчасне вилучення з насаджень хворих і відсталих у рості екземплярів, то деревостан постійно характеризуватиметься оптимальними значеннями таксаційними ознак і високою товарністю запасів.

Регіональні лісотаксаційні нормативи забезпечують досягнення цілей з прозорого використання деревних лісових ресурсів відповідно до їхнього цільового призначення, дотримання принципів невиснажливого та безперервного використання природних ресурсів у межах загального щорічного приросту запасів, ефектив-

ного використання природних ресурсів на ринкових засадах, вдосконалення економічної значимості та підвищення прибутковості від лісовирощування, наросування лісоресурсного та екологічного потенціалів деревостанів, опрацювання заходів з розширеного відтворення лісових насаджень з можливістю їхнього подальшого багатоцільового використання.

За підсумками аналізу повидільної бази даних станом на 2021 р., загальний обсяг деревних ресурсів за запасами стовбурової деревини у лісостанах регіону досліджень становить 64,282 млн м³, з яких 52,883 млн м³ (82,3%) зосереджено у букових лісостанах усіх типів лісу і 22,090 млн м³ (34,4%) – у вологій чистій бучині (табл. 1).

Найбільші запаси сформовані у лісовому фонді лісогосподарських підприємств південного мегасхилу Полонинського хребта – 49,450 млн м³, що становить 76,9% від загального обсягу. Також варто відзначити, що 86,9% запасів букових деревостанів вологої чистої бучини зосереджені у лісогосподарських підприємствах південного мегасхилу Полонинського хребта.

Найбільші запаси стовбурової деревини у букових деревостанах в межах південного мегасхилу Полонинського хребта зосереджені на висотах 401-800 м н.р.м. – 34,432 млн м³ або 67% (рис. 1). У Вулканічних Українських Карпатах найбільші запаси сформувалися на дещо нижчих висотах – 201-600 м н.р.м. (7,769 млн м³ або 63%).

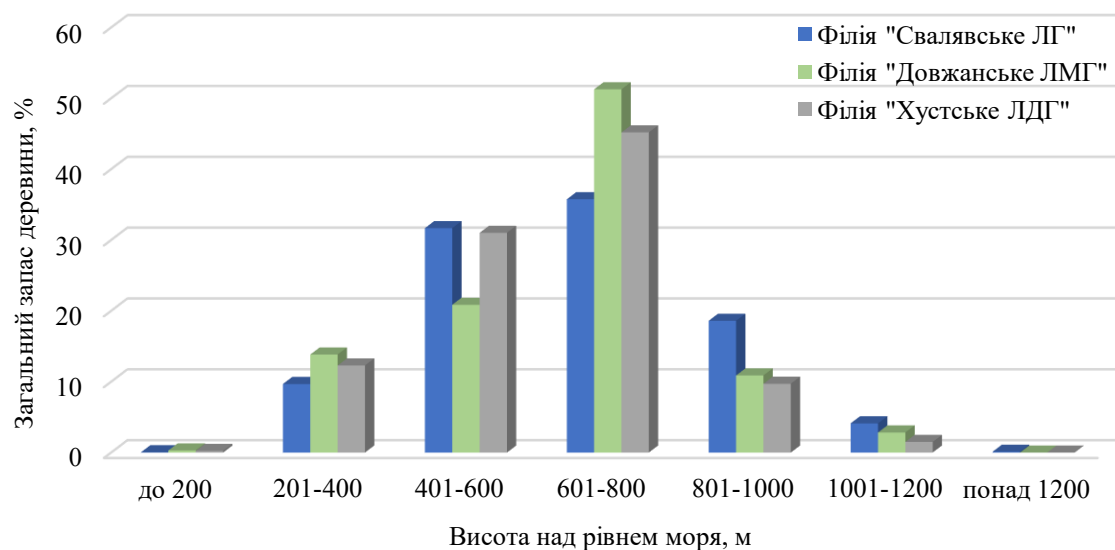
Таблиця 1. Обсяги деревних лісових ресурсів за запасами стовбурової деревини у регіоні досліджень

Table 1. Wood forest resources by growing stock volume in the study region

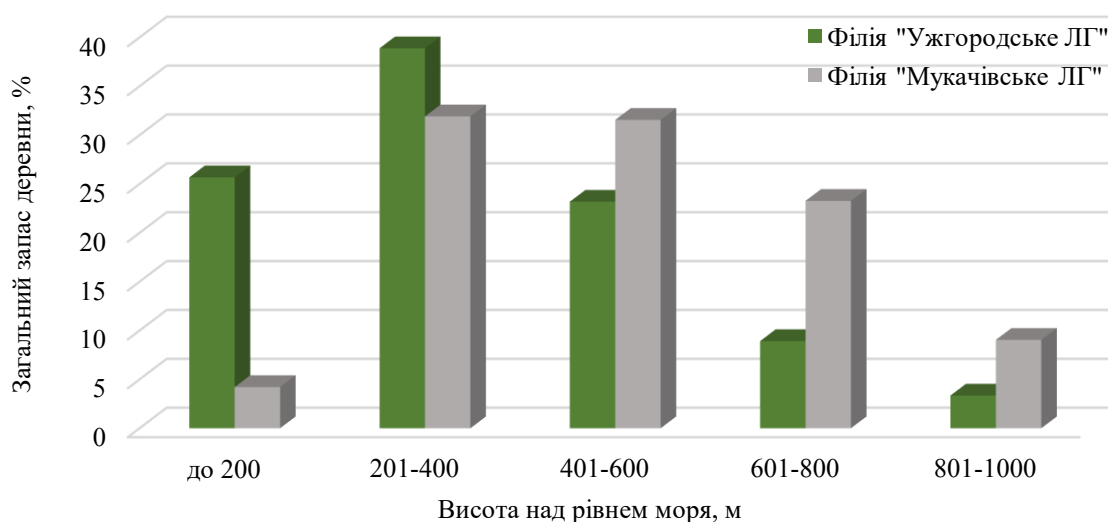
Лісогосподарські підприємства (назви подані станом на 01.01.2021)	Загальний запас стовбурової деревини		Запас стовбурової деревини у букових деревостанах		Запас стовбурової деревини у букових деревостанах вологої чистої бучини	
	тис. м ³	%	тис. м ³	%	тис. м ³	%
Вулканічні Українські Карпати, всього:	14832	23,1	9704	18,3	2902	13,1
в тому числі:						
філія «Ужгородське ЛГ»	5501	8,6	3303	6,2	608	2,8
філія «Мукачівське ЛГ»	9331	14,5	6401	12,1	2294	10,4
Південний мегасхил Полонинського хребта, всього:	49450	76,9	43179	81,7	19188	86,9
в тому числі:						
філія «Свалявське ЛГ»	25839	40,2	23226	43,9	10412	47,1
філія «Довжанське ЛМГ»	10128	15,7	8771	16,6	5383	24,4
філія «Хустське ЛДГ»	13483	21,0	11182	21,2	3393	15,4
Разом	64282	100	52883	100	22090	100

Ще однією особливістю розташування деревних ресурсів є приуроченість більшої кількості стовбурових запасів букових деревостанів до схилів північних експозицій в регіоні південного мегасхилу Полонинського хребта (50-60%) і південних експозицій – в регіоні Вулканічних Українських Карпат (55-65%).

Для категорії експлуатаційних лісів середні запаси стиглих букових лісостанів вологої чистої бучини в умовах Українських Вулканічних Карпат становлять $330 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (максимальні – $630 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), а для південного мегасхилу Полонинського хребта – $380 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (максимальні – $780 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$).



а) південний мегасхил Полонинського хребта
a) the southern megaslope of the Polonynian Ridge



б) Вулканічні Українські Карпати
b) the Volcanic Ukrainian Carpathians

Рис. 1. Структура загальних запасів стовбурової деревини за висотою над рівнем моря

Fig. 1. Structure of total growing stocks by altitude above sea level

У надлісництвах регіону дослідження господарські заходи спрямовані на підвищення продуктивності насаджень, відновлення, охорону та захист букових деревостанів, а обсяги лісозаготівель здійснюють з урахуванням цільового призначення лісів, узгоджують з існуючими господарськими частинами, господарськими секціями та групами деревних видів.

В основу встановлення обсягів використання деревини покладені принципи відповідності деревних видів лісорослинним умовам, їхня кількісна продуктивність, біоекологічні властивості, технічні якості ліквідної деревини.

У лісах надлісництв, які віднесені до експлуатаційних, застосовують поступові системи рубок головного користування. Поступовими руб-

ками деревостани зрубують у два прийоми за наявності підросту головної породи – бука лісового.

Аналіз обсягів лісозаготівель станом на 01.01.2024 засвідчує, що у лісовому фонді трьох найбільших надлісництв у регіоні дослідження згідно з розрахунковою лісосікою щорічно заготовлюють 410,21 тис. м³ стовбурової деревини, з яких 234,13 тис. м³ (57%) припадає на рубки головного користування, а 176,08 тис. м³ (43%) – на лісгосподарські заходи, пов'язані з веденням лісового господарства (рис. 2).

При цьому загальний обсяг лісозаготівель у Закарпатській обл. становить 795,8 тис. м³/рік (Держлісагенство, 2025). Частка запасів букових деревостанів у загальному обсязі заготовлених лісоматеріалів змінюється від 78 до 87%, що є доволі високим показником. У структурі заготовленої деревини круглі ділові лісоматеріали становлять близько 45%, дров'яна деревина для промислового використання – 30%, дров'яна деревина для непромислового використання – 35% (рис. 3).

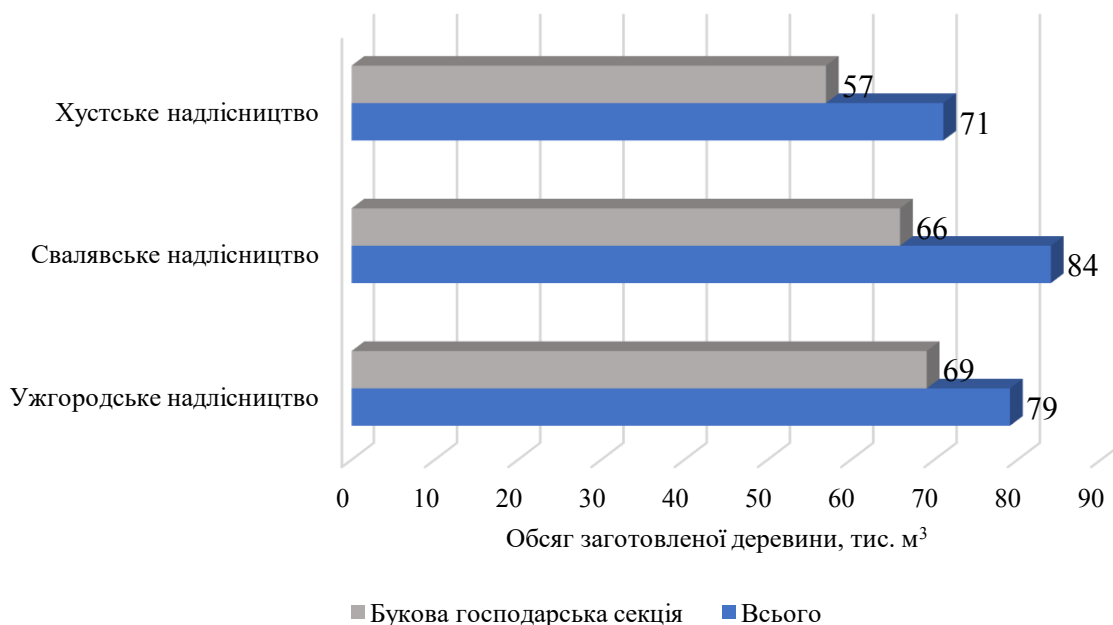


Рис. 2. Річні обсяги заготівлі деревини під час рубок головного користування у найбільших надлісництвах регіону досліджень

Fig. 2. Annual volumes of timber harvesting during final felling in the largest forest management units of the study region

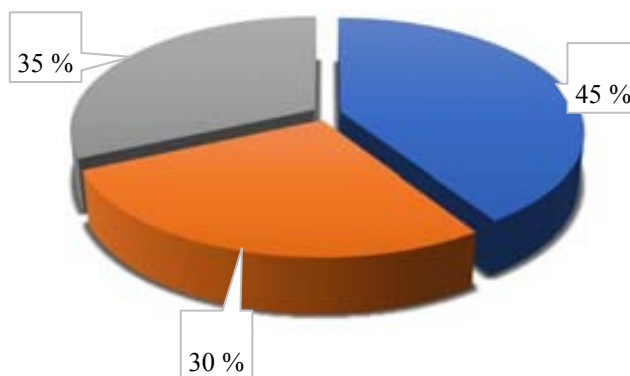


Рис. 3. Структура заготовленої деревини букової господарської секції

Fig. 3. Structure of harvested wood of the beech working circle

Варто також відзначити високу частку заготовленої деревини у загальних обсягах під час санітарних рубань – 48% у лісовому фонді Ужгородського, 28% – Свалявського та 40% – Хустського надлісництв.

Одним із показників оцінювання інтенсивності і сталості лісгосподарського виробництва вважається відсоток використання загального середнього приросту деревини на вкритих лісовою рослинністю ділянках. Він вказує на

частку від щорічного приросту запасу деревини, вилучену під час усіх видів використання деревних лісових ресурсів і розраховується шляхом ділення обсягу заготовленої деревини на загальний середній річний приріст деревини на вкритих лісовою рослинністю ділянках. Якщо цей показник менший ніж 100%, то запас деревини постійно збільшується, а господарство вважається сталим; близький до 100% – приріст і вилучення деревини збалансовані; понад 100% – обсяги заготівлі перевищують приріст, що свідчить про виснаження деревних лісових ресурсів.

За офіційними даними Держлісагентства, в Україні частка використання загального середнього приросту перебуває в межах 50-60%, проте останнім часом зменшилась до 40% (Публічний звіт ..., 2024).

Виконані обчислення показали, що частка використання загального середнього приросту для різних підприємств у регіоні досліджень невисока і становить 38% для умов Свалявського, 43% – для Ужгородського і 48% – для Хустського надлісництва, що свідчить про середній рівень експлуатації деревних лісових ресурсів. За літературними даними (Tomter et al., 2016; World Bank Group, 2022), у країнах Європейського Союзу використання щорічного приросту деревини зазвичай становить 70-80%, а подекуди досягає й 90%.

Чинні таблиці з оцінювання динаміки і товарності букових деревостанів стосуються різних регіонів і побудовані переважно на бонітетній основі. Загальним недоліком нормативів з оцінювання деревних лісових ресурсів є те, що вони укладені для чистих за складом деревостанів і за терміном давності не можуть відображати сучасні тенденції росту мішаних за складом букових лісостанів в умовах карпатського регіону.

Не менш важливим аспектом оцінювання лісових ресурсів є визначення якісних характеристик запасів експлуатаційних деревостанів, що відображають стан деревних лісових ресурсів і слугують основою для їх раціонального використання в експлуатаційних лісах. У цьому контексті важливе місце серед якісних характеристик лісостанів посідає товарна структура запасів. Рівень економічної цінності вирощеної деревини можна оцінити за категоріями крупності, класами якості круглих ділових лісоматеріалів, обсягами деревини промислового і непромислового використання. Вищий вихід ділових лісоматеріалів характерний для експлуатаційних лісів.

Також товарність запасів характеризує якість вирощеної за оберт рубання деревини в категорії експлуатаційних лісів і використовується для встановлення рентної плати за спеціальне використання лісових ресурсів – основної частини лісового доходу від лісовирощування.

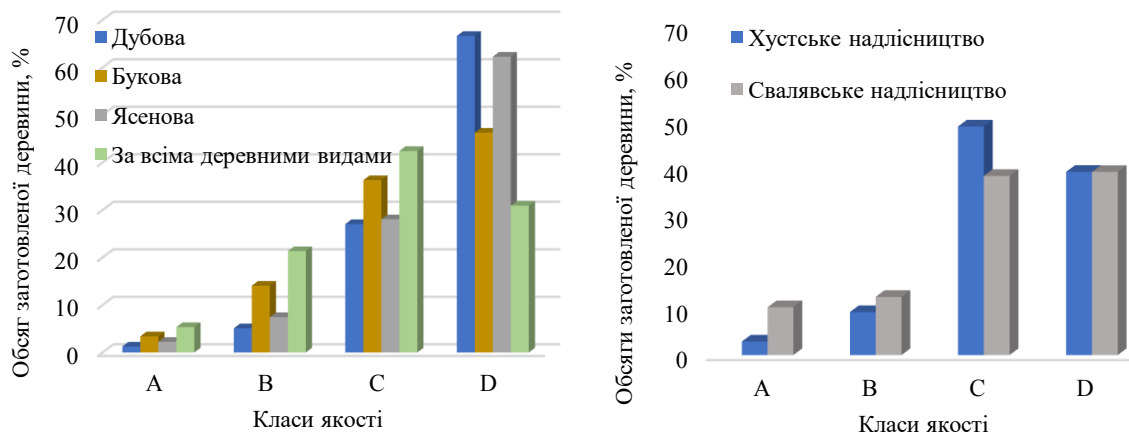
З 1 січня 2019 р. в Україні, у зв'язку з переходом лісової галузі на європейські стандарти оцінювання заготовленої деревини, запроваджено нові національні нормативи з вимогами щодо класифікації круглих необроблених лісоматеріалів за якістю. Згідно з цими стандартами, класифікація круглих лісоматеріалів не передбачає розподілу за сортами та цільовим призначенням сортиментів, натомість використовує розмірно-якісні критерії.

Аналіз доступних даних на сайті Держлісагентства лісових ресурсів свідчить, що у 2025 р. в експлуатаційних лісах було заготовлено 12,251 млн м³ деревини, що на 500 тис. м³ менше порівняно з минулим роком (Загальна характеристика лісів України, 2025).

У структурі заготовленої деревини лісового фонду України переважають запаси хвойних деревних видів – 7,242 млн м³, твердолистяні становлять 4,187, а м'яколистяні – 0,822 млн. м³. Найбільші обсяги заготівлі деревини у твердолистяній групі деревних видів властиві для дубової високостовбурної – 1,532 млн. м³ і букової – 0,778 млн. м³ господарських секцій (Сортиментна структура заготівлі деревини..., 2025). Із загальної кількості заготовленої деревини круглі ділові лісоматеріали класу А займають незначну частку, а переважають класи якості С і D (рис. 4).

За наведеними даними, деревні лісові ресурси у буковій господарській секції не відзначаються високими класами якості – переважають С (36,3%) і D (46,3%) класи. Для букових деревостанів лісового фонду Хустського і Свалявського надлісництв середній вихід деревних ресурсів за класами якості становить А (6,1%), В (10,6%), С (44,2%), D (39,1%). Порівняно із загальними значеннями, для регіону південного меґасхилу Полонинського хребта відзначимо вищий вихід лісоматеріалів класу якості А.

Окрім територіального розміщення деревних лісових ресурсів у лісовому фонді підприємств, важливо знати закономірності їхнього зосередження на різних висотах над рівнем моря. В табл. 2 наведено розподіл площ експлуатаційних букових деревостанів вологої чистої бучини за висотою над рівнем моря і часткою ділових стовбурів.



а) для лісового фонду надлісництв, які підпорядковані Держлісагентству, 2025 рік
a) for the forest fund of Forest Management Units subordinate to the State Forestry Agency, 2025

б) для лісового фонду Хустського і Свалявського надлісництв, 2025 рік
b) for the forest fund of the Khust and Svalyava Forest Management Units, 2025

Рис. 4. Структура заготовленої деревини за класами якості і господарськими секціями
Fig. 4. Structure of harvested wood by quality classes and working circles

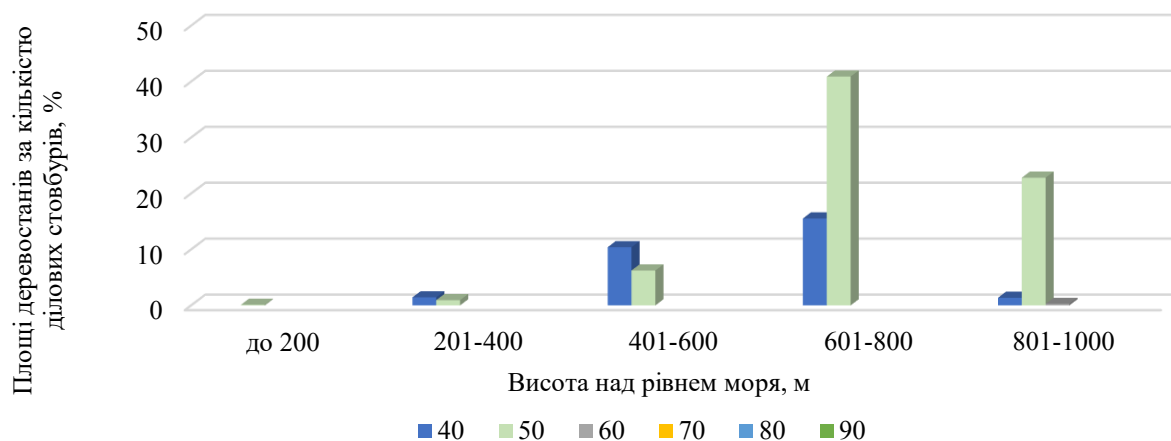
Таблиця 2. Розподіл площ букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і висотою над рівнем моря
Table 2. Distribution of beech forest stand areas by number of merchantable stems and altitude above sea level

Висота над рівнем моря, м	Площі букових деревостанів (%) з різною кількістю ділових стовбурів (%)					
	до 40	41-50	51-60	61-70	71-80	понад 90
<i>Вулканічні Українські Карпати</i>						
до 200	—	0,1	—	—	—	—
201-400	1,4	0,9	—	—	—	—
401-600	10,4	6,3	—	—	—	—
601-800	15,5	40,9	—	—	—	—
801-1000	1,4	22,8	0,3	—	—	—
Разом	28,7	71,0	0,3	—	—	—
<i>Південний мегасхил Полонинського хребта</i>						
до 200	—	0,4	—	—	—	—
201-400	1,1	0,8	1,5	0,1	—	—
401-600	3,3	3,8	12,9	3,2	1,2	0,1
601-800	6,9	7,9	30,9	4,8	0,2	0,4
801-1000	5,5	3,8	7,2	1,9	0,1	0,3
1001-1200	0,5	0,3	0,9	—	—	—
Разом	17,3	17,0	53,4	10,0	1,5	0,8

Отримані результати свідчать, що для букових лісостанів в межах Вулканічного хребта середня кількість ділових стовбурів становить 40-50, а для південного мегасхилу Полонинського хребта – 50-60%. Високотоварні насадження більше поширені у лісовому фонді Свалявського і Хустського надлісництв, а на окремих лісових ділянках можливий вихід ділових стовбурів в межах 70-90%, що практично не трапляється у лісовому фонді Ужгородського надлісництва.

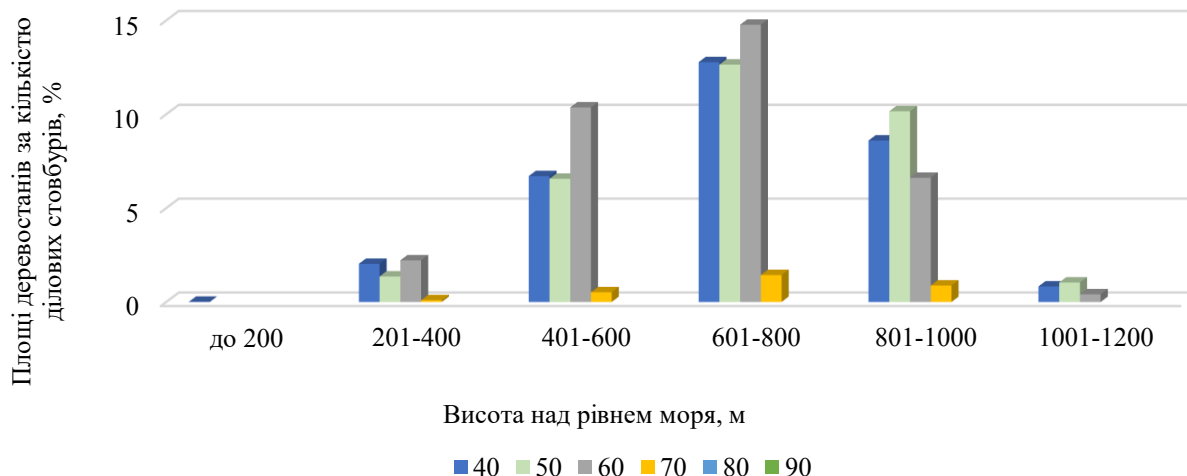
Модальні букові деревостани у регіоні досліджень по-різному розподілені залежно від висоти над рівнем моря (рис. 5). Для букових лісостанів Вулканічного хребта характерний вужчий висотний розмах поширення високотоварних насаджень – їхня найбільша частка зосереджена на висоті від 601 до 800 м над рівнем моря. Букові лісостани південного мегасхилу Полонинського хребта характеризуються ширшим діапазоном висот – площі лісів з кількістю ділових стовбурів у 50-60% зосеред-

Вулканічні Українські Карпати / the Volcanic Ukrainian Carpathians



a)

Південний мегасхил Полонинського хребта / the southern megaslope of the Polonynian Ridge



b)

Рис. 5. Структура модальних букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і висотою над рівнем моря в межах Вулканічних Українських Карпат (а) і південного мегасхилу Полонинського хребта (б)
Fig. 5. Structure of modal beech stands by the number of merchantable trunks and altitude above sea level within the Volcanic Ukrainian Carpathians (a) and the southern megaslope of the Polonynian Ridge (b)

жені на висотах 401-1000 м н.р.м., хоча найбільша кількість розташована на висотах 601-800 м.

Найбільші площі букових деревостанів з кількістю ділових стовбурів в межах 41-60% притаманні для букових деревостанів вологої чистої бучини, які характеризуються I^a класом бонітету (табл. 3), що властиво як для деревостанів в межах південного мегасхилу Полонинського хребта, так і для деревостанів Вулканічних Українських Карпат.

Високобонітетні букові деревостани у регіоні досліджень приурочені до оптимальних лісорослинних умов, що сприяє формуванню повнодеревних стовбурів з меншою кількістю вад і більшому виходу ділової деревини.

У низькобонітетних лісостанах частка ділової деревини і кількість ділових стовбурів зазвичай нижчі, оскільки дерева у гірших лісорослинних умовах відстають у рості, характеризуються меншими розмірами, більшою кількістю вад.

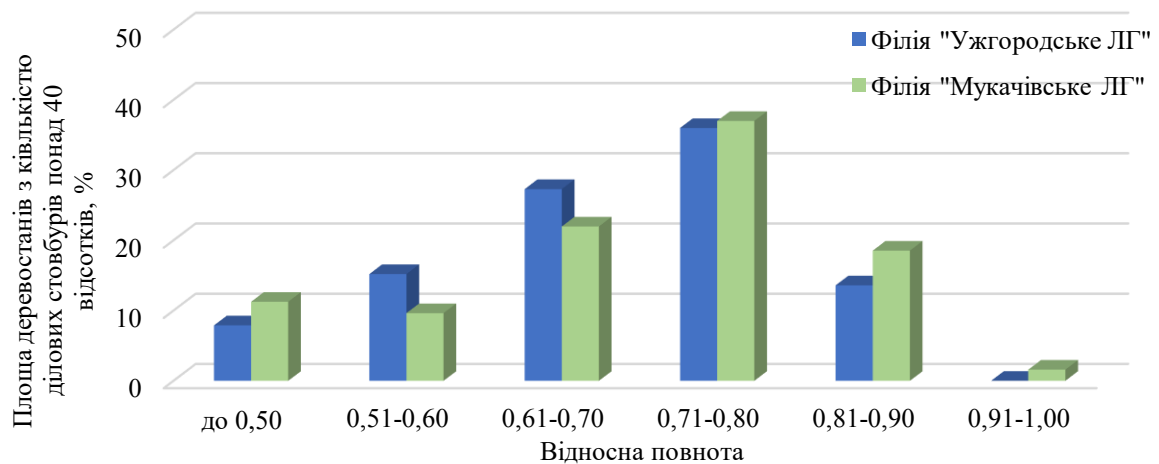
Загалом можна відзначити, що між класами бонітету і кількістю ділових стовбурів існує певна залежність: чим вищий клас бонітету, тим більша частка ділових стовбурів у букових деревостанах.

Подібні результати отримані за підсумками групування площ високотоварних деревостанів з кількістю ділових стовбурів 40% і більше та за відносною повнотою (рис. 6).

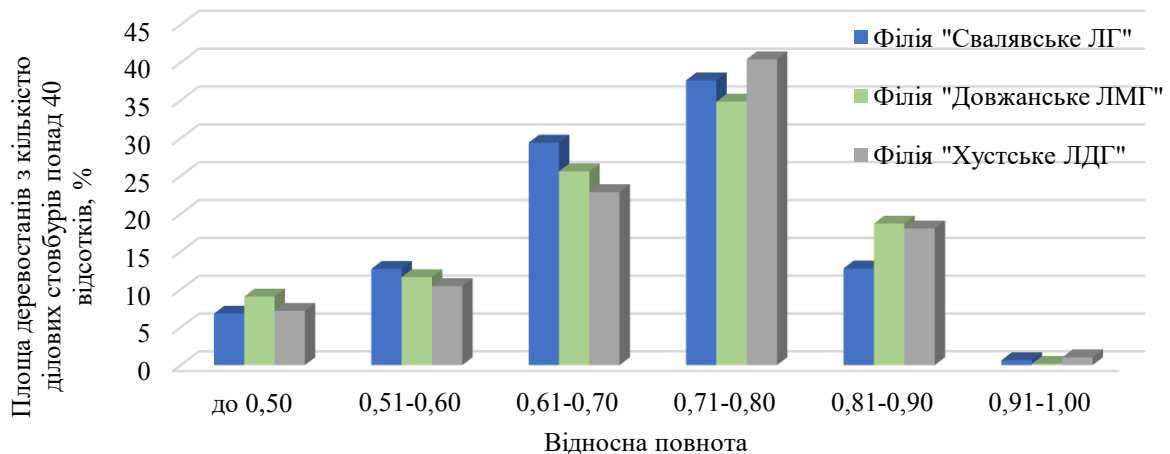
Таблиця 3. Розподіл площ букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і класами бонітету

Table 3. Distribution of beech forest stand areas by number of merchantable trunks and site classes

Кількість ділових ствобурів, %	Площа букових деревостанів (%) залежно від класів бонітету						Всього
	I ^c	I ^b	I ^a	I	II	III	
Вулканічні Українські Карпати							
до 40	—	0,1	6,5	4,7	0,3	0,1	11,7
41-50	—	1,4	17,6	4,8	0,1	—	23,9
51-60	0,2	2,1	50,5	5,9	0,1	—	58,7
61-70	—	0,2	4,1	0,3	—	—	4,7
71-80	—	—	0,6	0,3	—	—	0,9
понад 81	—	—	—	0,2	—	—	0,2
Разом	0,2	3,7	79,4	16,1	0,4	0,1	100,0
Південний мегасхил Полонинського хребта							
до 40	—	—	0,1	1,5	0,1	—	1,8
41-50	—	0,3	15,7	18,0	1,4	—	35,4
51-60	—	5,4	39,6	9,3	0,5	—	54,8
61-70	0,1	1,7	5,4	—	—	—	7,2
71-80	—	0,2	0,4	—	—	—	0,7
понад 81	—	0,1	0,1	—	—	—	0,1
Разом	0,1	7,8	61,2	28,8	2,1	—	100,0



a)



b)

Рис. 6. Структура модальних букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і відносною повнотою в межах Вулканічних Українських Карпат (a) і південного мегасхилу Полонинського хребта (b)

Fig. 6. Structure of modal beech stands by the number of merchantable trunks and relative stocking density within the Volcanic Ukrainian Carpathians (a) and the southern megaslope of the Polonynian Ridge (b)

Отримані результати групування свідчать про тенденцію найбільшого зосередження площ деревостанів з кількістю ділових стовбурів понад 40% у середньо- та високоповнотних насадженнях бука лісового у двох регіонах досліджень. У межах південного мегасхилу Полонинського хребта найбільші площі високотоварних бучин зосереджені у діапазоні відносної повноти 0,61-0,80 – 60-67% та 0,81-0,90 – 13-18%; у межах Вулканічних Українських Карпат – для відносної повноти 0,61-0,80 – 60-63% та 0,81-0,90 – 14-18%.

Кількість ділових стовбурів загалом і товарність запасів у букових деревостанах зростають зі збільшенням відносної повноти до 0,8, досягаючи найкращих показників у середньоповнотних насадженнях з оптимальною відотною повнотою 0,71-0,80. Для низькоповнотних букових насаджень загальна площа деревостанів з часткою ділових стовбурів понад 40% не перевищує 10, а для високоповнотних – 20%.

Така тенденція пояснюється тим, що у насадженнях з низькою відотною повнотою (до 0,5) стовбури дерев характеризуються низько опущеними широкими кронами з більшою

сучкуватістю та збіжистістю, що призводить до меншої кількості ділових стовбурів і товарності запасів. У надмірно густих деревостанах з відотною повнотою 0,91-1,0 через високу конкуренцію частина дерев відстає в рості, що сприяє збільшенню кількості тонкомірних стовбурів. За оптимальних значень відносної повноти (0,71-0,80) дерева краще очищаються від сучків, формуючи малозбіжисті і повнодеревні стовбури.

Результати групування за кількістю стовбурів ділових дерев і групами віку для експлуатаційних букових лісостанів наведені на рис. 7. Встановлено, що найбільші площі таких насаджень властиві для категорії середньовікових лісів – для лісостанів південного мегасхилу Полонинського хребта в межах 42-62%, а для Вулканічних Українських Карпат – 68-77%.

Характерно, що для категорії пристиглих і стиглих букових деревостанів площі таких лісостанів суттєво менші – в середньому не більше 20-25% в умовах південного мегасхилу Полонинського хребта і 12-20% – в умовах Вулканічних Українських Карпат.

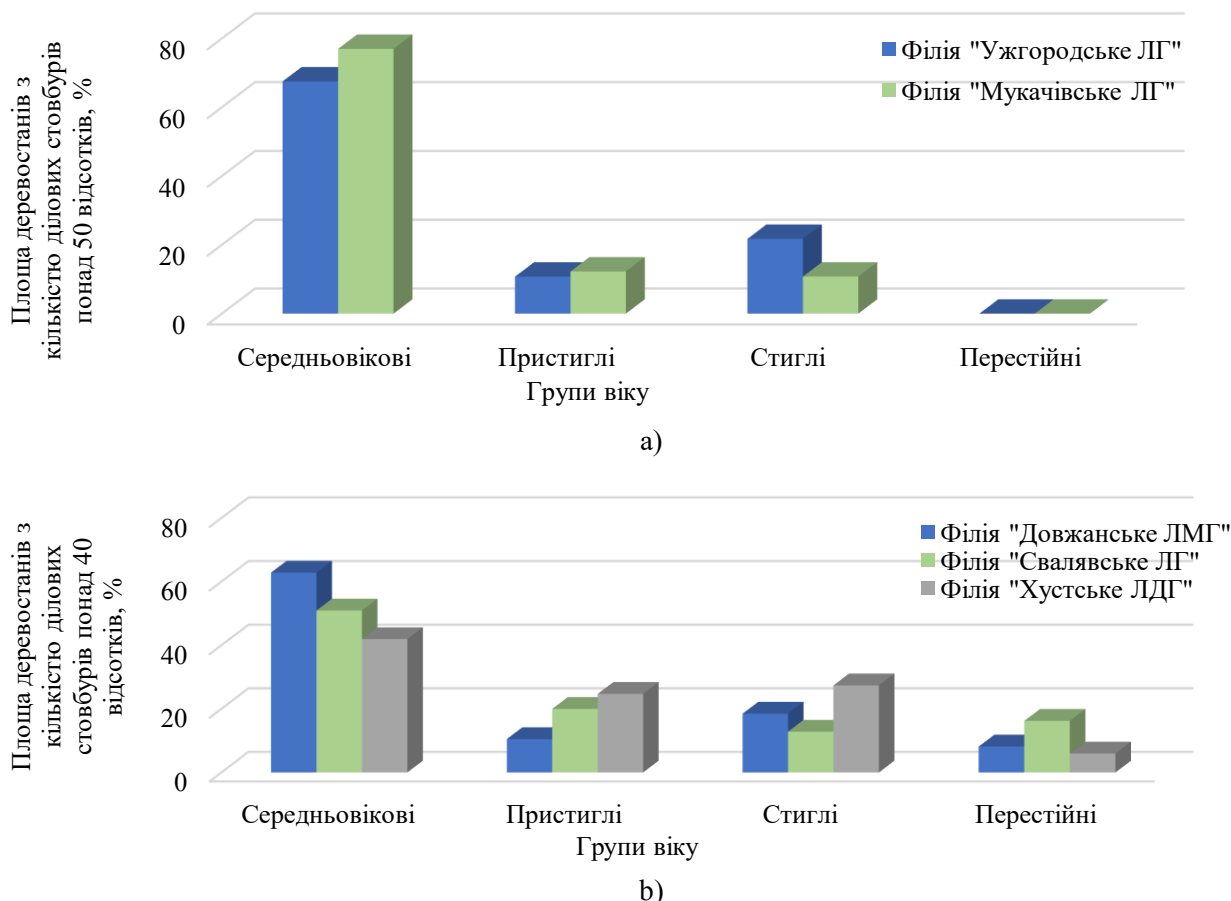


Рис. 7. Структура модальних букових деревостанів за кількістю ділових стовбурів і групами віку в межах Вулканічних Українських Карпат (а) і південного мегасхилу Полонинського хребта (б)

Fig. 7. Structure of modal beech stands by the number of merchantable trunks and year classes within the Volcanic Ukrainian Carpathians (a) and the southern megaslope of the Polonynian Ridge (b)

Однією із причин різкого зменшення товарності букових лісів у цей період є інтенсивні рубки догляду, вибіркові санітарні рубки і більша схильність бука у віці понад 80 років до вітровалів. У цьому віці стовбури дерев досягають значної висоти, зростає парусність крон, деревостани стають менш повнотними й

більш уразливими до впливу вітру. Для категорії стиглих і перестійних насаджень ризику вітровалів збільшуються ще й через появу гнилей, ослаблення дерев і збільшення маси крони, що призводить до суцільного вивалювання стовбурів дерев з коренями, особливо на вологих важких та неглибоких ґрунтах (рис. 8).



Рис. 8. Фрагмент вітровалу у буковому деревостані (власне фото)

Fig. 8. Fragment of windthrow in a European beech stand (authors' photograph)

Особливо вразливими до вітровалів виявилися букові лісостани поблизу великих зрубів, узлісь, а також чисті високоповнотні букові деревостани після надмірного зріджування. У віці головного користування після першого прийому поступової рубки також утворюються вікна, які підвищують небезпеку вітровалу у букових лісах.

З метою аналізу можливого сукупного впливу різних факторів на кількість ділових стовбурів використано підходи множинної регресії, що дало змогу одночасно враховувати вплив декількох факторів на результативну ознаку та кількісно оцінити внесок кожного з них.

Окрім цього, за результатами побудови рівняння множинної регресії можна оцінювати

сукупний вплив декількох факторів на одну результативну ознаку, оцінити силу впливу окремих факторів множинної моделі, використавши коефіцієнти регресії для можливості прогнозування значень залежної ознаки (Горошко та ін., 2004).

Для побудови множинної регресійної моделі як залежну ознаку вибрано кількість ділових стовбурів (Y), а фактори впливу – таксаційні показники деревостанів: середній вік (X_1), середню висоту (X_2), середній діаметр (X_3), відносну повноту (X_4), запас (X_5), а також ухил (X_6) і висоту над рівнем моря (X_7). Характеристики рівняння множинної регресії та значення бета-коефіцієнтів для факторів впливу наведені в табл. 4.

Таблиця 4. Характеристики рівняння множинної регресії

Table 4. Characteristics of the multiple regression equation

Значення бета коефіцієнтів у рівнянні множинної регресії							Коефіцієнт множинної регресії	Коефіцієнт множинної детермінації	Обсяг спостережень	Стандартна похибка оцінки	F-критерій Фішера	p-значення
Вік, роки	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Відносна повнота	Запас, м³/га	Ухил, градуси	Висота над рівнем моря, м						
Південний мегасхил Полонинського хребта												
0,23	0,07	0,32	0,17	0,50	0,02	0,07	0,573	0,328	1218	8,82	84,53	0,0001
Вулканічні Українські Карпати												
0,64	0,53	0,24	0,003	0,19	0,01	0,04	0,670	0,450	385	4,01	6,59	0,002

Значення F-критерію Фішера досить високі, що свідчить про значущість побудованої моделі, а р-значення менше від 0,05, що вказує на значущість окремих коефіцієнтів рівняння. Значення коефіцієнтів множинної регресії і детермінації свідчать про те, що лише у 33-45% значення кількості ділових стовбурів залежить від сукупного впливу обраних для аналізу факторів.

Аналізуючи значення бета-коефіцієнтів варто зауважити, що найсуттєвіший вплив на кількість ділових стовбурів мають такі таксаційні показники, як середній діаметр, запас і вік деревостанів, а ухил і висота над рівнем моря вважаються показниками, які менш суттєво впливають на формування більш чи менш товарних лісостанів бука лісового.

Для наочного представлення побудовано двофакторну множинну регресійну поверхню залежності між кількістю ділових стовбурів (N), запасом стовбурової деревини (X) і висотою над рівнем моря (Y) на основі таких квадратичних рівнянь множинної регресії:

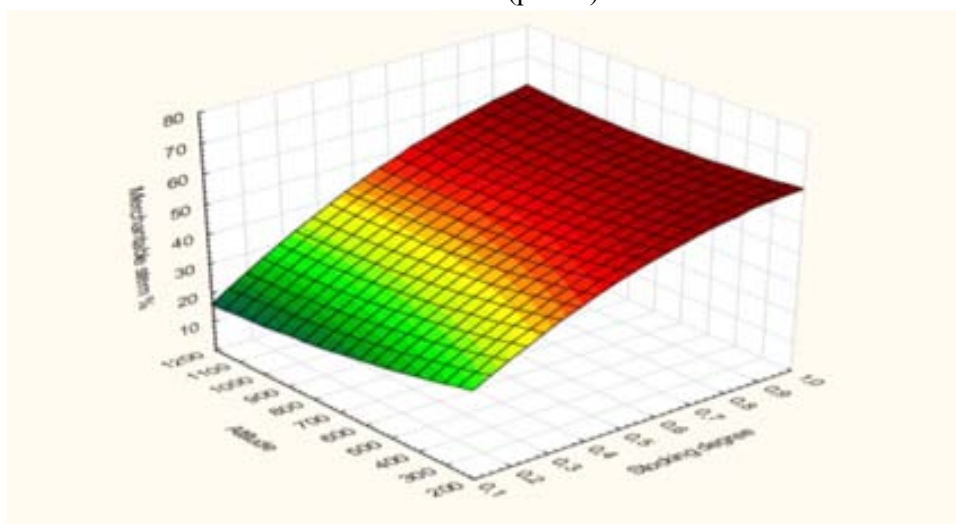
– південний мегасхил Полонинського хребта

$$N = 28,5117 + 68,8276 \cdot X - 0,0296 \cdot Y - 32,8265 \cdot X^2 + 0,0134 \cdot X \cdot Y + 0,00001 \cdot Y^2$$

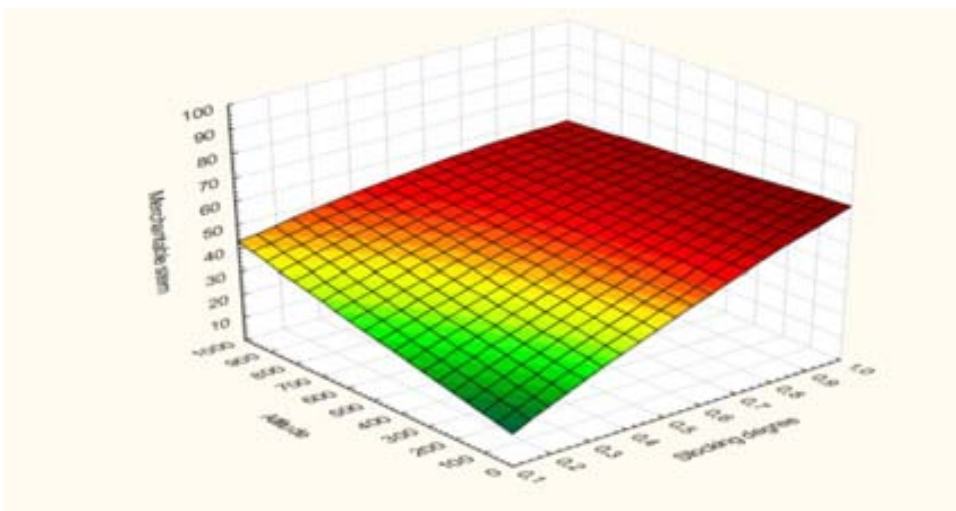
– Вулканічні Українські Карпати:

$$N = 6,9004 + 74,3290 \cdot X + 0,0322 \cdot Y - 15,0889 \cdot X^2 - 0,0425 \cdot X \cdot Y + 0,0000006 \cdot Y^2$$

де N – кількість ділових стовбурів, %; X – відносна повнота; Y – висота над рівнем моря, м (рис. 9).



а) південний мегасхил Полонинського хребта;
a) southern megaslope of the Polonynian Ridge



б) Вулканічні Українські Карпати
b) Volcanic Ukrainian Carpathians

Рис. 9. Поверхня регресії залежності кількості ділових стовбурів від висоти над рівнем моря і відносної повноти

Fig. 9. Regression surface of the dependence of the number of merchantable stems on the elevation above sea level and relative stocking density

Наведені регресійні поверхні підтвердили відсутність суттєвого впливу висоти над рівнем моря, а формування більшої кількості ділових стовбурів властиве для середньо- та високоповнотних насаджень.

Для букових деревостанів південного мегасхилу Полонинського хребта на основі результатів пробних площ будуємо модель динаміки товарності запасів (табл. 5). Також за ставками збору встановлюємо вартість деревних ресурсів, за таблицями розраховуємо обсяги надземної фітомаси і депонованого вуглецю (Білоус та ін., 2020).

Отримані дані характеризують високоповнотні (0,8), високобонітетні (I^a клас бонітету) модальні букові деревостани вологої чистої бучини, які представляють експлуатаційні ліси в межах лісового фонду підприємств південного мегасхилу Полонинського хребта. Окрім нагромадження деревини у 100-річному віці на рівні 500 м³·га⁻¹ вартістю 138 тис. грн·га⁻¹, такі деревостани виконують ще й вагомі екосистемні функції – нагромаджують 424 т·га⁻¹ надземної фітомаси і депонують 212 т·га⁻¹ вуглецю.

Таблиця 5. Зміна з віком товарності запасів модальних букових деревостанів
Table 5. Age-related changes in the merchantability of growing stock in modal beech stands

Вік, років	Середній діаметр, см	Середня висота, м	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Товарна структура запасу, м ³ ·га ⁻¹						Вартість деревини за ставками збору, грн·га ⁻¹	Надземна фітомаса деревостану, т·га ⁻¹	Депонований вуглець у надземній фітомасі деревостану, т·га ⁻¹
				груба	середня	дрібна	разом	дров'яна	відходи			
40	17,9	18,0	242	–	71	10	82	146	14	25493	172	86
50	21,9	21,5	304	–	108	14	123	162	19	38053	218	109
60	25,7	24,5	359	–	147	18	165	171	23	51005	263	131
70	29,3	27,3	407	–	186	20	206	174	27	63672	307	153
80	32,8	29,6	447	160	62	20	242	174	31	104484	349	174
90	36,1	31,7	480	196	77	–	273	172	35	125139	388	194
100	39,1	33,4	505	223	75	–	298	168	39	138184	424	212
110	42,1	34,8	523	242	75	–	317	165	41	147289	457	228
120	44,8	35,8	533	250	78	–	328	162	43	152450	487	243

Дискусія (Discussion).

Лісові екосистеми постійно перебувають під впливом господарської діяльності людини та зміни клімату. Збільшення площ вкритих лісовою рослинністю ділянок є вагомим чинником у пом'якшенні кліматичних змін завдяки виконанню лісостанами важливих екосистемних функцій – поглинання вуглецю, захист ґрунтів від поверхневої ерозії, регулювання водного режиму, збільшення біорізноманіття тощо. Проте не менш важливим аспектом є забезпечення сталого виробництва деревини для потреб ринку.

Упродовж останніх років зафіксовано зростання загального попиту на необроблену деревину, що пов'язано насамперед зі збільшенням кількості населення. Попередньо встановлено, що світові потужності виробництва деревних ресурсів досягнуть своєї межі, якщо чисельність населення перевищить десять мільярдів осіб. За прогнозами, до 2050 р. попит на вироби з деревини зросте на 37, а круглого лісу – на 32%. Основними рушійними силами цього процесу є будівництво екологічно безпечних дерев'яних будинків та біоенергетика (FAO, 2020).

Бук лісовий є одним із найважливіших з економічного та екологічного погляду листяних

деревних видів в Європі й Карпатському регіоні зокрема. Однак, достовірних даних про особливості нагромадження деревних ресурсів вкрай мало, що призводить до неточних розрахунків під час організації й планування лісгосподарського виробництва. Окремі дані з оцінювання деревних ресурсів у різних регіонах трапляються в низці публікацій (Каганяк, 2006; Ільків, 2004; Куриляк, 2011; Слюсарчук, 2020; Гриник, Г., Задорожний, Гриник, О., 2021), в яких здебільшого зосереджена увага на моделюванні динаміки таксаційних показників.

Встановлено, що у регіоні досліджень модальними є високобонітетні букові деревостани вологої чистої бучини, які характеризуються природним походженням і загальним запасом деревини в 22,1 млн м³.

Також варто відзначити недостатню кількість наукових праць, які базуються на аналізі господарської діяльності підприємств у регіоні дослідження. Впродовж останніх років основна увага науковців зосереджена на забезпеченні виконання буковими деревостанами захисних функцій, що призвело до дисбалансу у використанні лісових ресурсів в межах Закарпатської області. Так, за даними окремих

публікацій (Закарпаття: хто винен у зменшенні заготівлі деревини ..., 2024) впродовж останніх 15 років обсяги заготівлі деревини у лісгосподарських підприємствах зменшилися з 1,4 млн м³ до 750 тис. м³. За цими ж даними, до основних причин такого зменшення віднесено: збільшення площі природо-заповідного фонду (лише 46% лісів є експлуатаційними); віднесення частини лісів (16,5 тис. га) до пралісів і квазіпралісів; заборона на законодавчому рівні виконання суцільних рубок на висоті понад 1100 м; відсутність оновлених лісовпорядних даних, на основі яких здійснюють розрахунок головного користування деревиною.

Виконані розрахунки засвідчують, що у регіоні дослідження використання загального середнього приросту становить 38-48%, що, порівняно із середньоєвропейськими показниками (70-80%), вказує на суттєве недовикористання деревних природних ресурсів. Побудована таблиця динаміки різних категорій запасів відображає виконані господарські заходи у букових деревостанах і свідчить про наявність доброго потенціалу у заготівлі високоякісної деревини.

Про перспективність використання деревних ресурсів букових деревостанів свідчать іноземні публікації (Hillennmeyer at al., 2025; Jandl, at al., 2023), в яких наголошено на ролі лісоуправління, базові засади якого повинні розроблятися на основі достовірних даних запасів деревини в оптимальних умовах формування товарних букових лісостанів.

Запорукою ефективного використання деревних ресурсів є стає лісоуправління буковими лісами, збереження біорізноманіття, створення умов для відпочинку людей та захисту водозборів (Hahn & Fanta, 2022). Тому у букових деревостанах досліджуваного регіону необхідно дотримуватися основних принципів сталого лісоуправління – безперервне відтворення лісів, раціональне використання деревини, збереження біорізноманіття, захист ґрунтів і водних ресурсів, баланс економічних, екологічних і соціальних функцій лісу, що можна реалізувати за результатами виконаних досліджень. Також не менш важливим напрямом є поліфункціональне ведення лісового господарства, принципи якого викладені у вітчизняних публікаціях (Криницький та ін., 2014).

У регіоні досліджень букові деревостани високої товарності формуються у насадженнях вологої чистої бучини з відносною повнотою 0,71-0,80, характеризуються I^a і вище класами бонітету, розміщені на висоті 401-800 м над рівнем моря здебільшого на схилах північних експозицій.

Проведені лісівничо-таксаційні дослідження модальних букових деревостанів мають істотне науково-практичне значення, оскільки вони розширюють уявлення про особливості формування й локалізації товарних запасів деревини, а також дають змогу виявити чинники впливу на розвиток високотоварних насаджень із переважанням у складі бука лісового.

Висновки (Conclusions).

1. Загальний обсяг деревних ресурсів за запасами стовбурової деревини у лісових насадженнях всіх деревних видів регіону дослідження становить 64,282 млн м³, з яких 52,883 млн м³ (82,3%) зосереджені у букових лісостанах усіх типів лісу і 22,090 млн м³ (34,4%) – в умовах вологої чистої бучини. Найбільші запаси деревини зосереджені у лісовому фонді лісгосподарських підприємств південного мегасхилу Полонинського хребта – 49,450 млн м³, що становить 76,9% від загального обсягу у регіоні дослідження.

2. Найбільші запаси стовбурової деревини у букових деревостанах в межах південного мегасхилу Полонинського хребта зосереджені на висотах 401-800 м н.р.м. – 34,432 млн м³ або 67%, а у Вулканічних Українських Карпат – на висотах 201-600 м н.р.м., де запаси становлять 7,769 млн м³ або 63%.

3. Більші обсяги стовбурового запасу букових деревостанів в регіоні південного мегасхилу Полонинського хребта формуються на схилах північних експозицій (50-60% загального обсягу), а в регіоні Вулканічних Українських Карпат – на схилах південних експозицій (55-65%). У регіоні дослідження щороку заготовлюють близько 410,21 тис. м³ стовбурової деревини, з яких 234,13 тис. м³ (57%) припадає на рубки головного користування, а 176,08 тис. м³ (43%) – на заходи, пов'язані з веденням лісового господарства.

4. Частка використання загального середнього приросту запасів для різних підприємств у регіоні дослідження невисока і становить 38% для умов Свалявського, 43% – Ужгородського і 48% – Хустського надлісництва, що свідчить про середній рівень експлуатації деревних лісових ресурсів.

5. Площі деревостанів з кількістю ділових стовбурів понад 40% найбільше представлені у середньо- та високоповнотних лісостанах бука лісового: на південному мегасхилі Полонинського хребта у деревостанах з відносною повнотою 0,61-0,80 – 60-67% і 13-18% – у деревостанах з відносною повнотою 0,81-0,90; у Вулканічних Українських Карпатах – для деревостанів з відносною повнотою 0,61-0,80 – 60-63% і 0,81-0,90 – 14-18%.

6. Визначальний вплив на формування деревостанів із високою часткою ділових стовбурів мають середній діаметр, запас і вік. Натомість стрімкість схилу та висота над рівнем моря є чинниками, які значно меншою мірою впливають на товарну структуру букових лісостанів.

7. Окрім нагромадження деревини у 100-річному віці на рівні $500 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ вартістю 138 тис. грн·га⁻¹, букові деревостани регіону виконують ще й дуже вагому екосистемну функцію – депонують 212 т·га⁻¹ вуглецю.

8. Для збалансування екологічного, екосистемного та експлуатаційного напрямів викорис-

тання лісових ресурсів в модальних букових деревостанах у регіоні дослідження повинна бути опрацьована єдина регіональна лісова політика з організації ведення лісового господарства на основі засад наближеного до природи лісівництва з використанням отриманих за результатами досліджень оптимальних параметрів з формування високопродуктивних і високо-товарних насаджень.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

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. <https://forestscience.com.ua/uk/journals/278-2017/suchasniy-stand-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. https://www.researchgate.net/publication/295813213_Productivity_and_functioning_of_the_bech_ecosystem_Ecological_Experimental_Stati_on_-Kremnicke_vrchy_Mts_Western_Carpathians
- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V., Svynchuk, 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)
- Burkhardt, H. E., & Tomé, M. (2021). *Modeling forest trees and stands* (2nd ed.). Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-29034-4>
- Dankevych, S. (2021). Development potential of forest ecosystem services in Ukraine as a financial tool to ensure balanced land use. *Agrosvit*, 11, 45–56. <https://doi.org/10.32702/2306-6792.2021.11.45>. [Данькевич С. М. (2021). Потенціал розвитку екосистемних послуг лісів України як фінансового інструменту забезпечення збалансованого землекористування. *Агросвіт*, 11, 45–56] (in Ukrainian)
- Deyneka, A. M. (2009). *Forestry: Ecological and Economic Principles of Development*. Kyiv: Znannia Publishing House. ISBN 978-966-346-691-0 [Дейнека, А. М. (2009). Лісове господарство: еколого-економічні засади розвитку. Київ: Знання. 345 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*. (2024). Retrieved from <https://ecozakarp.at.gov.ua/wp-content/uploads/2024/09/Екопаспорт-за-2023.pdf> [Екологічний паспорт Закарпатської області за 2023 рік (2024)] (in Ukrainian)
- FAO (2020). *Global Forest Resources Assessment 2020: Ukraine Country Report*. <https://www.fao.org/forest-resources-assessment/past-assessments/fra-2020/country-reports/en>
- Forest Code of Ukraine* (1994). Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy № 17, art. 99

- (1994). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12> [Лісовий кодекс України (1994). Відомості Верховної Ради України, №17] (in Ukrainian)
- FSC Ukraine (2023). Forest certification and sustainability in Ukraine. Retrieved from <https://forest.gov.ua/en/areas-activity/forest-certification>
- 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>
- Global Forest Resources Assessment (2025). Desk study. Ukraine. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome, 2025. Retrieved from <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/f34d0dc8-eb58-4766-871f-e738a1cb13de/content>
- Grom, M. M. (2010). *Forest mensuration*. Lviv: Ukrainian National Forestry University. ISBN 5-7763-0179-3. [Гром, М. М. (2010). *Лісова таксація*. Львів: НЛТУ України. 352 с.] (in Ukrainian)
- Gusti, M., Di Fulvio, F., Biber, P., Korosuo, A., & Forsell, N. (2020). The effect of alternative forest management models on the forest harvest and emissions as compared to the forest reference level. *Forests*, 11(8), 794. <https://doi.org/10.3390/f11080794>
- Hahn, K., & Fanta, J. (2022). *Contemporary beech forest management in Europe*. Working. Report 1. <https://scispace.com/pdf/contemporary-beech-forest-management-in-europe-2w6wi7zgze.pdf>
- Hillenmeyer, K., Larysch, E., Sprengel, L., Kohnle, U., & Spiecker, H. (2025). Managing European beech (*Fagus sylvatica* L.) forests for construction wood. *Forest Ecology and Management*, 595, 122995. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2025.122995>
- 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., Хоміюк, П. Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула. 236 с.] (in Ukrainian)
- Horodychna, A. V. (2022). Analytical assessment of self-seeding forests in Ukraine. *Balanced Nature Management*, 4, 70–81. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.4.2022.275035> [Городична, А. В. (2022). Аналітична оцінка самосійних лісів в Україні. *Збалансоване природокористування*, 4, 70–81] (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. 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)
- Jandl, R., Foldal, C. B., Ledermann, T., & Kindermann, G. (2023). European Beech Forests in Austria – Current Distribution and Possible Future Habitat. *Forests*, 14, 2019. <https://doi.org/10.3390/f14102019>
- Kahaniak, Y. Y. (2006). Modeling the productivity of mixed-age beech stands in the Carpathians. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 16(3), 8–14. 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)

- Kalashnikov, A., Zhezhkun, I., & Torosov, A. (2024). Loss of wood resources and biodiversity in Ukrainian forests. *Forestry and Forest Melioration*, 145, 143–154. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.143> [Калашніков, А. О., Жежкун, І. М., Торосов, А. С. (2024). Втрати ресурсів деревини та біорізноманіття лісів України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 145, 143–154] (in Ukrainian)
- Kangas, A., & Maltamo, M. (2020). *Forest Inventory: Methodology and Applications*. Springer. ISBN: 1-4020-4379-1 <https://doi.org/10.1007/1-4020-4381-3>
- 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>
- Korotetska, E., Kochetyha, D., & Kashkabash, D. (2022). Statistical analysis and forecasting of forest resources status on the example of Lviv and Kharkiv oblasts. *Journal of Innovations and Sustainability*, 6(2). <https://doi.org/10.51599/is.2022.06.02.05>
- 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., ... Яловіар, П. (2014). *Наближене до природи та багатофункціональне ведення лісового господарства в Карпатському регіоні України та Словаччини*. Ужгород: ПП «Коло». 346 с.] (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. 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)
- 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)
- Prykhodko, M., Arkhypova, L., Horal, L., & Kozhushko, S. (2020). Concept of ecosystem services and its implementation in Ukraine. *Journal of Geology, Geography and Geoecology*, 29, 387–397. <https://doi.org/10.15421/112034>
- 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, 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)
- 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://dglb.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)
- Soloviy, I., Kuryltsiv, R., Hernik, J., Kryshenyk, N., & Kuleshnyk, T. (2021). Integrating ecosystem services valuation into land use planning: case of the Ukrainian agricultural landscapes. *Forests*, 12(11), 1465. <https://doi.org/10.3390/f12111465>
- Soloviy, I. P., Nijnik, M. S., Deyneka, A. M., & Melnykovych, M. P. (2017). Reimagining forest policy, institutions and instruments through concepts of ecosystem services and

- social innovations: Ukraine in the focus. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 27(8), 82–87. <https://doi.org/10.15421/40270812>
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2025). Assortment structure of all types of felling. Retrieved from <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/vikoristannya-lisovih-resursiv/sortimentna-struktura-vsih-vidiv-rubok> [Державне агентство лісових ресурсів України (2025). Сортиментна структура заготівлі деревини від усіх видів рубок] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2025). General characteristics of forests of Ukraine. Retrieved from <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> [Державне агентство лісових ресурсів України (2025). Загальна характеристика лісів України] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2023). National Forest Inventory of Ukraine. Ukrderzhlisproekt. <https://nfi.org.ua/> [Державне агентство лісових ресурсів України (2023). Національна інвентаризація лісів України] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2025). Public report of the Head of the State Agency of Forest Resources of Ukraine for 2024. <https://www.openforest.org.ua/wp-content/uploads/2025/02/zvit-holovy-derzhavnoho-ahentstva-lisovykh-resursiv-ukrainy-za-2024-rik.pdf> [Державне агентство лісових ресурсів України (2025). Публічний звіт Голови державного агентства лісових ресурсів України за 2024 рік] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine (2025). Timber harvesting and sales by type of forest product in 2024. Retrieved from https://www.uz.ukrstat.gov.ua/statinfo/apk/2025/zag_drv_2024.pdf [Державне агентство лісових ресурсів України (2025). Заготівля та реалізація деревини за видами лісової продукції у 2024 році] (in Ukrainian)
- State Statistics Service of Ukraine (2024). Forestry statistics of Ukraine. Forestry activity. <https://stat.gov.ua/en/publications/forestry-activity>
- Tomter, S., Kuliešis, A., & Gschwantner, T. (2016). Annual volume increment of the European forests – description and evaluation of the national methods used. *Annals of Forest Science*, 73, 849–856. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0557-2>
- Transcarpathia: who is to blame for the decrease in wood harvesting? (2024). Retrieved from <https://e-forest.gov.ua/zakarpattia-khto-vynen-u-zmenshenni-zagotovli-derevyny/> [Закарпаття: хто винен у зменшенні заготівлі деревини? (2024)] (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 таксація лісу*. Львів: УкрДЛТУ. 346 с.] (in Ukrainian)
- UNECE (2021). Forest sector outlook study 2020-2040. Retrieved from https://unece.org/sites/default/files/2022-05/unece-fao-sp-51-main-report-forest-sector-outlook_0.pdf
- World Bank Group (2022). Ukraine forest sector economic analysis. Retrieved from <https://data360.worldbank.org/en/economy/UKR>
- 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)

Characteristics of Growing Stock Resources in Beech Stands of the Southern Megaslope of the Polonynian Ridge and the Volcanic Ukrainian Carpathians

V. Trykur¹, P. Khomiuk²

Forest management based on the principles of close-to-nature forestry requires reliable inventory data, which serve as the foundation for developing forest management plans for wood forest resources within a specific study region. The aim of this study is to determine the volume of growing stock, investigate the structural characteristics of harvested timber in highly productive commercial beech stands of moist pure fertile beech forest type, and provide them with a forest mensurational, commercial and economic assessment.

Modal beech stands are represented by moist pure fertile beech forest types and are most widespread within the forest fund of the Khust, Svaliava, and Uzhhorod forest management units. Based on the 2021 subcompartment-level forest inventory database, growing stock volumes were analyzed in relation to stand year classes, slope aspects, altitudes above sea level, site index classes, and relative density. The largest growing stock of modal beech stands in the study region is concentrated within the forest fund of the Khust and Svaliava forest management units, amounting to 49.45 million m³, which accounts for 76.9% of the total volume. At altitudes of 401 to 800 m a.s.l. within the southern megaslope of the Polonynian Ridge, 34.4 million m³ of timber or 67% is concentrated, while in the Volcanic Ukrainian Carpathians at altitudes of 201 to 600 m a.s.l., the volume constitutes 7.8 million m³ or 63%.

In the study region, high-quality merchantable beech stands are formed under conditions of moist pure fertile beech forest types with a relative stocking density of 0.71–0.80, characterized by site class I^a and higher, and located at altitudes of 401 to 800 m a.s.l., predominantly on north-facing slopes. In terms of productivity, commercial beech stands on the southern megaslope of the Polonynian Ridge predominate, with an average growing stock of 380 m³·ha⁻¹ (and a maximum of 780 m³·ha⁻¹). Under conditions of the Volcanic Ukrainian Carpathians, the average growing stock is slightly lower, amounting to 330 m³·ha⁻¹ with a maximum value of 630 m³·ha⁻¹.

Within the forest fund of the forestry enterprises in the study region, approximately 410 thousand m³ of stemwood is harvested annually, of which 234 thousand m³ (57%) accounts for final harvesting, while 176 thousand m³ (43%) is obtained from fellings associated with silvicultural activities. The intensity of wood resource exploitation remains low, with the harvest (utilized) share of the total average annual increment ranging between 38% and 48%, which indicates the presence of significant forest resource potential.

The areas of forest stands with a share of merchantable trees exceeding 40% are predominantly represented in medium- and high-density European beech stands. Specifically, on the southern megaslope of the Polonynian Ridge, they account for 60–67% in stands with a relative stocking density of 0.61–0.80, and 13–18% in stands with a relative stocking density of 0.81–0.90. In the Volcanic Ukrainian Carpathians, these areas constitute 60–63% for stands with a relative stocking density of 0.61–0.80, and 14–18% for those with a stocking density of 0.81–0.90.

In addition to accumulating timber at 100 years of age at a level of 500 m³·ha⁻¹ with a value of 138 thousand UAH·ha⁻¹, the region's beech stands also perform a highly vital ecosystem function by sequestering 212 t·ha⁻¹ carbon.

To balance the ecological, ecosystem-service, and commercial directions of forest resource utilization within the region's modal beech stands, a unified regional forest policy for forest management based on close-to-nature forestry principles must be developed. The research findings should be utilized to implement optimal parameters for the formation of highly productive and high-quality merchantable beech stands. Equally important is the introduction of modern, energy-efficient, and environmentally sound logging technologies, alongside a transition to a selection silvicultural system, which should form the foundation of the Development Strategy of Zakarpattia Oblast for the coming years.

Key words: growing stock; forest type; stand inventory parameters; stock assortment structure; timber value; stumpage fee; merchantable stems; aboveground phytomass.

¹ *Vasyl Trikur* – PhD 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 in 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>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412613>
Article received 2025.11.03
Article revised 2026.03.12
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Lyudmyla Zahvoyska
lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630: 520.33

Інтеграція послуг лісових екосистем у фінансово-економічні показники діяльності лісогосподарських підприємств України в умовах полікризи

Л.Д. Загвойська¹, Л.В. Міц²

Досліджено теоретико-методологічні засади інтеграції цінності послуг лісових екосистем у систему фінансово-економічних показників лісогосподарських підприємств України в умовах сучасної полікризи. Обґрунтовано, що традиційна модель оцінювання ефективності діяльності підприємств лісового сектору, орієнтована переважно на показники заготівлі та реалізації деревини, не забезпечує адекватного відображення реальної економічної цінності лісових екосистем і формує методологічну пастку економічної редукції природного капіталу. В умовах поєднання воєнних, кліматичних, енергетичних, інституційних та економічних криз лісові екосистеми виконують критично важливі функції забезпечення екологічної безпеки, депонування вуглецю, стабілізації водного режиму, підтримання біорізноманіття, підвищення стійкості соціо-еколого-економічних систем, а також екологічного туризму і рекреації.

У статті систематизовано наявні підходи до економічного оцінювання екосистемних послуг, природного капіталу та ESG-інтеграції до фінансової звітності. На основі класифікації CICES та принципів SEEA Ecosystem Accounting запропоновано економіко-функціональну типологію послуг лісових екосистем, що враховує можливості їх фінансової інтерпретації та капіталізації. Виокремлено прямо монетизовані, опосередковано монетизовані та стратегічні екосистемні активи, які формують довгострокову економічну цінність лісового сектору.

Оцінено вплив полікризи на функціонування лісогосподарського сектору України та визначено ключові фактори деградації природного капіталу. Доведено, що відсутність механізмів монетизації екосистемних послуг призводить до системного недооцінювання економічних втрат і викривлення фінансової результативності підприємств. Обґрунтовано доцільність інтеграції екосистемних активів у фінансово-економічну систему управління через розвиток вуглецевих ринків, механізмів платежів за екосистемні послуги, зелених облігацій, ESG-фінансування та природно-орієнтованих інвестицій.

¹ Загвойська Людмила Дмитрівна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, професор, кандидат економічних наук, професор кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>

² Міц Любомир Володимирович – аспірант кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: mits.liubomyr@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3667-0011>

Запропонований підхід формує підґрунтя для переходу від ресурсно-сировинної моделі лісокористування до моделі управління мультифункціональним природним капіталом, що сприятиме підвищенню інвестиційної привабливості лісового сектору, удосконаленню системи стратегічного управління та зміцненню антикризової стійкості лісогосподарських підприємств України.

Ключові слова: підприємства лісового сектору; природний капітал; екосистемні послуги; економічне оцінювання; екологічний туризм; туризм і рекреація; ESG-інтеграція до фінансової звітності.

Вступ (Introduction).

Трансформація глобальної економічної системи у XXI ст. супроводжується нагромадженням багаторівневих кризових явищ, які дедалі частіше в науковому дискурсі визначаються як полікриза – системна взаємодія декількох криз, коли наслідки кожної окремої кризи не просто додаються, а мультиплікативно підсилюють одна одну (Schreiber et al., 2025; Tooze, 2022; World Economic Forum, 2023; Загвойська, 2023). Для України феномен полікризи має особливо гострий характер, оскільки поєднує військову агресію, руйнування екосистем, втрату природного капіталу, структурну економічну нестабільність, інфляційні шоки, енергетичну вразливість і кліматичні зміни (Загвойська, 2023).

У такому контексті лісове господарство виступає не лише галуззю первинного ресурсного забезпечення, але й критично важливим елементом національної екологічної безпеки, кліматичної стабілізації, збереження водного режиму, депонування вуглецю, підтримання біорізноманіття, рекреаційного потенціалу територій і формування довгострокової стійкості екосистем. Попри це, чинна фінансово-економічна система оцінювання результативності діяльності лісогосподарських підприємств України залишається переважно орієнтованою на показники реалізації деревини, об'єми заготівлі лісопродукції, виробничу собівартість, прибуток від основної діяльності та показники операційної ефективності (Бобко, 2016; Лісогосподарська діяльність, 2025).

Такий підхід формує так звану методологічну пастку економічної редукції (Costanza et al., 1997), коли багатофункціональна цінність лісових екосистем зводиться до вартості лісоматеріалів. Унаслідок цього відбувається систематичне недооцінювання реального внеску лісів у формування суспільного добробуту та якості життя (зокрема екологічний туризм і рекреація), а також спотворення фінансової картини діяльності підприємств, які фактично генерують значно ширший спектр економічних вигід, ніж це відображено у бухгалтерській і статистичній звітності (The Economics..., 2010).

Умови сучасної полікризи зумовлюють необхідність переходу від розрізнених антикризових заходів до *polysolutions* – інтегрованих, системно орієнтованих підходів, які поєднують міждисциплінарне знання, адаптивне управління та довгострокове стратегічне бачення з метою підвищення стійкості соціо-еколого-економічних систем і усунення першопричин взаємопов'язаних криз. Такі підходи базуються на визнанні багатовимірної природи сучасних викликів, необхідності врахування невизначеності як невід'ємної характеристики соціо-еколого-економічних систем, а також на залученні колективного інтелекту й ресурсів широкого кола стейкхолдерів. Відтак, подолання полікризи можливе лише за умови переосмислення ролі інституцій і мінімізації небажаних ефектів управлінських рішень, що у підсумку сприятиме підвищенню стійкості та забезпеченню довгострокового сталого розвитку (Schreiber et al., 2025).

Метою дослідження є розроблення і теоретико-методологічне обґрунтування підходів до інтеграції вартості послуг лісових екосистем у систему фінансово-економічних показників діяльності лісогосподарських підприємств України в умовах сучасної полікризи з метою забезпечення адекватного оцінювання природного капіталу, підвищення інвестиційної привабливості галузі та формування нових механізмів управління, фінансування й відновлення лісового сектору.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – діяльність підприємств лісового сектору в контексті забезпечення екосистемних послуг і використання природного капіталу на засадах сталого розвитку. Предмет дослідження – теоретичні, методичні та практичні підходи до економічного оцінювання екосистемних послуг та ESG-інтеграції фінансової звітності в системі сталого розвитку підприємств лісового сектору.

У процесі дослідження використано комплекс загальнонаукових і спеціальних економічних методів, які забезпечують системність, багаторівневість і міждисциплі-

нальність аналізу.

Системний підхід застосовано для розгляду лісогосподарського підприємства як відкритої соціо-еколого-економічної системи, яка генерує не лише товарну продукцію, але й широкий спектр екосистемних послуг. Це дало змогу перейти від ресурсної моделі аналізу до концепції природного капіталу.

Для структурно-функціонального аналізу послуг лісових екосистем та визначення їхнього впливу на фінансово-економічні результати підприємств використано класифікацію екосистемних послуг CICES (*Common International Classification of Ecosystem Services*). Це ієрархічна система класифікації, яка структурує всі екосистемні послуги для їхнього оцінювання, обліку та інтеграції у політику й економіку. Ця система розділяє послуги екосистем на послуги забезпечення, регулювання і підтримання та культурні послуги, зокрема екологічного туризму і рекреації (Bateman et al., 2021; Haines-Young & Potschin, 2018).

Порівняльний (компаративний) аналіз застосовано для зіставлення українських підходів до економічного оцінювання лісових ресурсів із міжнародними практиками оцінювання природного капіталу та екосистемного обліку (*System of Environmental-Economic Accounting, SEEA*).

Методи економічного оцінювання екосистемних послуг використано як комбінований підхід, який включає: метод запобіжних витрат; метод відновної вартості; ринкову оцінку; методи соціальної вартості вуглецю; підхід до перерозподілу вигід (United Nations, 2021, 2025).

Інформаційною базою дослідження стали вторинні та аналітичні дані, які характеризують функціонування лісового сектору України та економічне оцінювання екосистемних послуг у національній і міжнародній господарській практиці. До матеріалів дослідження можна віднести:

- нормативно-правові акти України у сфері лісового господарства, природокористування та охорони довкілля, які визначають економічні засади використання лісових ресурсів і регулювання діяльності лісогосподарських підприємств (Forest sector..., 2025);

- статистичні дані державних і галузевих органів, зокрема показники діяльності лісогосподарських підприємств, структури доходів,

витрат, обсягів заготівлі деревини, а також інформація щодо екологічних функцій лісів;

- звітність підприємств лісового господарства включно з фінансовими звітами, управлінською інформацією та окремими елементами екологічної звітності (за наявності);

- міжнародні бази даних і звіти, зокрема матеріали *United Nations, World Bank, OECD*, а також глобальне оцінювання екосистемних послуг (Costanza et al., 1997; On Approval..., 2021; United Nations, 2021; World Bank Group, 2025);

- наукові публікації українських і зарубіжних вчених, які стосуються теорії природного капіталу, економіки екосистемних послуг, ESG-підходів, вуглецевих ринків та інтегрованої екологічної звітності;

- аналітичні оцінки та експертні узагальнення, що стосуються впливу полікризи (військової, кліматичної, енергетичної та інституційної) на функціонування лісового сектору України.

Методологічним підґрунтям дослідження є поєднання концепцій: природного капіталу; економіки екосистемних послуг; сталого розвитку; зеленої економіки; ESG-інтеграції фінансової звітності.

Системна інтеграція цих підходів дає підставу розглядати лісогосподарські підприємства не лише як виробничі одиниці, але й як носіїв мультифункціонального природного капіталу, що формує суспільну економічну цінність.

Формування сучасної концепції екосистемних послуг бере початок із фундаментальних досліджень природного капіталу, екологічної економіки та функціонування біосферних систем як джерела економічних благ. Однією із найбільш впливових наукових робіт стала концептуальна модель оцінювання глобальних екосистемних послуг, яка довела, що природні системи генерують економічну цінність, співставиму з масштабами світового ВВП (Costanza et al., 1997). Водночас ранні підходи були піддані критиці за надмірну агрегованість, умовність методів грошового оцінювання та недостатню прив'язку до інституційних механізмів практичного впровадження у фінансове управління підприємствами. Подальший розвиток світової наукової думки з проблематики інтеграції послуг лісових екосистем зосередився на ключових напрямках дослідження, які представлені у табл. 1.

Таблиця 1. Основні наукові напрями дослідження проблематики інтеграції послуг лісових екосистем у фінансово-економічні показники лісогосподарських підприємств
(сформовано авторами за Costanza et al., 1997; Barbier, 2021; Dasgupta, 2021; Gregersen & Contreras, 1992; Zahvoyska et al., 2017)

Table 1. Main Scientific Research Directions on the Integration of Forest Ecosystem Services into the Financial and Economic Indicators of Forestry Enterprises
(compiled by the authors based on Costanza et al., 1997; Barbier, 2021; Dasgupta, 2021; Gregersen & Contreras, 1992; and Zahvoyska et al., 2017)

Напрямок	Сутність	Переваги	Недоліки	Автори
1. Розвиток методів економічного оцінювання екосистемних послуг (<i>Economic Valuation of Ecosystem Service</i>)	Формування грошової вартості екосистемних послуг лісових екосистем через ринкові та неринкові методи (витратний підхід, умовне оцінювання, переказ виплат, соціальна вартість вуглецю)	Дає змогу кількісно оцінити екологічні вигоди; створює основу для монетизації природного капіталу; підвищує видимість екосистемних функцій в економіці	Висока залежність від припущень; чутливість до відсотка дисконтування; методологічна варіативність; просторові та часові обмеження	Costanza et al., 1997; Barbier, 2021; Dasgupta, 2021
2. Облік природного капіталу (<i>Natural Capital Accounting</i>)	Інтеграція природних активів у систему національних рахунків і макроекономічну статистику (SEEA-підхід)	Забезпечує системність обліку природних ресурсів; дає змогу включати екологічні активи у макроекономічні показники; покращує порівнюваність між країнами	Орієнтація на макrorівень; слабка операціоналізація на рівні підприємств; складність імплементації в бухгалтерські системи	United Nations; World Bank, 2021
3. Корпоративна інтеграція екосистемних активів у ESG-фінанси	Включення екосистемних показників у корпоративну звітність, інвестиційні рішення та ESG-стандарти	Сприяє залученню зелених інвестицій; підвищує інвестиційну привабливість компаній; інтегрує екологічні ризики у фінансові рішення	Переважно орієнтована на великі корпорації; слабка адаптація до державних підприємств; недостатня стандартизація показників	Barbier, 2021; Costanza, 1997; Dasgupta, 2021
Еколого-економічна ефективність лісівничих проєктів	Урахування вартості неоцінених ринком послуг лісових екосистем у показниках ефективності заходів	Інтегрована оцінка ефективності, яка враховує вигоди суспільства від запровадження заходів	Оперує лише грошовими оцінками. Чутлива до відсотка дисконтування	FAO, Grgersen Contreras, 1992; Zahvoyska et al., 2017

Українська школа економіки природокористування сформувала вагомий науковий фундамент у сфері оцінювання лісоресурсного потенціалу, рентного регулювання (Дейнека, 2013; Веклич, 2023), відтворення лісових ресурсів, екологізації господарювання та інституціоналізації сталого розвитку (Лицур, Карпук, 2018), тоді як інтеграція екосистемних послуг у фінансові показники ефективності підприємств фактично залишається малодослідженою. Аналіз діяльності лісового сектору України свідчить про низку концептуальних обмежень, які зумовлюють системне недооцінювання економічної цінності лісових екосистем: домінування

ресурсної логіки, коли ліс здебільшого аналізують з погляду запасу деревини, а не як комплексний природний актив; слабка інтеграція послуг лісових екосистем у фінансову аналітику лісогосподарських підприємств; недостатня розробленість механізмів монетизації нефізичних екосистемних послуг; низька сумісність існуючих методик із сучасною ESG-архітектурою фінансів.

У міжнародній літературі значно глибше опрацьовано такі важливі проблеми, як облік природного капіталу; оцінювання екосистем; фінансування дослідження біорізноманіття та кліматичних змін; ціноутворення на вуглець; комплексний екологічний облік.

Поряд із цим, зарубіжним дослідженням притаманна низка недоліків, зокрема висока абстрактність моделей, орієнтація на зрілі інституції, недостатня адаптація до умов постконфліктних економік, а також недостатнє врахування військово-екологічних ризиків і впливів. Саме тому для України необхідна гібридна модель, яка поєднує міжнародні підходи з національною інституційною специфікою.

Наукова гіпотеза дослідження полягає в тому, що включення монетизованої вартості послуг лісових екосистем до системи фінансово-економічних показників лісогосподарських підприємств може забезпечити підвищення реальної економічної оцінки результативності їхньої діяльності; зростання інвестиційної привабливості галузі; формування нових джерел доходу (вуглецеві кредити, платежі за екосистемні послуги [*PES, Payments for Ecosystem Services*], зелені облігації); поліпшення стратегічного управління природним капіталом; підвищення антикризової стійкості підприємств в умовах сучасної полікризи.

Результати (Results).

Традиційна модель економічного аналізу діяльності лісогосподарських підприємств в Україні історично формувалася на основі виробничо-сировинної парадигми, відповідно до якої ліс розглядали передусім як джерело деревинної продукції, а економічну

результативність суб'єктів господарювання оцінювали через обсяг заготовленої деревини, собівартість виробництва, прибуток від реалізації лісоматеріалів, фондовіддачу, продуктивність праці та рівень рентабельності. Така методологія була логічною в умовах індустріальної економіки, де природне середовище сприймалося як зовнішній фактор виробництва, а екологічні функції екосистем фактично вважалися безоплатними суспільними благами, які не підлягали економічному вимірюванню. Проте в умовах сучасної полікризи цей підхід втрачає аналітичну адекватність. Доцільно виокремити найвпливовіші причини виникнення полікризи (табл. 2).

Здійснене оцінювання засвідчує, що полікриза формує системний кумулятивний вплив на лісогосподарський сектор України, де домінуючими є воєнний, кліматичний та інституційний фактори. Сукупні економічні втрати з урахуванням прямих та екосистемних ефектів, оцінюють у діапазоні 6-12 млрд дол. США щорічно, що не відображається у традиційній фінансовій звітності підприємств через відсутність механізмів монетизації природного капіталу. Отже, ліс більше не може трактуватися виключно як біомаса деревини, оскільки його економічна функція значно ширша. У табл. 3 відображено класифікацію функцій лісогосподарського підприємства у контексті екосистемного дискурсу.

Таблиця 2. Оцінювання впливу полікризи на лісогосподарський сектор України
(сформовано авторами за Vetter, 2024; Initiative on GHG Accounting of War, 2025; Громадська організація «Лісові ініціативи і суспільство», 2024; вимоги наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, 2026; Better Regulation Delivery Office, 2018)

Table 2. Assessment of the Impact of the Polycrisis on the Forestry Sector of Ukraine
(compiled by the author based on Vetter, 2024; Initiative on GHG Accounting of War, 2025; Forest Initiatives and Society, 2024; requirements of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine Order, 2026; Better Regulation Delivery Office, 2018)

Причини полікризи	Основні прояви впливу	Кількісні оцінки	Економічні наслідки
Військові дії	Пожежі, мінування, знищення лісових масивів, окупація територій	3 млн га деградованих лісових екосистем; 183 млн т CO ₂ -екв. викидів; 2-5 млрд дол. США екосистемних втрат/рік. Економічні втрати складають 70 млрд доларів (оцінка на 2024 рік міністра захисту довкілля та збереження природних ресурсів Світлани Гринчук) (Vetter, 2024; за оцінками Initiative on GHG Accounting of War, 2025)	Довгострокова втрата продуктивності лісів (20-30 років), зниження поглинання CO ₂ , деградація ґрунтів
Кліматичний фактор	Посухи, лісові пожежі, температурні аномалії	Лісові пожежі, спричинені війною, у 2024 р. різко зросли – їхня площа перевищила середній рівень 2006–2021 рр. більш ніж у 20 разів. Викиди від пожеж досягли 22,9 млн т CO ₂ -екв., що значно більше, ніж у попередні роки, а загальний обсяг становив до 49,4 млн т CO ₂ -екв. Більшість загорянь виникала в прифронтових і прикордонних зонах, а їхнє поширення посилювалося аномально посушливими погодними умовами 2024 р.	Зростання витрат на лісовідновлення; зниження приросту деревини

Продовження таблиці 2

Причини полікризи	Основні прояви впливу	Кількісні оцінки	Економічні наслідки
Енергетичний фактор	Зростання попиту на деревину як паливо, виснаження лісових ресурсів	Оскільки пожежно-рятувальні служби не можуть діяти в зоні бойових дій, ці пожежі поширюються неконтрольовано, збільшуючись за площею та інтенсивністю (за оцінками Initiative on GHG Accounting of War, 2025)	Деградація доступних лісів, порушення вікової структури насаджень, локальне виснаження ресурсів
		35-55% деревини спрямовується на паливо. У 2024 р. зафіксували рекордні за останні чотири роки обсяги незаконних рубок – понад 39,6 тис. куб. метрів деревини, що на 30,7% більше, ніж у 2023 році. Більшість незаконних рубок (87,3%) припала на ліси, підпорядковані Державному агентству лісових ресурсів України. За даними 2024 р. у цих лісах виявили 4,6 тис. випадків незаконних рубок обсягом 34,3 тис. куб. метрів на суму збитків 817 млн грн (за оцінками громадської організації «Лісові ініціативи і суспільство», 2024)	
Інституційний фактор	Централізація, тіньові операції, слабка цифровізація	15-25% тіньової виручки; 400 млн втрат бюджету/рік; < 70% цифрового обліку деревини (за оцінками громадської організації «Лісові ініціативи і суспільство», 2024; вимогами наказу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, 2026; за оцінками Better Regulation Delivery Office, 2018)	Низька прозорість ринку деревини, обмежена інвестиційна привабливість
Економічний фактор	Інфляція, падіння інвестицій, зростання витрат	Значне зниження інвестицій пов'язане з війною; зростання собівартості (Vetter, 2024; за оцінками Initiative on GHG Accounting of War, 2025)	Скорочення довгострокових інвестицій, орієнтація на доходи в короткостроковій перспективі
Екологічний фактор	Втрата екосистемних послуг, деградація біорізноманіття	3-7 млрд дол. США потенційних втрат/рік; 15-25% поглинання CO ₂ (Vetter, 2024; за оцінками Initiative on GHG Accounting of War, 2025)	Зниження природного капіталу, погіршення кліматичної стійкості територій

З економічного погляду це означає, що лісогосподарське підприємство фактично генерує портфель екосистемних активів, з яких лише один має традиційно ринкову форму монетизації – продаж деревини і недревних ресурсів лісу. Усі інші залишаються або недооціненими, або взагалі вилученими із системи фінансової звітності.

Для інтеграції екосистемних послуг у фінансово-економічний аналіз лісогосподарських підприємств доцільно застосовувати економіко-функціональну класифікацію, яка групує послуги за ступенем їхнього впливу на формування фінансових результатів та можливістю монетизації.

Такий підхід дає змогу перейти від традиційного трактування лісу як джерела деревинної продукції до розуміння його як багатофункціонального природного капіталу, що генерує як безпосередні доходи, так і опосередковані економічні вигоди та стратегічні

активи довгострокового значення (Дейнека, 2021). У цьому контексті розрізняють такі три групи:

I. Прямо монетизовані екосистемні послуги – це послуги, які мають ринкову ціну або можуть бути відносно легко залучені у господарський оборот. До них належать: деревина; недревна продукція лісу; продукція мисливського господарства; рекреаційні послуги; доходи від екотуризму; плата за спеціальне природокористування; біоенергетичні ресурси; екологічно сертифікована продукція, карбонові кредити.

II. Опосередковано монетизовані послуги формують економічний ефект через зменшення витрат або запобігання збиткам: зменшення витрат на водоочищення; запобігання ерозії; зниження втрат врожаю на прилеглих землях; стабілізація гідрологічних режимів; скорочення збитків від повеней; зменшення теплового стресу в урбанізованих територіях; зниження витрат систем охорони здоров'я через покращення якості повітря.

Таблиця 3. Класифікація функцій лісогосподарського підприємства у контексті екосистемного дискурсу

(сформовано авторами за Costanza et al., 1997; Синякевич, 2017)

Table 3. Classification of Forestry Enterprise Functions in the Context of Ecosystem Discourse
(compiled by the authors based on Costanza et al., 1997 and Syniakevych, 2017)

Екосистемна функція	Економіко-функціональний зміст
Геополітична функція	Компонент відновлення екосистемної безпеки територій
Інфраструктурно-захисна функція	Запобігання зсувам, підтопленням, деградації земель
Санітарно-екологічна функція	Очищення повітря, фільтрація забруднювачів
Біорізноманіттева функція	Збереження генетичних ресурсів, підтримання трофічних мереж
Кліматорегульовальна функція	Локальна терморегуляція, регулювання атмосферної вологості, стабілізація мікроклімату
Карбон-аккумуляційна функція	Зв'язування CO ₂ та депонування вуглецю
Водорегульовальна функція	Формування водного балансу, підтримка ґрунтової вологи, запобігання ерозії
Рекреаційно-соціальна функція	Задоволення суспільних потреб, оздоровлення населення, підвищення якості життя

III. Стратегічні екосистемні активи – це категорія, яка формує довгострокову еколого-економічну цінність, зокрема: біорізноманіття; генетичний потенціал; кліматичну стійкість територій; ландшафтну цілісність; стійкість до посух; потенціал залучення зелених інвестицій, відновлення деградованих екосистем; міжнародну екологічну репутацію держави, а також потенціал розвитку екологічного туризму і рекреації, особливо у воєнний і поствоєнний час. Саме ця група на сьогодні практично відсутня у фінансовій аналітиці українських лісогосподарських підприємств, хоча є винятково важливою.

З метою інтеграції послуг лісових екосистем у фінансово-економічні показники пропонується застосовувати такий інтеграль-

ний показник, як індекс капіталізації екосистемних послуг (ІКЕР).

Цей індекс відображає частку вартості екосистемних послуг у загальній виручці підприємства, що можна визначити за формулою:

$$ІКЕР = VES/TR$$

де *VES* (*Value of Ecosystem Services*) – сумарна монетизована вартість екосистемних послуг (карбонова абсорбція, водорегулювання, рекреація, біорізноманіття, запобігання деградації ґрунтів тощо); *TR* (*Total Revenue*) – загальна виручка підприємства від усіх видів діяльності.

Інтерпретація показника ІКЕР представлена в табл. 4. ІКЕР виконує функцію індикатора глибини екологізації бізнес-моделі.

Таблиця 4. Інтерпретація показника ІКЕР
(сформовано авторами за Costanza et al., 1997)

Table 4. Interpretation of the IKER Indicator
(compiled by the authors based on Costanza et al., 1997)

Значення	Сутність
< 0,10	критично низький рівень капіталізації природного капіталу
0,10-0,30	часткова інтеграція природного капіталу
0,31-0,60	високий рівень екологічної капіталізації
>0,6	межа трансформації підприємства у природно-капітальну (ecosystem-based) модель.

Розширений фінансовий результат підприємства можна представити у вигляді модифікованого показника прибутковості, який розраховують за формулою:

$$EFP = P + VES - CD,$$

де *EFP* – екосистемно скоригований фінансовий результат; *P* – бухгалтерський прибуток; *VES* – вартість екосистемних послуг; *CD* – вартість екологічної деградації.

У цьому виразі якщо $CD > VES$ –

підприємство є екологічно деструктивним у довгостроковій перспективі; якщо $VES \approx CD$, то спостерігається екологічна нейтральність; у випадку якщо $VES > CD$ формується позитивний природний капітал. Загалом, цей показник дає можливість перейти від бухгалтерської логіки до економіки повної вартості природного капіталу.

Методичними джерелами для розрахунку *VES* може стати комбінування низки показників – ринкового методу, методу запобіжних витрат,

методу вартості заміщення, умовного оцінювання, перенесення вигід, соціального ціноутворення на вуглець, екосистемного обліку, оцінювання природного капіталу.

Екосистемна *EBITDA* (*Earnings Before Interest, Taxes, Depreciation and Amortization*) дає змогу модифікувати класичну *EBITDA* шляхом залучення річної вартості екосистемних послуг або деструкцій. Формула розрахунку має такий вигляд:

$$EBITDA_{eco} = EBITDA + VES - CD,$$

де до операційного прибутку до вирахування амортизації та фінансових витрат (*EBITDA*) додається річна капіталізована вартість екосистемних послуг (*VES*) і віднімається вартість екологічної деградації (*VES*) або втрачених екосистемних послуг.

EBITDA_{eco} відображає операційну здатність підприємства генерувати як фінансову, так і природну додану вартість, примножувати або руйнувати екосистемний потенціал. Такий підхід дає змогу коректно порівнювати підприємства різних регіонів, враховувати екологічну продуктивність лісів, оцінювати їхню інвестиційну привабливість у контексті зелених фінансів.

Для українських надлісництв це може радикально змінити фінансовий профіль підприємств і показати, що їхня суспільна економічна цінність у декілька разів перевищує класичну товарну виручку.

Інтегрована природно-капітальна рентабельність R_{nc} визначає ефективність використання як фінансового, так і природного капіталу. Рентабельність природного капіталу розраховують за формулою:

$$R_{nc} = \frac{P+VES}{TC} \times 100\%,$$

де *TC* (*Total Costs*) – загальні витрати підприємства.

Індекс R_{nc} характеризує ефективність генерації економічної цінності (у грошовому еквіваленті) в розрахунку на одну гривню витрат з урахуванням природного капіталу. Високі значення R_{nc} свідчать про ефективне поєднання економічної та екологічної функції, низькі значення – про ресурсно-витратну модель господарювання. Цей показник демонструє повну економічну продуктивність екосистеми як активу.

Усі запропоновані показники формують єдину систему екосистемно-інтегрованої фінансової оцінки, яка дає змогу перейти від оцінювання деревини до оцінювання лісу як багатофункціонального активу; інтегрувати екосистемні послуги у фінансову звітність підприємств; визначати реальну економічну цінність природного капіталу; формувати основу

для green finance, carbon markets та PES-механізмів; підвищувати інвестиційну привабливість.

Дискусія (Discussion).

Структурна специфіка лісового господарства України полягає у високій частці державної форми власності, значній адміністративній централізації управління (рис 1). Подальше домінування ресурсно-орієнтованої моделі господарювання та недостатній розвиток ринкових механізмів екологічної капіталізації природних активів підтверджується тим, що до 70-85% доходів лісгосподарських підприємств формуються за рахунок реалізації деревини, а частка екосистемних послуг у фінансовій звітності практично не вказується взагалі.

Водночас в умовах полікризи сучасні трансформації відкривають нові економічні можливості. Це стосується, насамперед, вуглецевих ринків. Українські ліси мають значний потенціал депонування вуглецю. За умов гармонізації з європейською кліматичною політикою та розвитку *MRV-system* (*monitoring, reporting, verification*) лісгосподарські підприємства можуть стати активними учасниками добровільних і регульованих ринків вуглецевих одиниць (Загвойська та ін., 2025).



Рис. 1. Розподіл загальної площі земель лісового фонду України за відомчою підпорядкованістю, %

(за даними Державної служби статистики України, 2025).

Fig. 1. Distribution of the Total Area of Ukraine's Forest Fund Lands by Administrative Subordination, %

(based on data from the State Statistics Service of Ukraine, 2025)

Відтак, платежі за екосистемні послуги. Механізм платежів за екосистемні послуги здатний сформувати нові стабільні джерела доходів, особливо в таких сегментах, як водорегуляція, захист ґрунтів, підтримка біорізноманіття, рекреація, ландшафтна стабільність територій.

Ще одна вагома можливість – це зелені фінансові інструменти. Інтеграція екосистемних активів у фінансову звітність відкриває можливості щодо випуску зелених облігацій, залучення кліматичних фондів, змішаного фінансування, ESG-інвестування, фінансування біорізноманіття та участі у природних ринках.

Післявоєнна відбудова створює нові можливості, коли лісовідновлення може стати не лише екологічною, але й інвестиційною платформою національного масштабу.

Отже, сучасна трансформація економічної системи, яка відбувається в умовах полікризи, потребує переходу від ідентифікації проявів полікризи (*“wicked problems”*) до розроблення полірішень – системи холистичних, системних відповідей, рішень, пропозицій і показників, які охоплюють різні контексти, зокрема, воєнний і повоєнний, інституційний, технологічний, довкільний і повсякденний і приймаються на різних рівнях. Вони разом працюють у складній системі, а також покладаються на зміну поведінки економічних суб'єктів, їхню активну діяльність і взаємодію на рівні людей, спільнот та організацій для інтенсифікації еколого-економічної трансформації.

Висновки (Conclusion).

1. Сучасна система фінансово-економічного оцінювання діяльності лісогосподарських підприємств України не відповідає реальній багатофункціональній природі лісового капіталу, оскільки базується переважно на сировинно-екстрактивній моделі господарювання, де ключовим об'єктом економічного обліку виступає деревина як товарна продукція. Такий підхід не враховує значний спектр екосистемних вигід, які формуються лісовими екосистемами у вигляді кліматорегулювальних, водоохоронних, захисних, рекреаційних, санітарно-екологічних і біорізноманітствених послуг і мають суттєву економічну цінність, але водночас залишаються невидимими у фінансовій звітності та системі управлінських рішень. Такий підхід формує системне недооцінювання внеску лісового сектору у національну економіку, погіршує інвестиційну привабливість галузі та стримує розвиток механізмів зеленої фінансової трансформації.

2. Інтеграція екосистемних послуг у фінансово-економічні показники лісогосподарських підприємств повинна здійснюватися на основі концепції природного капіталу та екосис-

темного обліку, адаптованих до інституційних умов України. Запропонована система інтегральних показників – індекс капіталізації екосистемних послуг, екосистемно скоригований фінансовий результат, екосистемна EBITDA та рентабельність природного капіталу – створює можливість кількісно трансформувати нефінансові екологічні функції лісу у вимірювані економічні параметри, що підвищує об'єктивність оцінювання результативності діяльності підприємств.

3. В умовах сучасної полікризи оцінювання природного капіталу повинно мати ризик-адаптивний характер. Військові дії, деградація екосистем, кліматичні аномалії, енергетичні шоки, інституційні дисфункції та макроекономічна нестабільність формують комплексний тиск на продуктивність лісових екосистем, що вимагає застосування ризик-коригованих моделей оцінювання. Запропонований механізм урахування полікризових факторів через систему коригувальних коефіцієнтів, індекс полікризового навантаження, сценарне прогнозування та оцінювання стійкої частини природного капіталу дає змогу перейти від статичної моделі вартості до динамічної системи управління екосистемними активами в умовах невизначеності.

4. Стратегічно важливо, що капіталізація екосистемних послуг створює для українського лісового сектору нові джерела доходів і фінансові можливості: участь у вуглецевих ринках, екологічний туризм і рекреація, запровадження механізмів платежів за екосистемні послуги, залучення ESG-інвестицій, випуск зелених облігацій, використання міжнародних кліматичних фондів і формування природно-капітальної моделі післявоєнного відновлення.

5. Інтеграція екосистемних послуг у систему фінансово-економічних показників лісогосподарських підприємств є не лише інструментом екологізації галузі, але й фундаментальною передумовою її економічної модернізації, підвищення конкурентоспроможності та довгострокової стійкості в умовах сучасних глобальних і національних викликів.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Barbier, E. B. (2021). *Natural resources and economic development*. New York, NY: Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781316875681>
- Bateman, I. J., Mace, G. M., Fezzi, C., Atkinson, G., & Turner, K. (2021). Economic analysis for ecosystem assessments service. *Environmental and Resource Economics*, 48, 177–218. <https://doi.org/10.1007/s10640-010-9418-x>
- Bobko, A. M. (2016). Economics of forestry and problems of its reforming in Ukraine. *Economy of Ukraine*, 59(3), 88–96. <https://nasu-periodicals.org.ua/index.php/economyukr/article/view/2016-03-8>. [Бобко, А. М. (2016). Економіка лісівництва і проблеми його реформування в Україні. *Економіка України*, 59(3), 88–96] (in Ukrainian)
- Better Regulation Delivery Office (BRDO) (2018). UAH 400 Million in Budget Revenues Lost Due to Shadow Timber Circulation. <https://brdo.com.ua/news/400-mln-vtrachaye-byudzheth-cherez-tinovyj-obig-derevyny/>
- Costanza, R., d'Arge, R., de Groot, R., Faber, S., Grasso, M., Hannon, B., ... van den Belt, M. (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. *Nature*, 387, 253–260. <https://doi.org/10.1038/387253a0>
- Dasgupta, P. (2021). *The Economics of Biodiversity: The Dasgupta Review*. London: HM Treasury. <https://doi.org/10.1017/9781009494359>
- Deineka, A. M. (2013). Development of forest certification in Ukraine: State, problems and prospects. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23(15), 15–20. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_15/15_D_ej.pdf. [Дейнека, А. М. (2013). Розвиток лісової сертифікації в Україні: стан, проблеми і перспективи. Науковий вісник НЛТУ України, 23(15), 15–20] (in Ukrainian)
- FAO Forestry (1992). Food and Agriculture Organization of the United Nations. Rome: FAO. <https://www.fao.org/4/t0579e/t0579e00.htm>
- Forest Initiatives and Society NGO. (2024). Annual analytical study of the state of forests in Ukraine. Lviv, Ukraine: Forest Initiatives and Society NGO. <https://ecopolitic.com.ua/ua/news/u-2024-rosi-v-ukraini>. [Громадська організація «Лісові ініціативи і суспільство». (2024). Щорічне аналітичне дослідження стану лісів в Україні. Львів, Україна: ГО «Лісові ініціативи і суспільство»] (in Ukrainian)
- Forest sector of Ukraine (2025). Kyiv, Ukraine: State Specialized Forest Enterprise “Forests of Ukraine”. <https://e-forest.gov.ua/lisova-haluz-ukrainy>. [Лісова галузь України (2025). Київ, Україна: Державне спеціалізоване господарське підприємство «Ліси України»] (in Ukrainian)
- Forestry activity (2025). Kyiv, Ukraine: State Statistics Service of Ukraine. Retrieved from <https://stat.gov.ua/uk/releases/lisohospodarska-diyalnist>. [Лісогосподарська діяльність (2025). Київ, Україна: Державна служба статистики України] (in Ukrainian)
- Gregersen, H. M., & Contreras, A. (1992). Economic assessment of forestry project impacts /by Hans Gregersen and Arnoldo Contreras. Washington, D.C.: World Bank; [S.I.]: United Nations Environment Programme, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations. <https://digitallibrary.un.org/record/194682>
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2018). Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.1 and guidance on the application of the revised structure. Nottingham, UK: Fabis Consulting Ltd. <https://doi.org/10.3897/oneeco.3.e27108>
- Initiative on GHG Accounting of War. (2025). Climate damage caused by Russia's war in Ukraine: 24 February 2022 – 23 February 2025. Kyiv, Ukraine: Initiative on GHG Accounting of War & Ecoaction. October 2025. <https://en.ecoaction.org.ua/climate-damage-3-years-numbers.html>
- Lytsur, I. M., & Karpuk, A. I. (2018). Mechanism of fiscal regulation of forestry management. *Economics of Nature Management and Sustainable Development*, 1-2(20-21), 67–72. [https://doi.org/10.37100/2616-7689/2018/1-2\(21-22\)/13](https://doi.org/10.37100/2616-7689/2018/1-2(21-22)/13). [Лицур, І. М., Карпук, А. І. (2018). Механізм фіскального регулювання лісогосподарування. *Економіка природокористування і сталий розвиток*, 1–2(20–21), 67–72] (in Ukrainian)
- Millennium Ecosystem Assessment. (2005). Ecosystems and human well-being: Synthesis. Washington, DC: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Organisation for Economic Cooperation and Development. (2021). Biodiversity, natural capital and the economy: A policy guide for finance and economic ministries. Paris, France: OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/1a1ae114-en>
- On Approval of the Instruction for Maintaining Electronic Timber Accounting (2021). Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine No. 621 dated September 27, 2021. Legislation of Ukraine Database. Verkhovna Rada of Ukraine. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1343-21>

- [Про затвердження Інструкції з ведення електронного обліку деревини (2021). Наказ Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України від 27 вересня 2021 р. № 621. (2021). База даних «Законодавство України». Верховна Рада України] (in Ukrainian)
- Schreiber, D., Hassnaoui, S., Weyembergh, A., Brosig, M., Kanifa, K., & Tibaingana, A. (2025). *From Polycrisis to Polysolutions*. Brussels, Belgium: PolyCIVIS Network. <https://civis.eu/storage/files/1foundational-brief-polycrisis-and-policy-series-formatted-version2-schreiber-et-al-mar-2025.pdf>
- Synyakevych, I. (2017). Greening of the collective consciousness in the context of spiritual development. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15, 119–123. <https://doi.org/10.15421/411715> [Синякевич, І. М. (2017). Екологізація суспільної свідомості в контексті духовного розвитку. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 15, 119–123] (in Ukrainian)
- The Economics of Ecosystems and Biodiversity. (2010). The economics of ecosystems and biodiversity: Ecological and economic foundations. London, England: Earthscan. <https://redlac.org/wp-content/uploads/2015/08/economy-ecosystems-biodiversity.pdf>
- Tooze, A. (2022). *Welcome to the world of the polycrisis*. Financial Times. Retrieved from <https://www.ft.com/content/498398e7-11b1-494b-9cd3-6d669dc3de33>.
- United Nations Department of Economic and Social Affairs. (2025). 5 reasons why the International Day of Forests matters. New York, NY: United Nations Department of Economic and Social Affairs. <https://www.un.org/en/desa/5-reasons-why-international-day-forests-matters>.
- United Nations. (2021). System of Environmental-Economic Accounting – Ecosystem Accounting (SEEA EA). New York, NY: United Nations Statistics Division. <https://seea.un.org/ecosystem-accounting>.
- Veklych, O. O. (2023). Conceptual model of payments for ecosystem benefits: Scientific search for new environmental compensation instruments in the post-war period. *Economy of Ukraine*, 66(3), 73–90. <https://doi.org/10.15407/economyukr.2023.03.073>. [Веклич, О. О. (2023). Концептуальна модель платежів за екосистемні блага: науковий пошук нових інструментів екологічної компенсації у повоєнний період. *Економіка України*, 66(3), 73–90] (in Ukrainian)
- Vetter, D. (2024). *Why, amid the horrors of war, Ukraine is fighting for nature*. New York, NY: Forbes Media LLC. Retrieved from <https://www.forbes.com/sites/davidrvetter/2024/12/30/why-amid-the-horrors-of-war-ukraine-is-fighting-for-nature>
- World Bank. (2021). *The changing wealth of nations 2021: Managing assets for the future*. Washington, DC: World Bank Publications. <https://doi.org/10.1596/978-1-4648-1590-4>
- World Bank Group. (2025). *Forests and landscapes*. Washington, DC, USA: World Bank Group. Forests and Landscapes. <https://www.worldbank.org/ext/en/topic/environment/forests-and-landscapes>.
- World Economic Forum. (2023). *Global risks report 2023*. Geneva, Switzerland: World Economic Forum. Retrieved from https://www3.weforum.org/docs/WEF_Global_Risks_Report_2023.pdf
- Zahvoyska, L. D. (2023). Overcoming interconnected systemic crises: The response of ecological economics. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 33(1), 52–59. <https://doi.org/10.36930/40330108>. [Загвойська Л. Д. (2023). Подолання взаємопов'язаних системних криз: відповідь екологічної економіки. *Науковий вісник НЛТУ України*, 33(1), 52–59] (in Ukrainian)
- Zahvoyska, L. D., & Mits, L. V. (2025). Development of recommendations for accounting forest ecosystem services in the activities of forestry enterprises of Ukraine using the TOWS-analysis method. *Economy and Society*, 74. <https://doi.org/10.32782/2524-0072/2025-74-75>. [Загвойська Л. Д., Міц Л. В. (2025). Розроблення рекомендацій щодо врахування послуг лісових екосистем у діяльності лісогосподарських підприємств України методом TOWS-аналізу. *Економіка та суспільство*, 74] (in Ukrainian)
- Zahvoyska, L., Pelyukh, O., & Maksymiv, L. (2017). Methodological considerations and their application for evaluation of benefits from the conversion of even-aged secondary Norway spruce stands into mixed uneven-aged woodlands with a focus on the Ukrainian Carpathians. *Austrian Journal of Forest Science*, 134, 251–281. Vienna, Austria: Austrian Society of Forest Research. https://www.forestscience.at/content/dam/holz/forest-science/2017/heft1a/CB1701A_Article13.pdf.

Integration of Forest Ecosystem Services into the Financial and Economic Performance Indicators of Forestry Enterprises in Ukraine under Conditions of Polycrisis

L. Zahvoyska¹, L. Mits²

The article develops a theoretical and methodological framework for integrating the value of forest ecosystem services into the system of financial and economic performance indicators of forestry enterprises in Ukraine under conditions of contemporary polycrisis. The relevance of the study is determined by the increasing interaction of military, climatic, energy, institutional, ecological, and macroeconomic shocks, which simultaneously undermine the productive capacity of forest ecosystems and reveal the limitations of conventional accounting approaches focused almost exclusively on timber harvesting and sales. Under such circumstances, forests should be regarded not merely as a source of raw materials, but as multifunctional natural capital that generates a broad portfolio of market and non-market benefits for society and the economy.

The purpose of the study is to substantiate conceptual, methodological, and applied approaches to incorporating ecosystem services into financial and economic indicators used to evaluate the performance of forestry enterprises. The research is based on a systemic and interdisciplinary methodology combining the concepts of natural capital, ecological economics, ecosystem accounting, sustainable development, and ESG-oriented corporate finance. The Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) and the United Nations System of Environmental-Economic Accounting - Ecosystem Accounting were used as the methodological foundation for identifying and structuring forest ecosystem services. The research methods include systems analysis, comparative analysis, structural-functional classification, and economic valuation methods such as market pricing, replacement cost, avoided cost, benefit transfer, and social cost of carbon.

The study demonstrates that the traditional financial model used in the forestry sector creates a methodological trap of economic reductionism, whereby the multifunctional value of forests is

reduced to the market value of timber. As a result, essential ecosystem benefits - including carbon sequestration, climate regulation, water retention, erosion prevention, biodiversity conservation, public health support, ecological tourism, and recreation - remain largely invisible in financial statements and management decisions. This leads to a systematic underestimation of both the contribution of forests to national welfare and the true economic losses associated with ecosystem degradation.

An economic-functional typology of forest ecosystem services is proposed. It distinguishes three categories of ecosystem assets: directly monetized services (timber, non-timber forest products, recreation, hunting, carbon credits, certified products); indirectly monetized services (avoided costs related to flood control, water purification, erosion prevention, and health protection); and strategic ecosystem assets (biodiversity, climate resilience, genetic resources, landscape integrity, and post-war restoration potential). This typology provides a practical basis for integrating ecosystem values into enterprise-level financial analysis.

To operationalize this integration, a system of innovative indicators is developed, including the Index of Ecosystem Services Capitalization (IKEP), Ecosystem-adjusted Financial Performance (EFP), Ecosystem EBITDA, and Return on Natural Capital (Rnc). These indicators enable the transformation of non-market ecological functions into measurable financial parameters and provide a more comprehensive assessment of enterprise performance. Their application allows forestry enterprises to evaluate the extent to which they generate or degrade natural capital and to compare economic outcomes while accounting for ecosystem contributions and environmental damage.

The study confirms that the capitalization of forest ecosystem services creates new opportunities for revenue diversification and sustainable financing

¹ *Lyudmyla Zahvoyska* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD, professor, Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>

² *Liubomyr Mits* – PhD student of the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: mits.liubomyr@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-3667-0011>

These include participation in carbon markets, Payments for Ecosystem Services mechanisms, green bonds, ESG investments, biodiversity finance, and nature-based solutions. Such instruments are especially important for Ukraine's post-war recovery, where forest restoration can become both an ecological priority and a strategic investment platform.

The scientific novelty of the research lies in the development of an integrated methodological approach for incorporating ecosystem services into the financial and economic performance indicators of forestry enterprises under polycrisis conditions.

The practical significance of the study consists in providing a conceptual and analytical basis for improving financial reporting, strategic planning, and investment decision-making in the forestry sector. The proposed approach supports the transition from a resource-oriented model of forest use to a multifunctional natural capital management model aimed at strengthening resilience, investment attractiveness, and long-term sustainability.

Key words: forest sector enterprises; natural capital; ecosystem services; economic valuation; ecotourism; tourism and recreation; ESG integration in financial reporting.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412614>
Article received 2025.10.14
Article revised 2026.03.20
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Halyna Lesiuk
halyna.lesiuk@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*6:004.9:330.15:502.131.1

Цифровізація лісового сектору України: основні тренди та соціально-економічні виклики

Г.М. Лесюк¹, І.П. Соловій²

Досліджено трансформаційні процеси цифровізації лісового сектору України в контексті глобальних трендів Індустрії 4.0. Актуальність теми зумовлена необхідністю підвищення прозорості управління та адаптації вітчизняного бізнесу до жорстких вимог ринку ЄС. Метою роботи є аналіз сучасних тенденцій та ідентифікація ключових соціально-економічних викликів, що перешкоджають масштабуванню цифрових інновацій у галузі. Дослідження базується на методах наративного синтезу та статистичного аналізу даних Державного агентства лісових ресурсів та Державної служби статистики України. Систематизовано ключові державні ініціативи, зокрема впровадження системи електронного обліку деревини, створення 3D-карт лісового фонду та запуск інтегрованого порталу «ЕкоСистема». Встановлено, що цифровізація державного управління лісами демонструє високу динаміку, сприяючи системній детінізації ринку та покращенню оперативного моніторингу лісових ресурсів. Водночас виявлено суттєву «цифрову асиметрію» між державним та приватним сегментами: на деревообробних і меблевих підприємствах рівень впровадження передових технологій (ERP, CRM, штучний інтелект) залишається критично низьким і не перевищує 7,5%. Це підтверджує, що приватний сектор наразі перебуває лише на стадії базової автоматизації, не використовуючи потенціал великих даних та хмарних обчислень для підвищення доданої вартості продукції. Основними бар'єрами визначено високу вартість інтеграції складних кіберфізичних систем, дефіцит кваліфікованих кадрів із подвійними компетенціями та застарілу матеріально-технічну базу. Доведено, що подальший розвиток сектору залежить від створення єдиної цифрової інфраструктури для моніторингу вуглецевого депонування та дотримання вимог Регламенту ЄС щодо запобігання знелісенню та деградації лісів EUDR. Цифрова трансформація має стати стратегічним інструментом не лише контролю, але й економічного зростання в умовах післявоєнного відновлення. Практична значущість результатів полягає у визначенні ключових

¹ Лесюк Галина Миколаївна – доктор філософії, асистент кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: halyna.lesiuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Соловій Ігор Павлович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

викликів та перспектив цифровізації лісового сектору України для підвищення ефективності управління, прозорості обігу деревини та формування стратегії цифрової трансформації галузі.

Ключові слова: Індустрія 4.0; цифрова трансформація; інформаційно-комунікаційні технології; проекти; цифрові інновації; лісовий сектор.

Вступ (Introduction).

Ліси важливі не лише для підтримання стійкості екосистем та ландшафтів, але й економічного розвитку України та забезпечення добробуту суспільства. За різними оцінками, частка лісового сектору України становила за останні роки 0,5-1,7% валового внутрішнього продукту (ВВП) країни (World Bank, 2020; Центр розвитку ринкової економіки, 2022). Частка лісового господарства у структурі ВВП складає 0,3%, водночас разом із деревообробною і меблевою галузями вага лісового сектору у вітчизняній економіці сягає 1,17% ВВП (Центр розвитку ринкової економіки, 2022). Впродовж останніх десятиліть лісовий сектор України загалом демонстрував стійкий сприятливий розвиток, випереджаючи багато галузей національної економіки за річними темпами зростання. Водночас у контексті реформування зростають ризики зниження соціо-екологічної ефективності на регіональному і локальному рівнях через втрату гнучкості у прийнятті рішень щодо фінансування природоохоронних заходів та соціальної підтримки місцевих громад (Соловій та ін., 2026).

Внаслідок російсько-української війни ліси та лісове господарство зазнали значних збитків (Лесюк, Соловій, 2024), однак галузь і надалі розвивається, зокрема реагуючи на глобальні тренди використання інформаційно-комунікаційних технологій. Технології, що є рушійною силою четвертої промислової революції, все більше інтегровані у лісовому секторі.

Питанню цифровізації лісового сектору присвячено чимало досліджень, зокрема орієнтованих винятково на національний рівень. Ranacher та ін. (2023) досліджували питання ефективності цифровізації малих і середніх лісопильних підприємств в Австрії. Gašpar та ін. (2023) вивчали цифровізацію основних бізнес-процесів підприємств на прикладі деревообробного кластеру «Герцеговина». Sahal et al. (2021) досліджували використання розумних пристроїв для збору даних під час моніторингу лісових пожеж. Дослідженню питань, пов'язаних з цифровізацією лісового сектору України присвятили свої праці Заверюха (2024), Соловій і Король (2024), Галячук (2025) та ін. Водночас на сьогодні напрями, ініціативи та проекти цифровізації лісового сектору України недостатньо розглянуті у наукових публікаціях.

Актуальність теми зумовлена тим, що Державна стратегія управління лісами України до 2035 р. виокремлює підвищення прозорості лісогосподарської діяльності та забезпечення функціонування електронної інформаційної системи у сфері лісового господарства як стратегічне завдання розвитку лісового господарства (Кабінет Міністрів України, 2021). Створення електронної інформаційної системи відповідає загальному тренду цифровізації галузей економіки і демонструє цифровий поступ в галузі.

Метою дослідження є ідентифікація основних напрямів та соціально-економічних викликів цифровізації лісового сектору України. Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження: з'ясувати сутність понять “цифровізація” та “цифровізація лісового сектору”; систематизувати чинні на сьогодні напрями та ініціативи цифровізації лісового сектору України; ідентифікувати виклики цифровізації лісового сектору України у соціально-економічній сфері.

Об'єкт і методика досліджень (Materials and methods).

Об'єкт дослідження – процес цифрової трансформації лісового сектору України в умовах глобальних технологічних трендів та переходу до парадигми Індустрії 4.0. Предмет дослідження – сукупність теоретичних засад, сучасних тенденцій, соціально-економічних викликів та інструментальних рішень (ГІС, ERP, блокчейн, ШІ), що визначають динаміку та ефективність впровадження цифровізації в державному та приватному сегментах лісового сектору України.

Для досягнення мети дослідження застосовано методи наративного синтезу та статистичного аналізу. У соціальних науках розрізняють декілька категорій синтезу, зокрема традиційний (конвенціональний), кількісний, якісний, що поділяються на окремі види та мають спільну мету – узагальнити, підсумувати або об'єднати результати досліджень з різноманітних джерел (Steingut et al., 2022, Schick-Makaroff et al., 2016). Якщо метою дослідження є відстеження розвитку та еволюції концепції, теорії чи ідеї, то застосовують наративний синтез (Schick-Makaroff et al., 2016). Наративний синтез може складатись із чотирьох основних етапів: 1) розроблення теоретичного підґрунтя дослідження; 2) попередній синтез

даних; 3) визначення взаємозв'язків між даними та розгляд чинників, що впливають на дослідження; 4) оцінювання результатів синтезу та формулювання висновків. Етапи 2-4 супроводжуються вибором інструментів і технік дослідження, серед яких найпоширенішими є концептуальне мапування, текстовий аналіз, контент-аналіз, табулювання, кластеризація (Poraу et al., 2006). У цьому дослідженні цей метод застосовано за етапами: концептуалізація поняття “цифровізація лісового сектору”, синтез ініціатив та проєктів цифровізації лісового господарства України та їх табулювання, визначення соціально-економічних викликів цифровізації лісового сектору України, формування висновків щодо стану цифровізації лісового сектору України. Табулювання (зведення в таблиці) обрано з огляду на зручність його застосування у наративному синтезі для представлення кількісних показників та/або якісних даних візуально (Poraу et al., 2006). Статистичний аналіз застосовано як комплементарний метод для оцінювання основних показників використання інформаційно-комунікаційних технологій на деревообробних і меблевих підприємствах України на основі статистичних даних.

Інформаційною базою дослідження є матеріали та звіти Державного агентства лісових ресурсів України і Державної служби статистики України за період з 2018 року. Часові обмеження обрані з огляду на затвердження у 2018 р. “Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки” (Кабінет Міністрів України, 2018).

Результати (Results).

На сьогодні цифровізація є наскрізним технологічним та соціально-економічним трендом, який змінює бізнес-середовище та суспільство загалом. Темпи цифровізації різняться між галузями економічної діяльності та країнами (Jaumotte et al., 2023), хоча пандемія COVID-19 пришвидшила використання інформаційно-комунікаційних технологій у всіх сферах.

У наукових джерелах цифровізацію переважно визначають як використання цифрових технологій і даних з метою створення доходу, трансформації бізнес-процесів та створення сприятливого середовища для ведення бізнесу, для якого цифрова інформація є основою. Цифровізацію також розглядають, як явище перетворення аналогових даних на цифрову мову, що, своєю чергою, може покращити ділові стосунки між клієнтом і бізнесом та у результаті створити додану вартість для всієї економіки і суспільства (Reis et

al., 2020). У праці Parviainen et al. (2017) цифровізація трактується як “дія або процес оцифрування, перетворення аналогових даних (особливо даних у форматі зображень, відео та тексту) у цифрову форму”.

Варто зазначити, що стосовно галузей економічної діяльності застосовують два поняття: “цифровізація” та “оцифрування даних”. У цьому дослідженні цифровізацію розглядаємо як широке поняття, яке характеризує повсюдний процес соціо-технічної трансформації суспільства на основі використання цифрових технологій і даних. Оцифрування ж стосується процесу перетворення даних у цифровий формат і створення цифрових артефактів за допомогою перетворення та вдосконалення даних (Gradillas, Llewellyn, 2023).

Цифровізація є одним із пріоритетів для Європейського Союзу (ЄС). У 2021 р. Європейська Комісія затвердила “Цифровий компас ЄС на період до 2030 р.”, задекларувавши досягнення на рівні ЄС чотирьох цілей: 1) розвиток цифрових навичок: принаймні 80% дорослого населення має оволодіти базовими цифровими навичками, і 20 млн. спеціалістів з інформаційно-комунікаційних технологій має бути працевлаштовано в ЄС; 2) цифрова трансформація бізнесу: 75% компаній повинні використовувати сервіси хмарних обчислень, великі дані та штучний інтелект, понад 90% малих і середніх підприємств в ЄС мають досягти принаймні базового рівня цифрової інтенсивності, а кількість стартапів з високою вартістю має подвоїтися; 3) розвиток інфраструктури: усі домогосподарства ЄС повинні мати гігабітне з'єднання, усі населені пункти мають бути покриті 5G, виробництво передових та екологічно чистих напівпровідників у Європі має становити 20% світового виробництва, 10 000 кліматично нейтральних високозахисених периферійних вузлів мають бути розгорнуті в ЄС, і Європа повинна мати свій перший квантовий комп'ютер; 4) електронні державні послуги: всі ключові державні послуги мають бути доступні онлайн, всі громадяни повинні мати доступ до своїх електронних медичних карток, і 80% громадян повинні використовувати електронну ідентифікацію (European Commission, 2021).

Цифровізація стає національним пріоритетом і в Україні. Хоча ефективність впровадження “Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки” не оцінена, деякі ініціативи, зокрема, портал державних послуг і мобільний застосунок «Дія» та електронна система охорони здоров'я

«eHealth» засвідчують поступ України на шляху до цифрової трансформації суспільства. Окрім того, Міністерство цифрової трансформації вимірює процеси інформатизації та цифровізації у 24 областях через індекс цифрової трансформації регіонів України, згідно з яким наявні позитивні напрацювання у впровадженні цифрових послуг, електронного документообігу та підключенні до швидкісного інтернету (Міністерство цифрової трансформації України, 2023). Зауважимо, що у комунікації про розширення ЄС за 2023 р. Європейська комісія відзначила національний прогрес у сфері цифровізації та оцінила, що Україна перебуває між середнім і добрим рівнем підготовки в сфері цифрових технологій (European Commission, 2023).

Цифровізація виробництва та економіки є вирішальною для розвитку Індустрії 4.0 в Україні – оновленої концепції “розумного виробництва”, що ототожнюється з четвертою промисловою революцією та появою кіберфізичних систем (Кабінет Міністрів України, 2018). Основними компонентами, які характеризують Індустрію 4.0, є: кіберфізичні системи, Інтернет речей та послуг, розумна фабрика. Під кіберфізичними системами варто розуміти складні інтелектуальні системи, які забезпечують поєднання фізичного та віртуального світу. Прикладами кіберфізичних систем є розумні будинки, автоматизовані системи керування. Мережу, в якій взаємодіють кіберфізичні системи, можна описати як Інтернет речей. Інтернет послуг розуміється як можливість надання послуг, а також виробничих технологій через Інтернет. Розумна фабрика є центром і кінцевою метою впровадження концепції Індустрії 4.0. Розумна фабрика складається з автономних фрактальних систем, які пов’язані через Інтернет речей та послуг. Тобто її машини та обладнання мають здатність покращувати процеси шляхом самооптимізації та автономного прийняття рішень (Müller et al., 2019).

За останні десятиріччя інформаційно-комунікаційні технології активно застосовувалися у різних галузях економічної діяльності. Цифровізація лісового сектору передбачає стаłe впровадження передових інформаційно-комунікаційних технологій для покращення збору, аналізу та моніторингу даних, що стосуються лісів, моніторингу ланцюгів постачання деревини, поряд з автоматизацією виробничих процесів у тих галузях економічної діяльності, що використовують деревину як сировину.

До технологій, які можна ефективно використовувати для цифровізації лісового сектору, насамперед варто віднести Інтернет речей, бездротові сенсорні мережі та машинне навчання (Singh et al., 2022). Зауважимо, що використання концепції і технологій Індустрії 4.0 у лісовому секторі зумовило виникнення окремої концепції “Лісове господарство 4.0” (Forestry 4.0), ключовими ознаками якої є автоматизація, використання у галузі Інтернету речей (Internet of Forest Things), штучного інтелекту, розумних пристроїв, блокчейну і цифрових двійників (Reitz et al., 2019). Ці передові технології використовують як для вирішення операційних проблем, так і для прогнозування майбутньої діяльності (Sahal et al., 2021).

Основними прикладами застосування технологій Індустрії 4.0 у лісовому секторі є такі (Muller et al., 2019; Sahal et al., 2021, Singh et al., 2022): *геоінформаційні системи* (GIS) – використання супутникових даних для моніторингу стану лісів та сталого управління лісовими ресурсами; *дистанційне зондування* – застосування аерофотознімання, лазерного сканування (Light Detection and Ranging – LiDAR) для створення точних карт лісів; *автоматизовані системи управління* – використання електронних платформ і цифрових сервісів для забезпечення електронного обліку деревини та відстеження ланцюгів постачання деревини; *Інтернет речей* (IoT) – впровадження сенсорів у техніку і виробничі процеси для збору даних про екологічні параметри та якість деревини; *хмарні технології та великі дані* (Big Data) – аналіз великих масивів інформації для прогнозування продуктивності лісів, оптимізації заготівлі деревини та логістики; *блокчейн-технології* – створення прозорих і незмінних реєстрів для контролю походження деревини та боротьби з незаконними рубками; прикладом застосування технологій у лісовому господарстві є FSC Trace (раніше FSC Blockchain) – захищений запис перевірених транзакцій і даних про джерела отримання деревини, призначений для забезпечення безперешкодної перевірки відповідності матеріалів на кожному етапі ланцюгів постачання (FSC, 2025); *цифрові двійники* (Digital Twins) – створення віртуальних копій лісів з метою оптимізації управління лісовими ресурсами.

На практиці застосування концепції Forest 4.0 – це поєднання низки технологій, наприклад, дистанційного зондування, аналізу великих масивів даних і штучного інтелекту для відстеження та аналізу біорізноманітності видів у лісових екосистемах (Damasevicius et al., 2024). Деякі додатки використовують блокчейн для

безпечного та децентралізованого моніторингу вуглецевих кредитів, інтегруючи Інтернет речей, бездротові сенсорні мережі та блокчейн для збору, аналізу та зберігання даних (Saurabh & Dey, 2021). Це забезпечує прозорість і безпеку на ринках торгівлі вуглецевими квотами.

Аналіз міжнародного досвіду засвідчує, що лісове господарство є здебільшого високо-автоматизованим, тоді як деревообробна і меблева промисловості характеризується меншим прогресом у використанні машин та автоматизованого обладнання (Gaspar et al., 2023). Виготовлення виробів з деревини часто відбувається із застосуванням ручної праці, що зумовлено культурними аспектами та установленими традиціями в галузі (Landscheidt & Kans, 2016). Цифровізація у деревообробній промисловості здебільшого зводиться до використання хмарних технологій і спеціалізованого програмного забезпечення для

планування та управління матеріальними ресурсами (MRP-системи), планування ресурсів підприємства (ERP-системи), управління відносинами з клієнтами (CRM-системи) (Ranacher et al., 2023).

Більшість сучасних ініціатив цифровізації лісового господарства України спрямовані на відстеження ланцюга постачання деревини та детінізацію ринку (табл. 1). На операційному рівні їхня реалізація забезпечується державним підприємством “Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр” (ДП «ЛІАЦ»). Підписання Меморандуму про співпрацю між Державним агентством лісових ресурсів України та Програмою розвитку Організації Об’єднаних Націй уможливило реалізацію проекту зі створення 3D-карти лісів України та застосування технологій дистанційного зондування за допомогою лазерних імпульсів (Болоховець, 2022).

Таблиця 1. Основні ініціативи з цифровізації лісового господарства України (сформовано авторами на основі: Кабінет Міністрів України, 2019a, 2019b; Еко-система, 2024; Державне агентство лісових ресурсів України, 2022, Державне агентство лісових ресурсів України, 2023; ДП “Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр”, 2024)

Table 1. Key Initiatives for the Digitalization of Ukraine’s Forestry Sector (compiled by the authors based on : Cabinet of Ministers of Ukraine, 2019a, 2019b; Eco-System, 2024; State Agency of Forest Resources of Ukraine, 2022; State Agency of Forest Resources of Ukraine, 2023; State Enterprise “Forestry Innovation and Analytical Center,” 2024)

Початок впро- вадження (рік)	Ініціатива	Характеристика
2019	Електронні аукціони з продажу деревини	Постанова КМУ №1178 «Про реалізацію експериментального проекту щодо проведення електронних аукціонів з продажу необробленої деревини» визначила механізм продажу підприємствами – постійними лісокористувачами окремих партій необробленої деревини в електронній торговій системі Prozorro. Продажі
2019	Електронний облік деревини	Електронний облік деревини здійснюється відповідно до постанови Кабінету Міністрів України від 04.12.2019 № 1142 «Про затвердження Порядку проведення моніторингу внутрішнього споживання вітчизняних лісоматеріалів необроблених і контролю за не перевищенням обсягу внутрішнього споживання вітчизняних лісоматеріалів необроблених».
2019	Єдиний реєстр лісорубних квитків	Електронний реєстр заготівлі деревини, онлайн-карти рубок, перевірка легальності лісових та лісорубних квитків. Забезпечується через веб сайт ДП «ЛІАЦ».
2020	Сервіс перевірки походження легальності деревини	Перевірка походження легальності деревини за номером бирки, номером автомобіля, чи номером товарно-транспортної накладної. Забезпечується через вебсайт ДП «ЛІАЦ».
2021	Автоматизована система «Пожежі»	Платформа єдиної електронної бази лісових пожеж для контролю та аналізу внесених даних на різних етапах гасіння пожеж, та отримання оперативної інформації про лісові пожежі. Забезпечується через вебсайт ДП «ЛІАЦ».
2022	ДроваЄ	Онлайн-магазин для замовлення та купівлі дров населенням у лісогосподарських підприємствах.

Початок впро- вадження (рік)	Ініціатива	Характеристика
2022	ЕкоСистема	Онлайн-платформа Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України, яка містить моніторингові дані про довкілля. Окремий функціональний модуль – “е-ліс” – потенційно повинен об'єднати дані моніторингу лісів, інформацію про пожежі, розрахункові лісосіки.
2023	е-Наряд	Тестування функціоналу GPS- моніторингу та е-Наряд для ДП «Ліси України» для відстеження руху спеціалізованих автотранспортних засобів у лісових масивах.
2026	Формування цифрової карти лісів України	Відпрацювання методики визначення точних координат перетинів кварталних ліній та налагодження процесу оперативної передачі даних до ВО «Укрдержліспроект» (серія практичних навчань для лісових офісів).

Аналізуючи застосування інформаційно-комунікаційних технологій на деревообробних і меблевих підприємствах (табл. 2), можемо зробити висновок, що цифровізація певних галузей лісового сектору перебуває на початковій стадії. Зауважимо, що статистична звітність відносить до тієї ж групи поліграфічну діяльність та ремонт машин і устаткування, тому висновок стосується ширшої сфери економічної діяльності.

Незважаючи на окремі ініціативи, застосування систем планування ресурсів

підприємства (ERP-систем), систем управління відносинами з клієнтами (CRM-систем), Інтернету речей та хмарних обчислень характерне для обмеженої кількості деревообробних і меблевих підприємств. Застосування Інтернету речей на деревообробних і меблевих підприємствах зазвичай відбувається з метою забезпечення безпеки приміщень та ефективного енергоспоживання через окремі технічні пристрої – сенсори безпеки і датчики енергоспоживання.

Таблиця 2. Використання інформаційно-комунікаційних технологій на деревообробних і меблевих підприємствах України, 2022 р. (сформовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, 2024,

https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html)

Table 2. Usage of information and communication technologies at woodworking and furniture enterprises in Ukraine, 2022 (compiled by the authors based on data from the State Statistics Service of Ukraine, 2024, https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html)

Вид економічної діяльності, показник	Виготовлення виробів з деревини, паперу та поліграфічна діяльність	Виробництво меблів, іншої продукції, ремонт і монтаж машин та устаткування
Частка кількості підприємств, що купують послуги хмарних обчислень, у загальній кількості підприємств, %	8,3	8,4
Частка кількості підприємств, що використовують програмне забезпечення для планування ресурсів підприємства (ERP), у загальній кількості підприємств, %	6,2	4,4
Частка кількості підприємств, що використовують програмне забезпечення для управління відносинами з клієнтами (CRM), у загальній кількості підприємств, %	2	1,8
Частка кількості підприємств, що використовують Інтернет речей, у загальній кількості підприємств, %	6	6,2
Частка кількості підприємств, що використовують технології штучного інтелекту, у загальній кількості підприємств, %	4,1	7,5

Дані щодо застосування штучного інтелекту на деревообробних і меблевих підприємствах України свідчать про відносно низький рівень їх впровадження. Найбільш застосовуваними є

технології проведення аналізу писемної мови, технології підтримки процесу прийняття рішень і технології машинного навчання для аналізу даних (рис.).

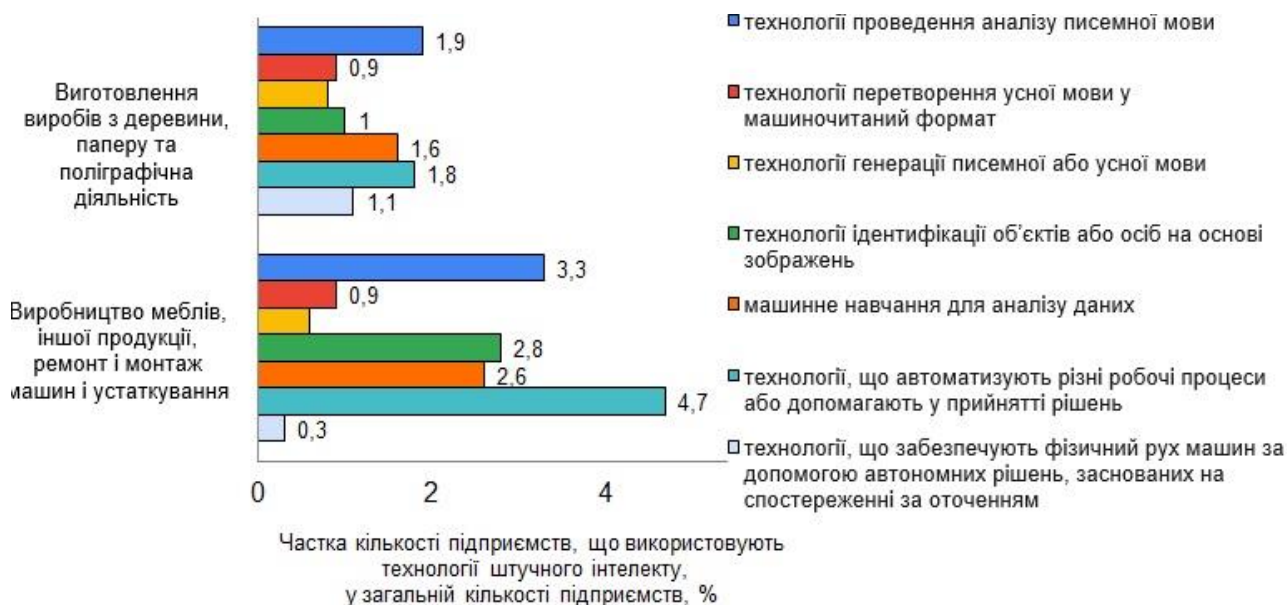


Рис. Застосування технологій штучного інтелекту на підприємствах деревообробної та меблевої промисловості у 2022 р. (побудовано авторами на основі даних Державної служби статистики України, 2024) (https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html)

Fig. Application of artificial intelligence technologies in woodworking and furniture manufacturing enterprises in 2022 (compiled by the authors based on data from the State Statistics Service of Ukraine, 2024) (https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html)

На підставі аналізу можна виокремити низку технічних і соціо-економічних викликів, що впливають на цифровізацію лісового сектору.

1. *Складна структура ланцюга створення доданої вартості у лісовому секторі, що характеризується високим ступенем поділу праці.* Лісовий сектор об'єднує різноманітні зацікавлені сторони, які нарізно працюють зі спеціалізованими машинами, портативними пристроями та різноманітними програмними продуктами. Діджиталізація може сприяти оптимізації ланцюгів постачань. Однак у технологічному контексті, особливо в рамках моделей цифрового переходу, вагомим викликом є і сам процес постійного розвитку технологій. Він може створювати значні проблеми сумісності, що вимагає коригування інфраструктури. Зміни в інфраструктурі можуть спричинити такі ускладнення, як утилізація обладнання, що часто асоціюється з відходами. Наукові дослідження звертають увагу на цю проблему, пропонуючи нові стратегії управління застарілими технологіями (Bastos et al., 2024).

2. *Середовище роботи.* Окремі види робіт виконуються у віддалених лісових масивах, де неможливо гарантувати надійне підключення до Інтернету та використання спеціалізованих програмних продуктів.

3. *Взаємозалежність з іншими видами економічної діяльності,* тому рішення щодо цифровізації мають бути прийняті на основі системного підходу (Reitz et al., 2019).

4. *Безпека і захист даних.* Готовність до використання цифрових технологій значною мірою визначається довірою користувачів до захисту даних, і включає не лише технічну складову – надійні механізми захисту даних, але й юридичну – верховенство закону щодо захисту даних.

5. *Належні знання та мотивація працівників до впровадження нових технологій.* Більшість лісгосподарських підприємств не має достатнього штату кваліфікованих працівників для використання нових цифрових програм, що вимагає відповідного попереднього навчання. Поза тим, навіть найпростіша автоматизація робіт пов'язана з потенційною втратою робочих місць (Müller et al., 2019).

6. *Обмеженість фінансових ресурсів.* Реалізація комплексної стратегії цифровізації вимагає інвестицій у кілька основних напрямів водночас: підвищення цифрової компетентності працівників через тренінги і навчальні програми, придбання спеціалізованого обладнання, а також його оновлення, включно з ліцензіями та новими версіями програмних продуктів.

Варто зазначити, що згадані виклики стосуються діджиталізації назагал. Водночас є й такі, які властиві певним інформаційно-комунікаційним технологіям. Наприклад, застосування блокчейн, окрім необхідності високих початкових інвестицій, також зумовлює інші виклики, такі як *енергозатратність* – процеси майнінгу та обробки транзакцій споживають значні обсяги енергії; *регуляторну невизначеність* – у багатьох країнах законодавство щодо блокчейну ще не розроблене або недостатньо чітке; *складність інтеграції* – технічні бар'єри у впровадженні блокчейну в системи бізнесу (Загвойська та ін., 2025).

Дискусія (Discussion).

Аналіз динаміки цифровізації лісового сектору України вказує на виражену асиметрію між державним управлінням та приватним бізнесом. Впровадження концепції «Forestry 4.0» підтверджує глобальні тренди, описані Qiu et al., (2023), згідно з якими використання «цифрових двійників» (*Digital Twins*) стає основою для предиктивного моделювання стану лісових екосистем та оптимізації господарських заходів. Розвиток інструментів прозорості, таких як «ЕкоСистема», електронний облік деревини та онлайн-аукціони, свідчить про активну роль держави у формуванні «Цифрового лісового господарства». Такий підхід корелює із глобальними трендами, висвітленими у звіті FAO (2024), де цифрові інновації визначено як ключовий механізм подолання кліматичних викликів та забезпечення легальності ланцюгів постачання. Проте, якщо в країнах ЄС фокус зміщується на глибоку інтеграцію даних, в Україні зусилля наразі зосереджені переважно на фіскальних функціях контролю. Важливим аспектом є наукова верифікація даних. Без побудови надійних цифрових реєстрів неможливе прозоре планування лісового господарства.

Дослідження Palander et al. (2024) акцентує увагу на тому, що впровадження передових технологій у ланцюги постачання деревини є ключовим для підвищення стійкості галузі в умовах глобальних криз. В Україні цей процес гальмується браком фінансових стимулів для малого і середнього бізнесу. Крім того, Komdeur et al. (2021) обґрунтовують надзвичайну перспективність блокчейн-технологій для забезпечення повної простежуваності деревини.

Проте результати нашого дослідження щодо використання інформаційно-комунікаційних технологій на деревообробних і меблевих підприємствах висвітлюють критичний розрив у цифровій зрілості. Низька частка використання ERP-систем та систем штучного інтелекту свідчить про те, що приватний сектор переважно фокусується на базовій автоматизації. Наші дані

доповнюють висновки Gašpar та ін. (2023), Ranacher та ін. (2023): у той час як лісозаготівля стає все більше прозорою завдяки державному контролю, деревообробка залишається «цифровою периферією» через високу вартість технологій і дефіцит кваліфікованих кадрів. Ситуація набуває особливої актуальності для українських експортерів у контексті впровадження регламенту EUDR. Ці висновки засвідчують, що без державної підтримки цифрової модернізації меблевої та деревообробної галузей українська продукція ризикує втратити доступ до високомаржинальних європейських ринків через неможливість забезпечити цифрове підтвердження легальності походження сировини. Таким чином, перехід до концепції «Лісове господарство 4.0» в Україні потребує створення цілісної системи, де дані державних реєстрів інтегруються з внутрішніми управлінськими системами підприємств.

Висновки (Conclusion).

1. Цифрова трансформація лісового сектору України має виражений асиметричний характер: на фоні успішного впровадження державних інструментів моніторингу (електронний облік деревини, ГІС-системи), приватний сектор деревообробки демонструє низьку активність у використанні складних технологій (III, ERP), що обмежує його операційну ефективність.

2. Виявлено ключові соціально-економічні бар'єри цифровізації, серед яких домінують висока капіталомісткість інноваційних рішень для суб'єктів малого бізнесу, гострий дефіцит профільних фахівців із цифровими компетенціями та відсутність єдиної інтегрованої платформи для прозорого обміну даними між усіма учасниками ланцюга постачання.

3. Подолання «цифрового розриву» потребує переходу від фрагментарної автоматизації до побудови цілісної екосистеми «Forestry 4.0», яка базуватиметься на науково верифікованих математичних моделях оцінювання ресурсів і сучасних інструментах «цифрових двійників» лісового фонду.

4. Стратегічним пріоритетом розвитку галузі є впровадження блокчейн-технологій для верифікації ланцюгів постачання деревини, що забезпечить повну відповідність української лісопродукції регламенту EUDR та розроблення цифрової інфраструктури і наборів даних з вимірювання, звітування та верифікації (MRV) у ланцюгах створення вартості на вуглецевому ринку, а також інвентаризації та відстеження викидів парникових газів.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкурентних фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, висвітлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Bastos, T., Teixeira, L. C., & Nunes, L. J. (2024). Forest 4.0: technologies and digitalization to create the residual biomass supply chain of the future. *Journal of Cleaner Production*, 467, 143041. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2024.143041>
- Bolokhovets, Y. (2022). Digitalization of Ukrainian forests thanks to UNDP assistance. https://lb.ua/blog/yurii_bolokhovets/531323_tsifr ovizatsiya_ukrainskih_lisiv.html [Болоховець Ю. (2022). Цифровізація українських лісів завдяки допомозі ПРООН] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2018). On approval of the Concept for the development of the digital economy and society of Ukraine for 2018-2020 and approval of the action plan for its implementation. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/67-2018-%D1%80#Text> [Про схвалення Концепції розвитку цифрової економіки та суспільства України на 2018-2020 роки та затвердження плану заходів щодо її реалізації] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019a). On the implementation of an experimental project for conducting electronic auctions for the sale of raw timber. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1178-2019-%D0%BF#Text> [Про реалізацію експериментального проєкту щодо проведення електронних аукціонів з продажу необробленої деревини] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2019b). On approval of the Procedure for monitoring internal consumption of raw domestic timber and control over not exceeding the volume of internal consumption of raw domestic timber. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1142-2019-%D0%BF#Text> [Про затвердження Порядку проведення моніторингу внутрішнього споживання вітчизняних лісоматеріалів необроблених і контролю за не перевищенням обсягу внутрішнього споживання вітчизняних лісоматеріалів необроблених] (in Ukrainian)
- Cabinet of Ministers of Ukraine. (2021). On approval of the State Forest Management Strategy of Ukraine until 2035. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1777-2021-%D1%80#Text> [Про схвалення Державної стратегії управління лісами України до 2035 року] (in Ukrainian)
- Center for Market Economy Development. (2022). Economic analysis of the expediency of creating a single state unitary commercial specialized forestry enterprise: Analytical report. <https://www.openforest.org.ua/239980/> [Центр розвитку ринкової економіки (2022). Економічний аналіз доцільності створення єдиного державного унітарного комерційного спеціалізованого лісгосподарського підприємства: Аналітичний звіт] (in Ukrainian)
- Damaševičius, R., Mozgeris, G., Kurti, A., & Maskeliūnas, R. (2024). Digital transformation of the future of forestry: An exploration of key concepts in the principles behind Forest 4.0. *Frontiers in Forests and Global Change*, 7, 1424327. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2024.1424327>
- EcoSystem. (2024). National online platform containing up-to-date information on the state of the environment. <https://eco.gov.ua/> [Національна онлайн-платформа, яка містить актуальну інформацію про стан довкілля] (in Ukrainian)
- European Commission. (2021). *2030 Digital Compass: the European way for the Digital Decade*. https://commission.europa.eu/document/download/9fc32029-7af3-4ea2-8b7a-4cd283e8e89e_en?filename=cellar_12e835e2-81af-11eb-9ac9-01aa75ed71a1.0001.02_DOC_1.pdf
- European Commission. (2023). *Communication on EU Enlargement policy*. https://neighbourhood-enlargement.ec.europa.eu/system/files/2023-11/SWD_2023_699%20Ukraine%20report.pdf
- FAO. (2024). *The State of the World's Forests 2024: Forest-sector innovations towards a more sustainable future*. Rome. <https://doi.org/10.4060/cd1265en>
- Forestry Innovation and Analytical Center. (2024). <https://www.ukrforest.com/> [ДП “Лісгосподарський інноваційно-аналітичний центр”] (in Ukrainian)
- FSC. (2025). *FSC Trace*. <https://fsc.org/en/fsctrace>
- Gaspar, D., Ćorić, I., & Mabić, M. (2023). Digitalization of key processes in the wood processing companies. *Economic Review – Journal of Economics and Business*, 21(2), 3–12. <https://doi.org/10.51558/2303-680X.2023.21.2.3>
- Gradillas, M., & Thomas, L. D. W. (2023). Distinguishing Digitization and Digitalization: A Systematic Review and Conceptual Framework. *Journal of Product Innovation Management*, 41(2), 112–142. <https://doi.org/10.1111/jpim.12690>
- Holiachuk, N. (2025). Digital transformation of forestry: aspects of electronic accounting of wood. *Galician economic journal*, 93(2), 25–32. https://doi.org/10.33108/galicianvisnyk_tntu2025.02 [Голячук, Н. (2025). Цифрова трансформація лісового господарства: аспекти електронного обліку деревини. *Галицький економічний вісник*, 93(2), 25–32] (in Ukrainian)
- Jaumotte, F. L., Li, A., Medici, M., Oikonomou, C., Pizzinelli, I., Shibata, J. Soh, & Tavares, M. M.

- (2023). "Digitalization During the COVID-19 Crisis: Implications for Productivity and Labor Markets in Advanced Economies", *Staff Discussion Notes*, 003 (2023), accessed 27.05.2026, <https://doi.org/10.5089/9798400232596.006>
- Komdeur, E. F. M., & Ingenbleek, P. T. M. (2021). The potential of blockchain technology in the procurement of sustainable timber products. *International Wood Products Journal*, 12(4), 249–257. <https://doi.org/10.1080/20426445.2021.1967624>
- Landscheidt, S., & Kans, M. (2016). *Automation Practices in Wood Product Industries: Lessons learned, current Practices and Future Perspectives*. In: The 7th Swedish Production Symposium SPS, Lund University, Sweden. <https://urn.kb.se/resolve?urn=urn:nbn:se:lnu:diva-58199>
- Lesiuk, H., & Soloviy, I. (2024). The role of the Ukrainian forest sector in the national post-war recovery plan and the European Green Deal: a preliminary analysis. *Economy of Ukraine*, 8, 88–104 [Лесюк, Г., Соловій, І. (2024). Роль лісового сектору України в національному плані повоєнного відновлення і Європейському зеленому курсі: попередній аналіз. *Економіка України*, 8, 88–104] (in Ukrainian) <https://doi.org/10.15407/economyukr.2024.08.088>
- Ministry of Digital Transformation of Ukraine. (2023). *Digital transformation index of the regions of Ukraine: results of 2023*. <https://surl.li/berqgb> [Міністерство цифрової трансформації України. (2023). *Індекс цифрової трансформації регіонів України підсумки 2023 року*] (in Ukrainian)
- Müller, F., Jaeger, D., & Hanewinkel, M. (2019). Digitization in wood supply – A review on how Industry 4.0 will change the forest value chain. *Computers and Electronics in Agriculture*, 162, 206–218. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2019.04.002>
- Palander, T., Tokola, T., Borz, S. A., & Rauch, P. (2024). Forest Supply Chains During Digitalization: Current Implementations and Prospects in Near Future. *Current Forestry Reports*, 10, 223–238 <https://doi.org/10.1007/s40725-024-00218-4>
- Parviainen, P.; Tihinen, M.; Kääriäinen, J.; & Teppola, S. (2017). Tackling the digitalization challenge: how to benefit from digitalization in practice," *International Journal of Information Systems and Project Management*, 5(1), Article 5, 63–77. <https://aisel.aisnet.org/ijispm/vol5/iss1/5>
- Popay, J., Roberts, H., Sowden, A., Petticrew, M., Arai, L., Rodgers, M., ... Duffy, S. (2006). *Guidance on the conduct of narrative synthesis in systematic reviews: A product from the ESRC Methods Programme*. <https://doi.org/10.13140/2.1.1018.4643>
- Qiu, H., Zhang, K., Lei, H., & Zhang, X. Hu. (2023). Forest digital twin: a new tool for forest management practices based on Spatio-Temporal Data, 3D simulation Engine, and intelligent interactive environment. *Computers and Electronics in Agriculture*, 215, 108416. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108416>
- Ranacher, L., Stocker, R., Riegler, M., Schwarzbauer, P., & Hesser, F. (2023). Digitalization of small and medium sized sawmills in Austria: a survey about business processes. *European Journal of Wood and Wood Products*, 81, 267–280. <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01800-y>
- Reis, J., Amorim, M., Melão, N., Cohen, Y., & Rodrigues, M. (2020). Digitalization: A Literature Review and Research Agenda. In J. Reis, M. Amorim, N. Melão, & J. P. Davim (Eds.), *Proceedings on 25th International Joint Conference on Industrial Engineering and Operations Management – IJCIEOM* (pp. 443–456). Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-43616-2_47
- Reitz, J., Schluse, M., & Roßmann, J. (2019). Industry 4.0 beyond the factory: An application to forestry. *Tagungsband des 4. Kongresses Montage Handhabung Industrieroboter*, 107–116. https://doi.org/10.1007/978-3-662-59317-2_11
- Sahal, R., Alsamhi, S. H., Breslin, J. G., & Ali, M. I. (2021). Industry 4.0 towards Forestry 4.0: Fire Detection Use Case. *Sensors*, 21, 694. <https://doi.org/10.3390/s21030694>
- Saurabh, K., & Dey, K. (2021). Blockchain technology adoption, architecture, and sustainable supply chain: a systematic method. *Microprocessors and Microsystems*, 82, 103721. <https://doi.org/10.1016/j.micpro.2021.103721>
- Schick-Makaroff, K., MacDonald, M., Plummer, M., Burgess, J., & Neander, W. (2016). What Synthesis Methodology Should I Use? A Review and Analysis of Approaches to Research Synthesis. *AIMS Public Health*, 3(1), 172–215. <https://doi.org/10.3394/publichealth.2016.1.172>
- Singh, R., Gehlot, A., Akram, S. V., Thakur, A. K., Buddhi, D., & Das, P. K. (2022). Forest 4.0: Digitalization of forest using the Internet of Things (IoT). *Journal of King Saud University – Computer and Information Sciences*, 34(8, Part B), 5587–5601. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2021.02.009>

- Soloviy, I. P., & Korol, I. M. (2024). Sustainable development of the forest sector of the economy taking into account Industry 4.0 technologies. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 34(1), 42–47. [Соловій, І. П., Король, І. М. (2024). Сталий розвиток лісового сектора економіки з урахуванням технологій Індустрії 4.0. *Науковий вісник НЛТУ України*, 34(1), 42–47] (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40340106>
- Soloviy, I., Dynka, P., Vaidanich, T., & Hohol, T. (2026). Socio-ecological and economic efficiency of investing in forestry in the context of radical reform of the sector's management. *Investytsiyi: Praktyka ta Dosvid*, 5, 75–83. <https://doi.org/10.32702/2306-6814.2026.5.75> [Соловій, І., Динька, П., Вайданич, Т., Гоголь, Т. (2026). Соціо-еколого-економічна ефективність інвестування в лісове господарство в умовах радикального реформування управління галуззю. *Інвестиції: практика та досвід*, 5, 75–83] (in Ukrainian)
- State Enterprise “Forestry Innovation and Analytical Center”. (2024). *Information catalog of SE “LIAC”* https://www.ukrforest.com/about_us [ДП “Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр” (2024). *Інформаційний каталог ДП “ЛІАЦ”*] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2022). *Public report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2022*. https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/public_h_zvit/publichnii-zvit-za-2022.pdf [Державне агентство лісових ресурсів України. (2022). *Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2022 рік*] (in Ukrainian)
- State Forest Resources Agency of Ukraine. (2023). *Public report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2023*. <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/uploaded-files/Публічний%20звіт%20Голови%202023.pdf> [Державне агентство лісових ресурсів України. (2023). *Публічний звіт голови Державного агентства лісових ресурсів України за 2023 рік*] (in Ukrainian)
- State Statistics Service of Ukraine. (2024). *Use of information and communication technologies at enterprises*. https://www.ukrstat.gov.ua/operativ/operativ2018/zv/ikt/arh_ikt_u.html [Державна служба статистики України. (2024). *Використання інформаційно-комунікаційних технологій на підприємствах*] (in Ukrainian)
- Steingut, R. R., Patall, E., & Fong, J. C. (2022). *Research Synthesis Methods*. Routledge. <https://doi.org/10.4324/9781138609877-REE55-1>
- World Bank (2020). *Ukraine Country Forest Note*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/938941593413817490/pdf/Ukraine-Country-Forest-Note-Growing-Green-and-Sustainable-Opportunities.pdf>
- Zahvoyska, L. D., Soloviy, I. P., & Pelyukh, O. R. (2025). Artificial intelligence and blockchain in Business 4.0: Opportunities and challenges for sustainable development. *International Scientific Journal "Grail of Science"*, 48, 140–151. <https://doi.org/10.36074/grail-of-science.10.01.2025.014> [Загвойська, Л. Д., Соловій, І. П., Пелюх, О. Р. (2025). Штучний інтелект і блокчейн у бізнесі 4.0: можливості та виклики для сталого розвитку. *Міжнародний науковий журнал "Грааль науки"*, 48, 140–151] (in Ukrainian)
- Zaveryukha, M. M. (2024). Digitalization of forest relations under martial law. *Dnipro Scientific Journal of Public Administration, Psychology, Law*, 1, 145–149. <https://doi.org/10.51547/ppp.dp.ua/2024.1.24> [Заверюха, М. М. (2024). Діджиталізація лісових відносин в умовах воєнного стану. *Дніпровський науковий часопис публічного управління, психології, права*, 1, 145–149] (in Ukrainian)

Digitalization of the forest sector of Ukraine: major trends and socio-economic challenges

H. Lesiuk¹, I. Soloviy²

The forest sector is a vital component of Ukraine's economy, contributing significantly to the national GDP and social well-being. In the context of the Fourth Industrial Revolution, the integration of Industry 4.0 technologies has become a global necessity for ensuring sustainable forest management and transparent supply chains. For Ukraine, this transition is further emphasized by the State Forest Management Strategy until 2035, which prioritizes the development of electronic information systems to enhance transparency and efficiency. Despite the severe impacts of the Russian-Ukrainian war, the sector continues to evolve, necessitating a deep understanding of how digital innovations like the Internet of Things (IoT), Artificial Intelligence (AI), and blockchain can be effectively implemented in a national context.

The primary goal of this research is to identify the key directions and socio-economic challenges associated with the digitalization of the Ukrainian forest sector. To achieve this, the study aims to: 1) clarify the conceptual framework of "digitalization" and "Forestry 4.0"; 2) systematize existing national initiatives and projects; and 3) identify the barriers and challenges faced by both state and private stakeholders.

The study utilizes a combination of narrative synthesis and statistical analysis. Narrative synthesis was employed to track the evolution of digitalization concepts and to systematize Ukrainian initiatives through four stages: conceptualization, data synthesis, relationship identification (tabulation), and result evaluation. Statistical analysis served as a complementary method to assess the adoption of information and communication technologies (ICT) among woodworking and furniture enterprises based on data from the State Statistics Service and the State Agency of Forest Resources of Ukraine for the

period 2018-2022.

The research systematizes a wide array of state-led digitalization projects introduced since 2019, including electronic timber tracking, e-auctions via Prozorro.Sale, the "Fire" automated system, and the "EcoSystem" platform. These initiatives have significantly improved transparency and state control over forest resources. However, statistical data reveals a critical "digital gap" in the private sector. As of 2022, only a small fraction of woodworking and furniture enterprises utilized advanced technologies: cloud computing (approx. 8%), ERP systems (4-6%), and AI (4-7.5%). The analysis shows that while the state focuses on transparency and monitoring, private enterprises are still in the early stages of basic automation, primarily using IoT for security and energy monitoring.

The study provides a first-of-its-kind systematic classification of Ukraine's digital forest initiatives and identifies a pronounced asymmetry in digital maturity between state forest management and private manufacturing. It introduces a refined understanding of how the "Forestry 4.0" concept manifests in a developing economy under crisis conditions, highlighting the transition from analog data to integrated cyber-physical systems.

Theoretically, the work expands the discourse on digital transformation within the bioeconomy. Practically, the findings inform policymakers about the need for targeted investment in digital infrastructure and the creation of specialized educational programs to bridge the skill gap. The results provide a roadmap for aligning Ukraine's forest sector, ensuring international competitiveness and sustainable development.

Key words: Industry 4.0; digital transformation; information and communication technologies; projects; digital innovation; forestry sector.

¹ Halyna Lesiuk – PhD in Economics, Assistant at the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: halyna.lesiuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-4619>

² Ihor Soloviy – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor at the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412615>
Article received 2025.11.03
Article revised 2026.03.10
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Oksana Pelyukh
pelyukh.o@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 630*6:502.131.1:330.15

Інтегрований підхід до циркулярної трансформації підприємств деревообробної галузі лісового сектора економіки

О.Р. Пелюх¹, О.А. Кійко², І.П. Соловій³, М.М. Ільків⁴, В.В. Лавний⁵, Д.Б.Савка⁶,
А.О. Луценко⁷, Н.Ф. Чопенко⁸, О.В. Яріш⁹

Циркулярна трансформація підприємств деревообробної галузі слугує стратегічним пріоритетом для забезпечення сталого розвитку лісового сектора України, особливо в контексті нагальної потреби у «зеленому» повоєнному відновленні та європейської інтеграції. Трансформація галузі набуває особливої актуальності через наслідки військової агресії: масштабні пошкодження лісів, втрати лісового фонду внаслідок мінування та розрив логістичних ланцюгів. Метою

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. Постдокторант лабораторії аналізу соціально-екологічних систем. Лодзький університет, вул. Р.О.В., 3/5, Лодзь, 90-255, Польща. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² Кійко Орест Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

³ Соловій Ігор Павлович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри економіки, туризму та рекреації. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

⁴ Ільків Михайло Миколайович – асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: mykhailo.ilkiw@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1630-9974>

⁵ 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>

⁶ Савка Дмитро Богданович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища та безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: savka.d@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8060-5470>

⁷ Луценко Андрій Олегович – аспірант кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lutsenko.a@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9628-1279>

⁸ Чопенко Наталія Федорівна – асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: nataliya.chopenko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2170-5501>

⁹ Яріш Оксана Василівна – кандидат технічних наук, асистент кафедри технологій меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: oksana.yarish@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4844-2320>

дослідження є обґрунтування інтегрованого підходу до оцінювання екологічного впливу деревообробних підприємств та їхньої продукції на довкілля, формування бізнес-моделей, орієнтованих на сталість, інтеграція принципів збереження біорізноманіття і природного капіталу у стратегічний розвиток деревообробних підприємств та лісового сектору України загалом на основі результатів проєкту HORIZON Europe CircHive. Результати дослідження засвідчили, що екологічний слід деревообробних підприємств Українських Карпат формується переважно енергоємними технологічними процесами, зокрема сушінням деревини, тоді як прямий вплив первинного лісокористування і транспортування є значно нижчим. Використання альтернативних джерел енергії та впровадження циркулярних підходів дають змогу суттєво скоротити екологічний слід виробництва й підвищити ефективність використання ресурсів. Застосування концептуальної рамки ENCORE підтвердило високу залежність деревообробних підприємств від природного капіталу, а також продемонструвало, що деградація біорізноманіття безпосередньо підвищує операційні та економічні ризики виробничих систем. На основі інтеграції результатів оцінювання екологічного сліду, аналізу залежностей від природного капіталу та емпіричних даних розроблено тривірневі сталі бізнес-моделі, орієнтовані на підвищення доданої вартості продукції, циркулярне використання ресурсів і впровадження кліматично-адаптивних підходів управління. На макрорівні обґрунтовано «Національну стратегію сталого розвитку лісового сектора», що інтегрує економічні, екологічні та соціальні цілі, а також посилює орієнтацію на довгострокову стійкість. Практичне значення результатів полягає у можливості використання запропонованого підходу для формування стратегій сталого розвитку деревообробних підприємств, удосконалення екологічного менеджменту та підвищення ефективності використання лісових ресурсів. Реалізація запропонованих рішень сприятиме розвитку циркулярної економіки, зменшенню негативного впливу на довкілля та забезпеченню довгострокової конкурентоспроможності лісового сектору економіки.

Ключові слова: біорізноманіття; екологічний слід; природний капітал; бізнес-модель; стратегія; стратегічне управління.

Вступ (Introduction).

Сучасний світ зіткнувся зі складними викликами, пов'язаними з поступовим вичерпуванням природних ресурсів, глобальними змінами клімату, військовими конфліктами та іншими кризовими явищами (World Economic Forum, 2026). Однією з ключових причин поглиблення цих проблем є тривале недооцінювання суспільством ролі природи та екосистемних послуг у забезпеченні людського добробуту. Наслідком такого підходу стали деградація екосистем, скорочення біорізноманіття та зниження здатності природних систем підтримувати соціально-економічний розвиток. Ще в 2005 р. у роботі «Оцінка екосистем на порозі тисячоліття» (Reid et al., 2005) зроблено висновок, що зміни екосистем, спричинені діяльністю людини за останні 50 років, відбувалися швидше, ніж у будь-який інший період історії людства. Визначення планетарних меж для критичних ресурсів (Rockström et al., 2009) стало першою спробою привернути увагу до незворотних наслідків втрати біорізноманіття. Подальшим кроком стало ухвалення Куньмінської-Монреальської глобальної рамкової програми з біорізноманіття (Convention on Biological Diversity, 2022), що визначила стратегічний план дій до 2030 р. для зупинення втрати біорізноманіття та відновлення екосистем.

У цьому контексті циркулярна економіка є невідмінним компонентом стратегії забезпечення

сталого розвитку та збереження біорізноманіття, оскільки вона спрямована на перехід від лінійної моделі («видобув – виробив – викинув»), де економічне зростання призводить до руйнування екосистем, до моделі, в якій економічний розвиток базується на замкнених циклах (Корнелюк, Павліха, 2023). Особливе місце у глобальному переході до циркулярних моделей посідає лісовий сектор економіки, який за своєю природою найповніше відповідає принципам замкнених циклів (Дребот та ін., 2025). Такий підхід ґрунтується на відновлюваних ресурсах і здатності екосистем одночасно продукувати повний спектр послуг лісових екосистем (Haines-Young & Potschin, 2023). Проте ефективність деревообробної промисловості часто стримується домінуванням на практиці традиційного лінійного підходу, який призводить до значних втрат: у меблевому та плитному виробництвах частка залишків сировини може сягати 30-40% (Гайда, Киянка, 2025). Уникнення цих втрат вимагає переходу до каскадного використання деревини, де пріоритет надається створенню продукції з високою доданою вартістю та її багаторазовому переробленню перед енергетичним використанням.

Для України питання трансформації деревообробної галузі у структурі лісового сектору набуває особливої актуальності в умовах війни, що спричинила значні пошкодження лісів, втрату лісового фонду через мінування

територій, руйнування логістичних ланцюгів постачання лісопродукції, а, отже, нагальну потребу в «зеленому» повоєнному відновленні (Динька та ін., 2025; Миронець, 2025). Деревообробна галузь країни не може розвиватися без вирішення системних проблем: високий рівень відходів, низька енергоефективність, недостатній рівень інноваційного оновлення технічної бази (Гайда, 2023, 2024; Миронець, 2025), а також висока ціна на деревну сировину і дефіцит кадрів. Поряд з цим, деревообробні підприємства володіють значним потенціалом для впровадження принципів циркулярності, які передбачають не лише перероблення вторинної сировини, але й екодизайн, каскадне використання біомаси та подовження життєвого циклу продукції (Directive EU, 2023; Гайда, 2023; Гайда, Киянка, 2025). Проте чинні методи управління, зокрема понаднормове використання лісової фітомаси (Динька та ін., 2025), недосконалість системи мотивації лісокористувачів до сталого ведення лісового господарства і відсутність ринково орієнтованого механізму стимулювання комплексного використання лісоресурсного потенціалу (Дребот та ін., 2025), не беруть до уваги вартість природного капіталу і вплив виробництва на екосистеми, що призводить до втрати біорізноманіття.

Аналіз сучасних наукових напрацювань засвідчує, що концептуальні засади циркулярної економіки пройшли значну еволюцію: від управління відходами за принципом 3R (*reduce, reuse, recycle*), які з часом були доповнені до 9R (Pavlikha & Korneliuk, 2022; Корнелюк, Павліха, 2023) до складних регенеративних моделей і стратегій створення доданої вартості у замкнених циклах. Теоретична база розвитку деревообробної промисловості також трансформувалася, пройшовши шлях від “раціонального лісокористування” до впровадження принципів циркулярної економіки (Невар, 2023) та стандартів Індустрії 5.0 (Гайда, 2023), де сталість і людиноцентричність стають визначальними чинниками.

На сьогодні у науковій літературі ґрунтовно вивчено питання перероблення деревинних залишків, впровадження каскадного використання біомаси та використання вживаної деревини для виробництва плитних матеріалів (Гайда, 2023, 2024; Гайда, Киянка, 2025). Досліджено соціо-еколого-економічні аспекти енергетичного використання лісової фітомаси та визначено важливість міжнародної лісової сертифікації (FSC та PEFC) для забезпечення сталості ланцюгів постачання (Динька та ін., 2025). Окрему увагу приділено трансформації

підприємницького потенціалу галузі в умовах воєнного стану та обґрунтуванню необхідності адаптивної моделі управління для «зеленого» повоєнного відновлення (Миронець, 2025).

Попри ґрунтовність охарактеризованих напрацювань, динамічність сучасних економічних процесів та сучасні екологічні імперативи зумовлюють наукові прогалини, що потребують подальшого вивчення. Зокрема, більшість досліджень зберігають фрагментарний характер, фокусуючись на окремих технологічних ланках (Невар, 2023), тоді як не вистачає системної інтеграції технічних, екологічних та стратегічних аспектів в єдину модель розвитку деревообробних підприємств (Корнелюк, 2024). Важливою залишається методологічна прогалина в оцінюванні впливу на екосистеми, адже, попри декларацію цінності екосистемних послуг (Kurylenko et al., 2024), практичні механізми інтеграції оцінювання екологічного сліду (Пелюх та ін., 2023) та обліку природного капіталу безпосередньо у стратегічне управління конкретними підприємствами залишаються фрагментарними (Дребот та ін., 2025). Крім того, спостерігається недосконалість еколого-економічних стимулів, які мають обмежений фінансовий характер і не забезпечують належної мотивації бізнесу до комплексного використання лісоресурсного потенціалу.

Метою дослідження є обґрунтування інтегрованого підходу до оцінювання екологічного впливу деревообробних підприємств та їхньої продукції на довкілля, формування бізнес-моделей, орієнтованих на сталість і формування та інтеграції принципів збереження біорізноманіття і природного капіталу у стратегічний розвиток деревообробних підприємств та лісового сектору України загалом на основі результатів проєкту HORIZON Europe CircHive.

Об’єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об’єктом дослідження є процеси виробничо-господарської діяльності підприємств деревообробного сектору Львівської та Івано-Франківської областей України та їхній вплив на стан навколишнього природного середовища. Серед видів діяльності, відповідно до класифікації видів економічної діяльності цих підприємств є: 16.10 Лісопилне та стругальне виробництво (основний); 02.20 Лісозаготівлі; 46.13 Діяльність посередників у торгівлі деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічними виробами; 46.73 Оптова торгівля деревиною, будівельними матеріалами та санітарно-технічним обладнанням; 49.41 Вантажний автомобільний транспорт; 16.23 Виробництво інших дерев’яних будівельних конструкцій і столярних виробів.

Предметом дослідження є інтеграція методів оцінювання впливу на довкілля, сталих бізнес-моделей і стратегій збереження біорізноманіття у систему управління деревообробними підприємствами та лісовим сектором України.

Для систематизації основних етапів дослідження та відображення взаємозв'язків між оцінюванням екологічного впливу, аналізом виробничих процесів, формуванням сталих бізнес-моделей і розробленням стратегічних підходів до збереження біорізноманіття сформовано інтегровану концептуальну схему дослідження. Вона відображає логіку реалізації проекту CircleNive та послідовність переходу від оцінювання екологічних впливів діяльності деревообробних підприємств до формування стратегічних рішень для забезпечення сталого розвитку та конкурентоспроможності лісового сектору України (рис. 1).

Оснoву дослідження становила інформація про виробничо-господарську діяльність досліджуваних деревообробних підприємств та

їхній вплив на довкілля. Для оцінювання цього впливу застосовано методологію екологічного сліду (Пелюх та ін., 2023; Soloviy et al., 2024; Pelyukh et al., 2025; Кійко та ін., 2025), що дало змогу визначити вплив окремих компонентів виробничо-господарської діяльності підприємств на довкілля. Для дослідження бізнес-моделей використано метод кейс-стаді, моделювання для розроблення прототипів трирівневої бізнес-моделі, орієнтованої на сталість підприємства лісового господарства та глибинні експертні інтерв'ю з працівниками досліджуваного підприємства щодо соціо-еколого-економічних аспектів виробничо-господарської діяльності і бачення майбутнього розвитку у контексті досягнення цілей сталого розвитку (Соловій та ін., 2024). Для розроблення стратегій збереження біорізноманіття та сталого розвитку застосовано інтегрований і стратегічний підходи з урахуванням принципів сталого розвитку та циркулярної економіки.



Рис. 1. Інтегрований підхід до циркулярної трансформації підприємств деревообробної галузі лісового сектора економіки

Fig. 1. An integrated approach to the circular transformation of woodworking enterprises in the forest sector of the economy

Результати (Results).

Аналіз виробничих процесів та використання природних ресурсів відбувся на основі вивчення організаційних, виробничих і технологічних процесів під час відвідин досліджуваних деревообробних підприємств групою дослідників НЛТУ України (рис. 2). Такі відвідини були спрямовані на апробацію

методичних підходів до оцінювання екологічних характеристик продукції й підприємств у реальних виробничих умовах. У межах відвідин зібрано емпіричні дані щодо ланцюгів постачання, технологічних операцій та управління побічними продуктами виробництва, що становило основу для подальшого розрахунку екологічного сліду продукції та

підприємства, оцінювання впливу на стратегій збереження біорізноманіття та сталого біорізноманіття розробки бізнес-моделей і розвитку.



Рис. 2. Робочі візити команди дослідників НЛТУ України на виробничі потужності досліджуваних деревообробних підприємств

Fig. 2. Working visits of the UNFU research team to the production facilities of the studied woodworking enterprises

Теоретико-методичною основою досліджень стали напрацювання щодо встановлення ключових визначень і концепцій біорізноманіття, узагальнення даних та баз даних, пов'язаних з обліком біорізноманіття та природного капіталу, узагальнення результатів, надання вказівок щодо їх використання у формі електронної таблиці, що містить бази даних, надання загальних вказівок і рекомендацій. Ці матеріали відображені в аналітичному звіті проєкту CircHive D1.1 «Описовий звіт баз даних біорізноманіття» («Descriptive report of the Biodiversity Databases») (CircHive reports, 2026). Окрему увагу приділено картуванню методів для оцінювання біорізноманіття. Зокрема, охоплено 10 методів обліку природного капіталу, 31 метод оцінювання життєвого циклу та п'ять методів, базованих на вхідних-вихідних моделях. Усі методи описано в додатку до аналітичного звіту D2.1 «Синтез підходів до обліку природного капіталу та біорізноманіття для приватного та публічного секторів» («Synthesizing landscape of approaches for natural capital accounting & biodiversity footprinting for private & public sectors») з детальними рекомендаціями щодо їхнього використання, а також можливостями та обмеженнями кожного з них.

У результаті проведених досліджень із застосуванням методології екологічного сліду (Soloviy et al., 2024; Pelyukh et al., 2025) для двох типових деревообробних підприємств Українських Карпат встановлено суттєву диференціацію впливу різних стадій виробничого ланцюга на загальне екологічне навантаження (рис. 3). Розрахунки для основних продуктів – меблевих плит та конструкційного бруса показали, що

загальний екологічний слід становить відповідно 0,475 та 0,111 м³·га⁻¹, що відображає різну інтенсивність використання ресурсів та енергетичних потоків у технологічних процесах.

Аналіз структури екологічного сліду засвідчив, що ключовим чинником впливу є не безпосереднє використання лісових ресурсів, а непрямі енергетичні процеси, пов'язані з виробництвом теплової та електричної енергії. Зокрема встановлено, що процеси сушіння деревини формують до 75-80% сукупного екологічного сліду продукції, тоді як внесок транспортування сировини та первинного лісочористування є значно меншим і не перевищує 10-15% у сукупній структурі впливу.

Особливу увагу приділено використанню побічної деревної біомаси як джерела теплової енергії, що, з одного боку, формує елементи циркулярності виробництва, а з іншого – є ключовим джерелом викидів парникових газів у межах виробничого циклу. Розрахунки альтернативних сценаріїв засвідчили, що заміщення біомаси альтернативними джерелами енергії (зокрема електроенергією з відновлюваних джерел) дає змогу скоротити екологічний слід виробництва до 70-75%, що підтверджує визначальну роль енергетичного чинника у формуванні екологічного навантаження.

Додатково масштабування результатів на рівень підприємств і виробничих сценаріїв (Кійко та ін., 2025) показало, що сумарний екологічний слід формується кумулятивним ефектом виробничих процесів, а найбільший вплив мають саме енергомісткі стадії технологічного циклу, а не первинне використання деревної сировини (рис. 4).

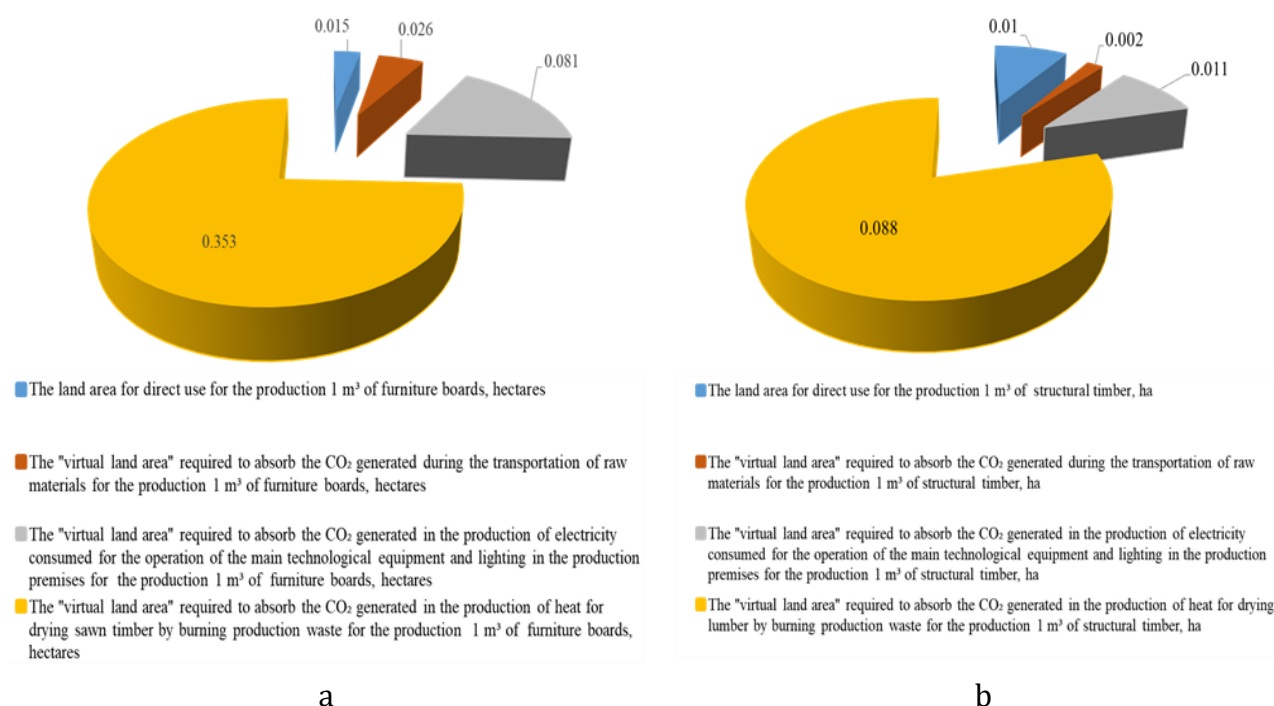


Рис. 3. а – Структура екологічного сліду 1 м³ меблевого щита; б – Структура екологічного сліду 1 м³ конструкційного бруса

Fig. 3. a – Structure of the ecological footprint of 1 m³ of furniture board; b – Structure of the ecological footprint of 1 m³ of solid structural timber

Оцінювання впливу деревообробних підприємств на біорізноманіття виконано шляхом застосування концептуальної рамки ENCORE (*Exploring Natural Capital Opportunities, Risks and Exposure*), що дало змогу вийти за межі кількісної оцінки екологічного сліду та зрозуміти глибинні залежності бізнесу від природного капіталу. Аналіз ENCORE показав, що підприємства деревообробної галузі мають високу залежність від трьох груп екосистемних функцій: постачальних (деревина як сировина), регулювальних (кліматична та гідрологічна стабільність) та підтримувальних (збереження біорізноманіття і ґрунтових процесів). Деградація або зниження функціональності цих компонентів призводить до прямого зростання операційних ризиків, серед як нестабільність постачання сировини, зниження її якості та підвищення виробничих витрат.

Отже, виробничі системи деревообробних підприємств не лише залежать від стану біорізноманіття, але й активно формують зворотний вплив на нього через сукупність прямих і непрямих технологічних та енергетичних процесів. Цей аспект обґрунтовує необхідність переходу від реактивного до проактивного підходу в управлінні природним капіталом, де біорізноманіття розглядається як ключовий чинник довгострокової стійкості виробничих систем.

У результаті дослідження сформовано та концептуально апробовано сталі бізнес-моделі

для двох типових деревообробних підприємств (Соловій та ін., 2024), які відображають перехід від традиційної лінійної моделі виробництва до циркулярно орієнтованих і кліматично адаптивних підходів. Розроблені моделі базуються на інтеграції результатів оцінювання екологічного сліду, аналізу залежностей від природного капіталу (ENCORE) та емпіричних даних, отриманих під час польових досліджень у межах проєкту CircHive. На рис. 5 представлено екологічний шар однієї з розроблених бізнес-моделей, що дало змогу ідентифікувати основні джерела екологічного навантаження та визначити напрями трансформації виробничих процесів відповідно до принципів циркулярної економіки та кліматичної нейтральності.

У межах компоненти «Функціональна цінність» об'єктом аналізу визначено виробництво меблевого щита, а також супутньої продукції у вигляді брикетів і пелет. Функціональною одиницею є 1 м³ меблевого щита, що слугує основою для порівняння екологічних характеристик альтернативних варіантів бізнес-моделі та оцінювання потенційних ефектів від впровадження інноваційних рішень.

Компонент «Матеріали» засвідчив високу залежність підприємства від лісових ресурсів як основного виду природного капіталу. Аналіз показав, що деревина формує 81% виснаження абіотичних невикопних ресурсів (ADPE), 43%

виснаження викопних ресурсів (*ADPF*) та 39% потенціалу глобального потепління (*GWP*). Для виробництва 1 м³ меблевого щита необхідно 3,81 м³ деревини, що відповідає прямому

землекористуванню площею 0,015 га. Додатковим джерелом екологічного впливу є клей, що використовують в процесах склеювання та який становить близько 3% показника *ADPF*.

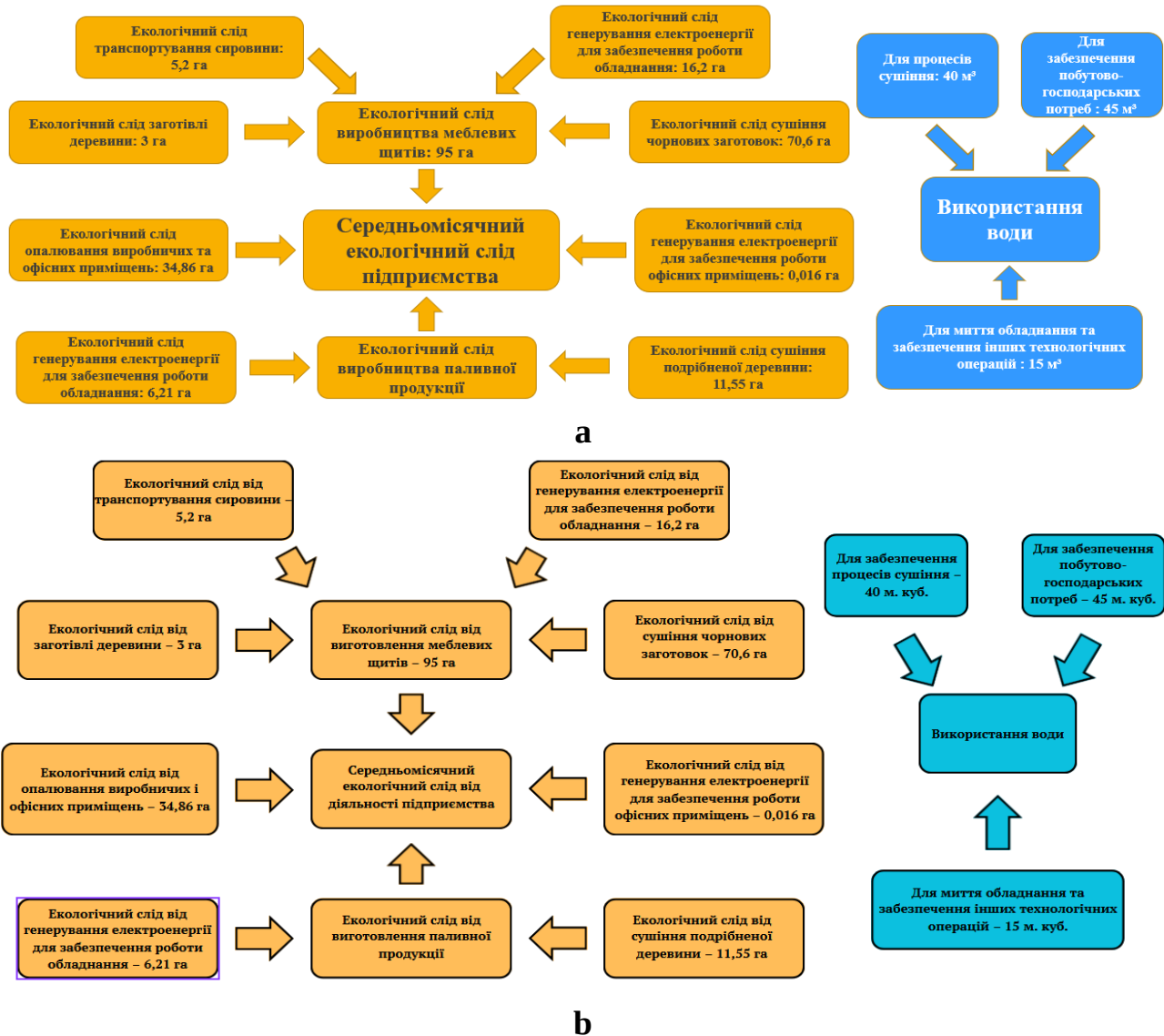


Рис. 4. а – Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевого щита; б – Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні конструкційного бруса

Fig. 4. a – Structure of the ecological footprint of an enterprise specialising in the furniture board production; б – Structure of the ecological footprint of an enterprise specialising in the solid structural timber production

Аналіз компонента «Виробництво» показав, що ключовими процесами створення вартості є транспортування сировини, сушіння пиломатеріалів, розкрій та склеювання, а також виробництво теплової енергії. Транспортування круглих лісоматеріалів автомобільним транспортом забезпечує 6% потенціалу закислення, 10% виснаження викопних ресурсів та 8% потенціалу глобального потепління. За розрахунками екологічного сліду, для компенсації викидів CO₂, пов'язаних із транспортуванням сировини на середню відстань 200 км, необхідно 0,026 га умовної площі лісу.

Найбільш критичним виробничим процесом є сушіння деревини, яке становить 46% потенціалу закислення та забезпечує найбільшу частку загального екологічного навантаження підприємства. Для поглинання викидів CO₂, пов'язаних із виробництвом теплової енергії для сушіння 1 м³ меблевого щита, необхідно 0,37 га віртуальної площі землі. Водночас генерація теплової енергії забезпечує близько 22% сукупних викидів на етапі «від колиски до воріт підприємства», що свідчить про доцільність модернізації енергетичної системи як одного із пріоритетних напрямів екологічної трансформації.

Постачання та аутсорсинг Обладнання Сертифікація FSC Електроенергія для виробництва ($EF = 0,081$ га, $ADPF = 31\%$ $GWP = 35\%$)	Виробництво Транспортування сировини ($EF = 0,026$ га, 200 км, $AP = 6\%$, $ADPF = 10\%$, $GWP = 8\%$) Сушіння деревини ($EF = 0,37$ га, $AP = 46\%$) Обрізання Склеювання Виробництво теплової енергії на місці ($AP = 22\%$)	Функціональна цінність 1 м³ меблевого щита (додатково брикети та пелети) Щомісячний обсяг виробництва меблевого щита – 200 м³	Кінець життєвого циклу Деревина (42%) Витратні пакувальні матеріали (33%) Клей (16%)	Фаза використання Додаткові матеріали для створення кінцевого продукту з використанням меблевої плити
	Матеріали Лісові ресурси ($EF = 0,015$ га, $3,81$ м³, $ADPE = 81\%$, $ADPF = 43\%$, $GWP = 39\%$) Клей ($ADPF = 3\%$)		Розповсюдження Витратні та пакувальні матеріали ($EP = 7\%$, $ADPE = 6\%$, $ADPF = 10\%$) Транспортування до споживачів ($EF = 0,019$ га, 800 км)	
Екологічні впливи «-» Загальний EF 1 м³ меблевого щита (додатково брикети та пелети) становить 0,511 га, де сушіння деревини становить 72% EF (0,37 га). Виробництво конструкційної деревини генерує 48% GWP.			Екологічні вигоди «+» Запровадження використання відновлюваних джерел енергії (наприклад, сонячних панелей). Використання деревних відходів як сировини для виробництва деревостружкових плит, деревоволокнистих плит, МДФ, целюлозних волокон, паперу або пакувального картону. Ефект зберігання CO₂. Ефект заміщення.	

Рис. 5. Структура екологічного сліду підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевого щита: EF – екологічний слід; LCA – оцінювання життєвого циклу; GWP – потенціал глобального потепління; AP – потенціал закислення; EP – загальний потенціал впливу на довкілля; $ADPE$ – потенціал виснаження абіотичних ресурсів (невикопні ресурси); $ADPF$ – потенціал виснаження абіотичних ресурсів (викопні ресурси)

Fig. 5. Structure of the ecological footprint of an enterprise specializing in the furniture board production: EF – ecological footprint; LCE – Life cycle Assessment; GWP – Global Warming Potential; AP – Acidification Potential; EP – the total Environmental Impact Potential; $ADPE$ – Abiotic Depletion Potential non-fossil resources; $ADPF$ – Abiotic Depletion Potential Fossil Resources

У межах компоненти «Постачання та аутсорсинг» встановлено суттєвий вплив електроенергії на екологічні показники підприємства. На її частку припадає 35% потенціалу глобального потепління та 31% виснаження викопних ресурсів. Для компенсації викидів, пов'язаних із використанням електроенергії під час виробництва 1 м^3 меблевого щита, необхідно $0,081$ га віртуальної площі землі. Водночас використання сертифікованої FSC-сировини розглядається як важливий механізм збереження природного капіталу та забезпечення сталого управління лісовими ресурсами.

Компонент «Дистрибуція» відображає екологічні наслідки експорту продукції на європейські ринки. Значні транспортні відстані та переважне використання автомобільного транспорту формують додаткове екологічне навантаження. Окрім перевезення продукції, екологічний вплив пов'язаний із використанням дерев'яних піддонів та пакувальних матеріалів, які формують частину показників евтрофікації та виснаження ресурсів. Екологічний слід транспортування готової продукції до споживачів оцінено на рівні $0,019$ га на 1 м^3 меблевого щита.

Фаза використання продукції характеризується відносно незначним екологічним впливом порівняно з виробничими стадіями. Основні екологічні витрати пов'язані з використанням додаткових матеріалів під час виготовлення кінцевої продукції, однак їхній внесок залишається суттєво нижчим порівняно з процесами виробництва і транспортування.

У компоненті «Завершення життєвого циклу» ключове значення мають процеси поводження з відходами виробництва та споживання. Найбільшу частку становлять відходи деревини, клеїв, а також пакувальних матеріалів. Саме на цьому етапі формуються передумови для впровадження циркулярних практик через повторне використання, перероблення та залучення вторинної сировини до нових виробничих циклів.

Оцінювання компонента «Екологічні впливи» показало, що найбільше навантаження створює сушіння пиломатеріалів, на яке припадає близько 72% загального екологічного сліду підприємства. Крім того, сушіння та спалювання на попередніх етапах ланцюга постачання формують майже три чверті потенціалу евтрофікації, тоді як виробничі процеси загалом забезпечують 48% потенціалу глобального потепління. Результати підтверджують, що саме енергетичний контур підприємства є основним об'єктом екологічних інновацій.

Водночас компонента «Екологічні переваги» продемонструвала значний потенціал для створення позитивної екологічної цінності. Насамперед це пов'язано з використанням відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячних електростанцій, що дає змогу суттєво скоротити екологічний слід виробництва. Додаткові переваги забезпечуються повторним використанням деревних відходів, як вторинної сировини, для виробництва деревних плит, целюлозних волокон і пакувальних матеріалів. Важливе значення мають також ефекти довготривалого нагромадження вуглецю у деревній продукції та заміщення більш вуглецеємних матеріалів деревними альтернативами. Таким чином, запропонована екологічна бізнес-модель поєднує заходи зі зниження екологічного навантаження із механізмами створення додаткової екологічної цінності, що відповідає принципам циркулярної біоекономіки і сталого розвитку.

Сформовані бізнес-моделі деревообробних підприємств дали змогу встановити, що ключовим елементом є переорієнтація з продажу напівфабрикатів (пиломатеріали, конструкційний брус) на виробництво продукції з високою доданою вартістю, зокрема дерев'яних конструк-

ційних систем і рішень для «зеленого» будівництва. Такий перехід забезпечує підвищення економічної ефективності завдяки довшому життєвому циклу продукції та монетизації нагромадженого у деревині вуглецю.

Другим ключовим елементом бізнес-трансформації визначено переосмислення ролі недеревних продуктів лісу. Запропоновано модель їх часткової комерціалізації як сировини для суміжних галузей (фармацевтика, косметологія тощо). Це дає можливість одночасно знизити екологічне навантаження та підвищити економічну віддачу ресурсних потоків, формуючи додаткові джерела доходу для підприємств.

Третім компонентом запропонованих бізнес-моделей є інтеграція принципів природного капіталу та кліматичної звітності у систему управління підприємствами. Це передбачає врахування екологічного сліду продукції як економічно значущого показника, що безпосередньо впливає на доступ до міжнародних ринків, інвестицій і «зеленого» фінансування. У цьому контексті екологічні показники перетворюються з обмежувальних чинників на конкурентні переваги.

На основі узагальнення попередніх етапів дослідження, включаючи оцінювання екологічного сліду, аналіз впливу на біорізноманіття та формування бізнес-моделей, розроблено комплекс стратегічних документів як на рівні окремих підприємств, так і на рівні галузі в цілому. Для типових деревообробних підприємств сформовано стратегії сталого розвитку, що базуються на трирівневій бізнес-моделі, яка забезпечує баланс між економічною ефективністю, екологічною відповідальністю та соціальною складовою. У центрі стратегічного підходу – прийняття управлінських рішень на основі даних, зокрема результатів оцінювання екологічного сліду, індикаторів біорізноманіття, підходів ENCORE та принципів обліку природного капіталу. Такий підхід дає змогу підприємствам не лише оцінювати свій вплив, але й системно управляти ним у довгостроковій перспективі.

Запропоновані стратегії для типових деревообробних підприємств передбачають перехід до сталих моделей розвитку, цифровізацію управлінських процесів, впровадження систем моніторингу ланцюгів постачання відповідно до вимог EU Deforestation Regulation (European Union, 2023), а також посилення ролі міжнародної сертифікації (зокрема FSC та PEFC) як інструменту підвищення ринкової конкурентоспроможності. Окремо акцентовано увагу на розвитку інновацій у сфері деревинних

матеріалів та розширенні співпраці зі стейкхолдерами.

Стратегія підприємства, що спеціалізується на виробництві меблевих щитів, у сфері збереження біорізноманіття на 2026-2036 рр. базується на трьох рівнях стійкості: екологічному, економічному та соціальному. Кожен із цих рівнів містить взаємопов'язані заходи, спрямовані на досягнення довгострокової мети.

Екологічна стійкість. Ключовим напрямом для підприємства є інвестиції у технологічну модернізацію, що забезпечить суттєве зменшення екологічного сліду. Найпріоритетнішим кроком є перехід на альтернативні джерела енергії для сушильного господарства, оскільки цей процес є найбільшим джерелом викидів CO₂. Обґрунтуванням для таких інвестицій є не лише екологічна доцільність, але й економічна вигода. Повний перехід на сонячні панелі для сушіння сировини дасть змогу зменшити показник екологічного сліду, пов'язаного з цим процесом, з 0,353 до 0,028 м³·га⁻¹, що є значним досягненням.

Технологічна модернізація створює синергетичний ефект, що виходить за межі екологічних показників. Відмова від спалювання деревини для генерування теплової енергії для сушіння сировини на виготовлення меблевих щитів та паливної продукції, а також опалювання виробничих та офісних приміщень у осінньо-зимовий період, щорічно вивільнятиме приблизно 2500 м³ відходів. Ці вивільнені відходи можуть бути використані як сировина для виробництва іншої продукції з вищою доданою вартістю, наприклад, плитних матеріалів. Таким чином, інвестиції в “зелені” технології є не просто витратами, а рушійною силою для економічної трансформації, що дає змогу диверсифікувати бізнес-модель та отримати нові джерела доходу.

Іншим критичним елементом є управління ланцюгом постачання та відповідність вимогам EUDR. Підприємство має використати чинну електронну систему обліку деревини як основу для створення власної, більш деталізованої цифрової платформи. Ця платформа повинна включати обов'язкове відстеження GPS-координат ділянок заготівлі, що є ключовою вимогою EUDR. Навіть попри отриманий статус України як “країни із низьким ризиком” у питанні знеліснення, повна прозорість та впровадження системи належної обачності (Due Diligence System) забезпечить підприємству стійку конкурентну перевагу на ринку ЄС.

Для збереження біорізноманіття повинні бути передбачені активні програми компенсації та відновлення, що включає щорічний облік

біорізноманіття, інвестиції у відновлення деградованих лісових екосистем та створення буферних зон. Ці заходи виходять за межі розрахунку екологічного сліду і є ключовим елементом відповідальності підприємства перед довкіллям і суспільством.

Економічна стійкість. На додаток до екологічної модернізації, ключовим напрямом стратегії є диверсифікація продукції. Меблеві щити, що є основним продуктом підприємства – це лише напівфабрикат. Перехід до виробництва готових меблів (наприклад, столів, шаф, комодів) дозволить значно мінімізувати залежність від коливань цін на сировину та отримати доступ до нових, більш прибуткових ринкових сегментів. Цей крок вимагає фундаментальної трансформації бізнес-моделі: від B2B-постачальника сировини до B2C/B2B-виробника та бренду. Ця зміна потребує інвестицій не лише в нове обладнання для розкрою, оброблення, складання та фінішного опрацювання, але й у R&D, дизайн, маркетинг та логістику.

Позиціонування на ринку є не менш важливим елементом стратегії. Підприємство, що спеціалізується на виробництві меблевих щитів, вже має FSC-сертифікат, який є потужним маркетинговим інструментом на європейському ринку, оскільки засвідчує відповідальне ведення господарства. Стратегія базується на позиціонуванні “подвійного” ефекту: використання FSC-сертифікованої деревини та мінімальний вуглецевий слід за рахунок переходу на сонячну енергію. Ця унікальна комбінація створює потужну конкурентну перевагу, що дасть змогу залучати клієнтів, які надають перевагу екологічно відповідальній продукції.

Соціальна стійкість. Соціальна стійкість є невід'ємною складовою стратегії формування “зелених” робочих місць і розвитку ринку праці в Україні. Перехід на виробництво готових меблів та впровадження нових технологій вимагають перекваліфікації персоналу, що робить інвестиції в людський капітал критично важливими. Таким чином соціальна стійкість стає активним стратегічним інструментом забезпечення кваліфікованої робочої сили для майбутніх потреб підприємства. Цей аспект включає розробку програм навчання з екологічної компетентності, технічних навичок для роботи з новим обладнанням та безпеку праці. Проактивна комунікація з місцевим населенням, підтримка освітніх ініціатив та спільні проекти з відновлення лісів посилять “соціальну ліцензію на діяльність” підприємства та зміцнять його репутацію як надійного партнера та відповідального члена громади. Ключові показники ефективності розробленої

Стратегії збереження біорізноманіття підприємства зведені у табл. 1.

Стратегія збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на вигот-

товленні конструкційного бруса на 2026-2036 рр., як і попередня Стратегія, ґрунтується на тривірневій моделі екологічної, економічної та соціальної стійкості.

Таблиця 1. Ключові показники ефективності стратегії збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на виготовленні меблевих щитів на 2026-2036 роки

Table 1. Key Performance Indicators for the biodiversity conservation strategy of a company specializing in the production of furniture boards for 2026-2036

Категорія	Ключові показники ефективності	Одиниця виміру	Базове значення (2025)	Цільове значення (2036)	Проміжний моніторинг (2030)
Екологічні	Загальний екологічний слід на 1 м ³ меблевого щита	га/м ³	0,475	< 0,1	< 0,25
	Частка сонячної енергії у споживанні тепла	%	0	> 90	> 50
	Обсяг вивільнених відходів:				
	-при виготовленні МЩ	м ³	0	≈ 1775	≈ 890
	-при виготовленні ПП		0	≈ 290	≈ 145
	-при опалюванні		0	≈ 440	≈ 220
	Екологічний слід від транспортування	га/м ³	0,026	< 0,026	< 0,026
Економічні	Екологічний слід від електроенергії	га/м ³	0,081	< 0,021	< 0,04
	Обсяг відновлених лісів з моніторингом біорізноманіття	га/рік	-	> 50	> 20
	Зростання прибутку від продукції з доданою вартістю (меблів)	%	0	> 500	> 100
	Частка експорту готових меблів	%	0	> 30	> 10
Соціальні	Інвестиції в “зелені” технології	EUR	0	N/A	N/A
	Кількість створених “зелених” робочих місць	осіб	0	> 20	> 10
	Години навчання персоналу з питань сталого розвитку	год/особа	0	> 20	> 10
	Рейтинг задоволеності працівників	%	N/A	> 85	> 70

Екологічна стійкість. Фундаментальна мета цього рівня – суттєве скорочення екологічного сліду шляхом усунення найбільшого джерела викидів і впровадження активних заходів зі збереження біорізноманіття. Досягнення цієї мети можливе насамперед завдяки енергетичній трансформації та декарбонізації. Основний пріоритет – перехід на альтернативні джерела енергії для теплогенерації. Аналіз показав, що заміна спалювання відходів на електроенергію, вироблену за рахунок сонячної або вітрової генерації, дасть змогу скоротити екологічний слід сушильного господарства на 92% (з 0,088 до 0,007 га/м³), а також екологічний слід опалювання виробничих приміщень на 91,5% (з 8,79 до 0,75 га/міс). Цей крок вимагає значних інвес-

тицій у власні сонячні чи вітрові потужності або укладання довгострокових контрактів на закупівлю “зеленої” енергії. Така модернізація має подвійний позитивний ефект: 1) скорочення ЕС виготовлення конструкційного бруса на 73%, що робить його надзвичайно конкурентним виробом; 2) модернізація обладнання для продукування теплової енергії та перехід на електроенергію, яка згенерована завдяки альтернативним джерелам; цей захід призведе до вивільнення приблизно 2180 м³ деревних відходів щороку, що створить умови для додаткового прибутку підприємства та раціонального використання сировини.

Іншим напрямом є збереження біорізноманіття і стале ведення лісового господарства.

Діяльність підприємства нерозривно пов'язана зі “здоров’ям” лісів Карпатського регіону. Стратегія збереження біорізноманіття вимагає наступних проактивних заходів, що виходять за межі простого дотримання нормативів: 1) посилення дотримання стандартів лісової сертифікації (FSC/PEFC), вимога для постачальників сировини суворо дотримуватись сертифікаційних вимог, включаючи захист високоцінних природоохоронних територій, мінімізацію впливу на ключові види флори і фауни, збереження структури лісів; 2) компенсаційні програми, що передбачають активну участь у програмах відновлення лісового фонду, включаючи лісовідновлення з використання стійких до зміни клімату місцевих видів, зокрема й смереки, деревина якої є основною сировиною для підприємства; 3) захист екосистемних послуг, що передбачає інвестування у створення та моніторинг буферних зон і захист прибережних територій у зонах заготівлі, що безпосередньо підтримує регулювання водних потоків та якість води; 4) управління водними ресурсами та мінімізація забруднення, що забезпечується впровадженням замкнутих циклів водокористування, особливо для технологічних потреб.

Економічна стійкість. Економічна стійкість підприємства на наступні 10 років не може ґрунтуватися лише на виробництві конструкційного бруса. Стратегія вимагає переходу до продукції з високою доданою вартістю у сфері “зеленого” будівництва, зокрема, на каркасне будівництво та монетизацію вивільнених ресурсів. Головний економічний важіль – це використання вивільнених 2180 м³ деревних відходів щороку як сировини для нових продуктів (наприклад, плитних матеріалів). Основний стратегічний напрям диверсифікації – виробництво готових рішень для будівництва дерев’яних каркасних будинків та інших будівельних компонентів. Реалізація цього напрямку передбачає розширення продуктової пропозиції підприємства та формування додаткових джерел економічної цінності, зокрема через капіталізацію екологічних переваг деревинної продукції. З цією метою пропонуються такі ключові заходи:

1) *Продуктова лінійка HWP (Harvested Wood Products)*. Розширення асортименту для виробництва готових будівельних рішень, таких як дерев’яні каркасні конструкції та модульні компоненти для будівництва індустріальних, житлових та соціальних споруд. Це перетворить підприємство з постачальника напівфабрикату на інтегратора рішень.

2) *Створення вуглецевого активу*. Використання деревини у довговічних будівельних конструкціях забезпечує тривале зберігання вуглецю (decade-long carbon storage). Цей вуглецевий актив є потужним фінансовим аргументом для залучення “кліматичного” фінансування та участі в європейських програмах відбудови.

Також Стратегія передбачає інтеграцію обліку природного капіталу в звітність підприємства, що дасть змогу оцінити фінансову цінність екологічних переваг, зокрема вартості вуглецю, збереженого у виробничому обсязі HWP. Це забезпечить точніше відображення справжньої вартості бізнесу, що важливо для залучення відповідальних інвесторів та “кліматичного” фінансування.

Соціальна стійкість. Соціальна стійкість є запорукою довгострокової репутації та доступу до ключових ринків, особливо ЄС і передбачає розвиток “зеленого” людського капіталу. Зокрема це стосується переходу до виробництва HWP та використання сонячної або вітрової генерації, що вимагає трансформації кваліфікації робочої сили. Стратегія передбачає: розроблення навчальних програм, спрямованих на нові технології: монтаж та обслуговування обладнання для сонячної або вітрової генерації, інженерні процеси виробництва дерев’яних каркасних конструкцій та цифрові інструменти для забезпечення EUDR-відповідності; створення “зелених” робочих місць у сфері інженерії, R&D і монтажу, що сприятиме розвитку ринку праці та соціальної стабільності в регіоні; активну співпрацю з місцевими громадами, підтримку освітніх ініціатив і реалізацію спільних проєктів з лісовідновлення для зміцнення “соціальної ліцензії на діяльність”.

Бездоганна відповідність Регламенту ЄС щодо знеліснення (EUDR) є критичною передумовою для експорту продукції до країн ЄС. Тому Стратегія підприємства включає розроблення та впровадження комплексної системи підтримки прийняття управлінських рішень, що охоплює збір інформації про походження деревини, оцінювання ризиків знеліснення / нелегальної заготівлі та проактивні заходи з пом’якшення ризиків. Також передбачено посилення вимог FSC або PEFC сертифікації, що є необхідною умовою для участі в проєктах зеленого будівництва та використання електронної системи обліку деревини як основи для впровадження GIS-технологій, які забезпечують можливість отримувати та зберігати геолокаційні дані ділянок заготівлі згідно з вимогою EUDR. Ключові показники ефективності Стратегії

збереження біорізноманіття підприємства зведені у табл. 2.

На рівні лісового сектору України дослідницькою групою проекту Circle розроблено «Національну стратегію сталого розвитку лісового сектору», яка формує комплексну

рамку трансформації галузі в умовах європейської інтеграції та «зеленого» переходу. Стратегія передбачає впровадження тривірневої бізнес-моделі розвитку сектору, що інтегрує економічні, екологічні та соціальні цілі, а також посилює орієнтацію на довгострокову стійкість.

Таблиця 2. Ключові показники ефективності збереження біорізноманіття підприємства, що спеціалізується на виготовленні конструкційного бруса на 2026-2036 роки

Table 2. Key Performance Indicators for biodiversity conservation at a company specializing in the manufacture of structural timber for 2026-2036

Категорія	Ключові показники ефективності	Одиниця виміру	Базове значення (2025)	Цільове значення (2036)	Проміжний моніторинг (2030)
Екологічні	Загальний екологічний слід на 1 м ³ продукції	га/м ³	0,1105	< 0,04	< 0,07
	Частка АДЕ у виробництві теплової енергії для процесів сушіння	%	0	> 95	> 50
	Обсяг вивільнених відходів, які використовують для нової продукції	м ³	0	> 2000	> 1000
	Споживання свіжої води	м ³ /міс	80	Зниження на 30%	Зниження на 15%
	Обсяг відновлених лісів з моніторингом біорізноманіття	га/рік	-	> 50	> 20
Економічні	Частка доходу від реалізації каркасних дерев'яних будинків	%	0	> 40	> 15
	Інвестиції в зелені технології (АДЕ)	EUR	0	N/A	N/A
	Зростання експорту продукції до країн ЄС	%	0	> 300	> 100
Соціальні	Кількість створених "зелених" робочих місць	осіб	0	> 30	> 15
	Години навчання персоналу з питань сталого розвитку	год/особа	0	> 20	> 10
	Показник відповідності EUDR	%	N/A	100	> 90
	Рейтинг задоволеності працівників	%	N/A	> 85	> 70

Ключовими напрямами реалізації Стратегії визначено: реформу регуляторної політики з інтеграцією вимог щодо біорізноманіття та природного капіталу; запровадження системи державних закупівель з урахуванням екологічних критеріїв; розвиток обов'язкової нефінансової звітності, гармонізованої з європейськими підходами; застосування економічних інструментів, зокрема платежів за екосистемні послуги та механізмів зеленого / кліматичного / сталого фінансування; цифрову трансформацію сектору для забезпечення прозорості та простежуваності; розвиток систем сертифікації та стимулювання сталого ведення лісового господарства; створення національної системи моніторингу біорізноманіття та відкритих даних.

Обґрунтовано такі ключові рушії імплементації стратегії: *Ключовий рушій 1*: сталий розвиток та збереження біорізноманіття – це не витрати, а фундамент конкурентоспроможності та доступу на преміальні ринки ЄС. *Ключовий*

рушій 2: цифрова простежуваність (дотримання EUDR) – технологічний інструмент для очищення ринку від нелегальної деревини та залучення інвестицій у модернізацію. *Ключовий рушій 3*: облік природного капіталу – сучасний метод управління ризиками та капіталізацією бізнесу в умовах кліматичних змін. *Ключовий рушій 4*: підхід циркулярної економіки у використанні деревини – шлях до енерго-незалежності та збереження ресурсного потенціалу України.

Дискусія (Discussion).

Результати дослідження підтверджують, що ключовим чинником екологічного сліду деревообробних підприємств є не лише використання деревної сировини, але й наявність енергомістких процесів, зокрема сушіння та виробництво теплової енергії, які формують 75-80% загального екологічного сліду. Ці результати корелюють з результатами дослідження Xie et al. (2024), де вказано, що

споживання енергії та використання хімічних добавок під час оброблення деревини можуть становити понад 50% загальних викидів парникових газів. Отримані результати також узгоджуються з висновками Гайди (2023) та Гайди, Киянки (2025), які наголошують на високій ресурсо- та енергомісткості деревообробної промисловості. Таким чином виникає необхідність переосмислення традиційних підходів до екологізації галузі, які фокусуються на раціональному лісокористуванні (Miassi & Dossa, 2024; Дребот та ін., 2025). Результати дослідження засвідчують, що справжній «розрив зв'язку» між зростанням виробництва та деградацією довкілля в деревообробці лежить у площині енергетичної трансформації.

Дослідження розширює попередні напрацювання шляхом застосування концептуальної рамки ENCORE для аналізу залежностей бізнесу від природного капіталу, що дало змогу вийти за межі кількісних показників і розкрити фундаментальні залежності деревообробних підприємств від послуг лісових екосистем (Haines-Young & Potschin, 2023). Такі висновки корелюють із положеннями Plev et al. (2025) про багатогранну роль лісів у забезпеченні глобального суспільного добробуту. Інтеграція індикаторів ENCORE у стратегічні документи дає змогу підприємствам системно інтегрувати в управлінські рішення залежності від екосистемних послуг, відстежувати та регулювати навантаження на екосистеми.

Розроблені тривірневі бізнес-моделі демонструють можливості переорієнтації деревообробних підприємств до продовження життєвого циклу продукції, наприклад, шляхом виробництва та продажу систем для «зеленого» будівництва з високою доданою вартістю. Така переорієнтація є практичною складовою реалізації принципів Індустрії 5.0 (Гайда, 2023) та концепції «від колиски до колиски» (Корнелюк, Павліха, 2023), а також відповідає ключовим вимогам The European Green Deal (European Commission, 2019) та EU Deforestation Regulation (European Union, 2023). Водночас варто враховувати висновки Xie et al. (2024) про «спадну віддачу» від надмірного нарощування лише показників рециклінгу (з 30% до 85% дають лише +2,2% скорочення емісій). Тобто, основні зусилля деревообробних підприємств повинні спрямовуватися на якість і довговічність вироблених продуктів, а не лише на кількісне перероблення відходів.

Поряд з цим, додатковим вектором розвитку бізнес-моделей деревообробних підприємств є диверсифікація продуктової лінійки через вико-

ристання недеревних ресурсів лісу (наприклад, кори, листя, екстрактів) у фармацевтичних чи косметологічних цілях (Miassi & Dossa, 2024). У контексті циркулярної економіки ці матеріали відіграють ключову роль як відновлювані ресурси, створюючи додану вартість без збільшення навантаження на лісові екосистеми, що є критично важливим для повоєнного відновлення біорізноманіття України (А. Кучер, Л. Кучер, 2024).

Виявлена у дослідженні можливість скорочення екологічного сліду на 70-75% через заміщення біомаси відновлюваною електроенергією підкреслює важливу наукову дискусію щодо кліматичних компромісів. Хоча спалювання відходів розглядають як один із елементів «циркулярного» рішення, Plev et al. (2025) зазначають, що інтенсифікація використання біомаси для енергії часто вступає у конфлікт із цілями збереження біорізноманіття та вуглецевої нейтральності. Більше того, довготривале зберігання вуглецю у виробках із деревини забезпечує значно вищі кліматичні переваги порівняно з енергетичною утилізацією.

За даними Höglmeier et al. (2015a, b), каскадне використання деревини після споживання дає можливість забезпечити три потенційні переваги: збільшення утримання вуглецю в продуктах, уникнення додаткової лісозаготівлі та збільшення заміни продуктів і палива з високими викидами. Такі результати повністю підтверджуються бізнес-моделями, розробленими у цьому дослідженні для деревообробних підприємств, де пріоритет надано продукції з доданою вартістю. Необхідність такого підходу також підтверджується у дослідженні Челепіс, Соловій (2022), де увагу зосереджено на екосистемних послугах як чиннику, який уможливорює створення доданої вартості бізнес-моделі. Автори показують, що інтеграція екосистемних послуг створює передумови для вирішення проблем, пов'язаних зі станом довкілля та добробутом суспільства.

Висновки (Conclusion).

1. Інтеграція розроблених стратегій на рівні підприємств і галузі формує цілісну рамку трансформації лісового сектору України, орієнтовану на перехід від ресурсно-експлуатаційної моделі до моделі відновного та біорізноманіттево-позитивного розвитку, що відповідає європейським підходам до сталого управління природними ресурсами.

2. Незважаючи на обґрунтованість отриманих результатів, дослідження має певні обмеження, пов'язані зі складністю збору повних даних щодо ланцюгів постачання і непрямих екологічних впливів. Оцінювання впливу на біорізноманіття здійснювалося з використанням концептуальної

рамки (зокрема, ENCORE), що потребує подальшої трансформації у кількісні метрики стану біорізноманіття, придатних для інтеграції в національні системи обліку.

3. Перспективними напрямками подальших досліджень є розроблення кількісних моделей інтеграції природного капіталу у систему управлінського обліку деревообробних підприємств, оцінювання сліду біорізноманіття продукції, а також дослідження ролі цифрових технологій у забезпеченні відстеження та циркулярності ланцюгів постачання деревообробних підприємств. Окремим вектором дослідження залишається розроблення стратегії переходу на циркулярні принципи економіки, зміна економічної моделі з лінійної на циркулярну. Хоча на сьогодні елементи такої стратегії відображені в окремих нормативних документах, згаданих публікаціях, однак вони

ще не стали платформою процесу прийняття усіх бізнес-рішень на засадах сталого розвитку.

Подяка (Acknowledgments).

Дослідження виконано у рамках проекту, що фінансується ЄС – проєкт “CircHive” (Project 101082081 – CircHive) «Розробка та пілотування слідів біорізноманіття та обліку природного капіталу через «вулик» галузевих центрів для сталого переходу до циркулярної біоекономіки ЄС», що виконується у рамках міжнародної програми «Горизонт Європа» (Horizon Europe. Topic HORIZON-CL6-2022-BIODIV-01-04 (IA). Natural capital accounting: Measuring the biodiversity footprint of products & organisation)

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Chelepis, T. O., & Solovii, I. P. (2022). Business models of forest management based on ecosystem service provision: analysis of innovative approaches. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 32(3), 43–48. <https://doi.org/10.36930/40320307> [Челепіс, Т. О., Соловій, І. П. (2022). Бізнес-моделі ведення лісового господарства на основі надання послуг екосистем: аналіз інноваційних підходів. *Науковий вісник НЛТУ України*, 32(3), 43–48] (in Ukrainian)
- Convention on Biological Diversity. (2022). *Kunming-Montreal Global Biodiversity Framework*. Montreal: CBD Secretariat. <https://www.cbd.int/gbf/>
- Drebot, O. I., Mishenin, Ye. V., Shershun, M. Kh., Sakhnatska, L. I., & Botsula, O. I. (2025). Circular economy in the context of the ecological and economic mechanism of integrated use of forest resource potential. *Balanced Nature Using*, 2, 5–10. <https://doi.org/10.33730/2310-4678.2.2025.337133> [Дребот, О. І., Мішенін, Є. В., Шершун, М. Х., Сахарнацька, Л. І., Боцула, О. І. (2025). Циркулярна економіка в контексті еколого-економічного механізму комплексного використання лісоресурсного потенціалу. *Збалансоване природокористування*, 2, 5–10] (in Ukrainian)
- Dynka, P. K., Solovii, I. P., & Hohol, T. M. (2025). Socio-ecological and economic aspects of using forest resources for energy. *Academic Visions*, 39, 1–11. <https://doi.org/10.5281/zenodo.14761067> [Динька, П. К., Соловій, І. П., Гоголь, Т. М. (2025). Соціо-еколого-економічні аспекти енергетичного використання лісових ресурсів. *Академічні візії*, 39, 1–11] (in Ukrainian)
- European Commission. (2019). *The European Green Deal*. COM(2019) 640 final. Retrieved from https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal_en
- European Parliament & Council of the European Union. (2023). *Directive (EU) 2023/2413 of the European Parliament and of the Council of 18 October 2023 amending Directive (EU) 2018/2001, Regulation (EU) 2018/1999 and Directive 98/70/EC as regards the promotion of energy from renewable sources, and repealing Council Directive (EU) 2015/652*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/dir/2023/2413/oj>
- European Parliament & Council of the European Union. (2023). *Regulation (EU) 2023/1115 of the European Parliament and of the Council of 31 May 2023 on the making available on the Union market and the export from the Union of certain commodities and products associated with deforestation and forest degradation and repealing Regulation (EU) No 995/2010*. Official Journal of the European Union. <https://eur-lex.europa.eu/eli/reg/2023/1115/oj>
- Gaida, S. V. (2023). State and analysis of the dynamics indicators of the production volume of the woodworking and furniture industry. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 4–19. <https://doi.org/10.36930/42234901> [Гайда, С. В. (2023). Стан та аналіз динаміки показників обсягів випуску продукції деревообробної та

- меблевої галузі. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 4–19] (in Ukrainian)
- Gaida, S. V. (2024). Analysis of the trend of the main indicators of the wood processing industry in the context of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 50, 4–15. <https://doi.org/10.36930/42245001> [Гайда, С. В. (2024). Аналіз тенденції основних показників деревоино-заготовчої галузі в контексті циркулярної економіки. *Лісове госп-во, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 50, 4–15] (in Ukrainian)
- Gaida, S. V., & Kyvanka, V. V. (2025). Formation of processing pathways for wood residues in the forest sector. In *Forestry Education and Science: Current Challenges and Development Prospects: proceedings of the 75th Scientific and Technical Conference of Academic Staff, Researchers, Doctoral and Postgraduate Students of the Ukrainian National Forestry University*. Lviv, December 2, 2025. Lviv: Ukrainian National Forestry University. [Гайда, С. В., Киянка, В. В. (2025). Формування напрямків перероблення деревинних залишків лісового сектору. *Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку*: матеріали 75-ї наук.-техн. конф. професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів НЛТУ України, м. Львів, 2 грудня 2025 р. Львів: НЛТУ України] (in Ukrainian)
- Haines-Young, R., & Potschin, M. (2023). *Common International Classification of Ecosystem Services (CICES) V5.2: Guidance on the Application of the Revised Structure*. European Environment Agency. Retrieved from <https://cices.eu/>
- Höglmeier, K., Steubing, B., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2015a). LCA-based optimization of wood utilization under special consideration of a cascading use of wood. *Journal of Environmental Management*, 152, 158–170. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2015.01.018>
- Höglmeier, K., Weber-Blaschke, G., & Richter, K. (2015b). Evaluation of wood cascading. In J. Dewulf, S. De Meester, & R. A. F. Alvarenga (Eds.), *Sustainability assessment of renewables-based products* (pp. 335–346). Chichester, UK: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9781118933916.ch22>
- Iliev, B., Bentsen, N. S., Brownell, H., Droste, N., D'Amato, D., Arto, I., May, W., & Thomsen, M. (2025). A conceptual framework for assessing pathways towards climate neutrality and biodiversity conservation in a circular forest-based economy. *Ecological Economics*, 238, 108749. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2025.108749>
- Kiyko, O. A., Ilkiv, M. M., Pelyukh, O. R., Solovii, I. P., Chelepis, T. O., Lavnyy, V. V., & Lutsenko, A. O. (2025). Ecological footprint from woodworking enterprise activities: impact assessment and minimization pathways. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(1), 68–75. [Кійко, О. А., Ільків, М. М., Пелюх, О. Р., Соловій, І. П., Челепіс, Т. О., Лавний, В. В., Луценко, А. О. (2025). Екологічний слід від діяльності деревообробного підприємства: оцінювання впливу та шляхи мінімізації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(1), 68–75] (in Ukrainian)
- Korneliuk, O. A. (2024). Directions of circular economy implementation in the wood processing industry in the context of sustainable development. *Business Navigator*, 1(74), 191–197. <https://doi.org/10.32782/business-navigator.74-32> [Корнелюк, О. А. (2024). Напрямки впровадження циркулярної економіки в деревообробній промисловості в контексті сталого розвитку. *Бізнес-навігатор*, 1(74), 191–197] (in Ukrainian)
- Korneliuk, O., & Pavlikha, N. (2023). Conceptual foundations of circular economy development. *International Relations, Public Communications and Regional Studies*, 3, 303–318. <https://doi.org/10.29038/2524-2679-2023-03-303-318> [Корнелюк, О., Павліха, Н. (2023). Концептуальні засади розвитку циркулярної економіки. *Міжнародні відносини, суспільні комунікації та регіональні студії*, 3, 303–318] (in Ukrainian)
- Kucher, A., & Kucher, L. (2024). Business models for sustainable development: Global trends in publication activity. In *Business Models for Sustainable Development: Challenges and Digital Transformation: proceedings of the International Scientific and Practical Conference*, 47–49. Kharkiv, February 15–16, 2024. Kharkiv: V. N. Karazin Kharkiv National University. [Кучер, А., Кучер, Л. (2024). Бізнес-моделі для сталого розвитку: глобальні тенденції публікаційної активності. *Бізнес-моделі для сталого розвитку: виклики та цифрова трансформація*: матеріали Міжнар. наук.-практ. конф., 47–49. м. Харків, 15–16 лютого 2024 р. Харків: ХНУ ім. В. Н. Каразіна.] (in Ukrainian)
- Kyrylenko, Y., Pelyukh, O., Parpan, T., Gudyma, V., & Holubchak, O. (2024). Assessment of ecosystem services of recreational and health-improving forests in Ivano-Frankivsk region.

- Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 15(3), 61–81.
<https://doi.org/10.31548/forest/3.2024.61>
- Miassi, Y. E., & Dossa, K. F. (2024). Circular economy initiatives for forest-based bioeconomy: Harnessing the potential of non-wood biomaterials. *Waste Management Bulletin*, 2, 270–278.
<https://doi.org/10.1016/j.wmb.2024.05.006>
- Myronets, M. A. (2025). Impact of martial law on entrepreneurial activity and development of entrepreneurial potential in the forest sector. *Bulletin of National University of Water and Environmental Engineering, Economic Sciences Series*, 3(111).
<https://doi.org/10.31713/ve3202515> [Миронець, М. А. (2025). Вплив воєнного стану на підприємницьку активність та розвиток підприємницького потенціалу лісового сектору. *Вісник НУВГП, серія «Економічні науки»*, 3(111)] (in Ukrainian)
- Nevar, O. V. (2023). Theoretical foundations of sustainable development of the woodworking industry. *Economic Space*, 188, 5–10.
<https://doi.org/10.32782/2224-6282/188-1> [Невар, О. В. (2023). Теоретичні основи сталого розвитку деревообробної промисловості. *Економічний простір*, 188, 5–10] (in Ukrainian)
- Pavlikha, N., & Korneliuk, O. (2022). World experience of circular economy implementation and prospects for Ukraine. In *Economic, social and legal aspects of enterprise management in the context of political and economic crisis* (pp. 155–168). Poznań.
<https://evnuir.vnu.edu.ua/handle/123456789/22295>
- Pelyukh, O., Solovii, I., Kiyko, O., Ilkiv, M., Chelepis, T., & Lavnyy, V. (2023). Biodiversity footprint of the product: theory and methodology of calculation. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 156–166. <https://doi.org/10.15421/412313> [Пелюх, О., Соловій, І., Кійко, О., Ільків, М., Челепіс, Т., Лавний, В. (2023). Слід біорізноманіття продукту: теорія і методологія розрахунку. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 156–166] (in Ukrainian)
- Pelyukh, A. O., Ilkiv, M., Kiyko, O., Solovii, I., Chelepis, T., & Lavnyy, V. (2025). Ecological footprint of wood-based products in the Ukrainian Carpathians region. *Drewno. Prace Naukowe. Doniesienia. Komunikaty*, 68(215), 1–15. <https://doi.org/10.53502/wood-196630>
- Reid, W. V., Mooney, H. A., Cropper, A., Capistrano, D., Carpenter, S. R., Chopra, K., ... Shidong, Z. (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Synthesis*. Washington, DC: Island Press. Retrieved from <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Rockström, J., Steffen, W., Noone, K., Persson, Å., Chapin, F. S., Lambin, E. F., ... Jonathan, A. (2009). A safe operating space for humanity. *Nature*, 461, 472–475.
<https://doi.org/10.1038/461472a>
- Solovii, I. P., Kiyko, O. A., Lavnyy, V. V., Bukhaneych, I. I., Pelyukh, O. R., Ilkiv, M. M., ... Lutsenko, A. O. (2024). Formation of a business model oriented toward sustainability planning tools for forest sector enterprises. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 155–167. <https://doi.org/10.15421/412424> [Соловій, І. П., Кійко, О. А., Лавний, В. В., Буханевич, І. І., Пелюх, О. Р., Ільків, М. М., ... Луценко, А. О. (2024). Формування бізнес-моделі, орієнтованої на планування сталості підприємств лісового сектору: інструменти. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 155–167] (in Ukrainian)
- Solovii, I., Kiyko, O., Ilkiv, M., Chelepis, T., Pelyukh, O., & Lavnyy, V. (2024). Assessment of the furniture board ecological footprint: Case study of a woodworking enterprise in the Carpathian region of Ukraine. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry, Wood Industry, Agricultural Food Engineering*, 17(66), 1. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.1.6>
- World Economic Forum. (2024). *The Global Risks Report 2024*. Retrieved from <https://www.weforum.org/publications/global-risks-report-2024/>
- Xie, S. H., Kurz, W. A., Smyth, C., Xu, Z., & Roeser, D. (2024). Forest products circular economy in an export-focused jurisdiction: Can it fill the emission reduction gap *Cleaner and Circular Bioeconomy*, 8, 100096. <https://doi.org/10.1016/j.clcb.2024.100096>

Integrated approach to the circular transformation of woodworking enterprises in the forest sector of the economy

O. Pelyukh¹, O. Kiyko², I. Soloviy³, M. Ilkiv⁴, V. Lavnyy⁵, D. Savka⁶, A. Lutsenko⁷, N. Chopenko⁸, O. Yarish⁹

The circular transformation of woodworking enterprises is a strategic priority for ensuring the sustainable development of Ukraine's forest sector, particularly in the context of the urgent need for "green" post-war recovery and European integration. It is noted that the transformation of the sector has become especially relevant due to the consequences of military aggression, including large-scale forest damage, loss of forest resources due to landmines, and disruptions to logistics chains. The aim of the study is to justify an integrated approach to assessing the ecological impact of woodworking enterprises and their products on the environment, developing sustainability-oriented business models and integrating biodiversity conservation and natural capital principles into the strategic development of woodworking enterprises and the forest sector of Ukraine as a whole, based on the results of the HORIZON Europe CircHive project. The study's results demonstrated that the ecological

footprint of woodworking enterprises in the Ukrainian Carpathians is mainly driven by energy-intensive technological processes, particularly wood drying, whereas the direct impacts of primary forest use and transportation are significantly lower. The findings also showed that the use of alternative energy sources and the implementation of circular approaches can substantially reduce the ecological footprint of production and improve resource-use efficiency. The application of the ENCORE conceptual framework confirmed the high dependence of woodworking enterprises on natural capital and demonstrated that biodiversity degradation directly increases the operational and economic risks of production systems. Based on the integration of ecological footprint assessment results, analyses of dependencies on natural capital, and empirical data, three-level sustainable business models were developed to increase product added value, promote circular resource use, and implement climate-adaptive management approaches. At the macro level, the

¹ *Oksana Pelyukh* – PhD, Assistant of the Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. Postdoctoral Researcher, Social-Ecological Systems Analysis Lab, University of Lodz. P.O.W. St., 3/5, Łódź, 90-255, Poland. E-mail: pelyukh.o@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1889-3623>

² *Orest Kiyko* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: orest.kiyko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5504-0278>

³ *Ihor Soloviy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor of Department of Economics, Tourism and Recreation. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

⁴ *Mykhailo Ilkiv* – Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: mykhailo.ilkiv@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0004-1630-9974>

⁵ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences 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>

⁶ *Dmytro Savka* – PhD Student of the Department of Environmental and Wood Protection Technologies and Life Safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: savka.d@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-8060-5470>

⁷ *Andriy Lutsenko* – PhD Student of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lutsenko.a@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9628-1279>

⁸ *Nataliya Chopenko* – Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: nataliya.chopenko@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-2170-5501>

⁹ *Oksana Yarish* – PhD, Assistant of the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: oksana.yarish@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0005-4844-2320>

“National Strategy for Sustainable Development of the Forest Sector” was substantiated, integrating economic, environmental, and social objectives while strengthening the orientation toward long-term sustainability. The practical significance of the results lies in the possibility of applying the proposed approach to developing sustainable development strategies for woodworking enterprises, improving environmental management, and

increasing the efficiency of forest resource use. The implementation of the proposed solutions will contribute to the development of the circular economy, reduction of negative ecological impacts, and ensuring the long-term competitiveness of the forest sector of the economy.

Key words: biodiversity; ecological footprint; natural capital; business model; strategy; strategic management.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412616>
Article received 2025.09.09
Article revised 2026.02.10
Article accepted 2026.02.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Serhiy Gayda
serhiy.hayda@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674.028.9:674.213:620.178.3

Вплив поперечних перерізів рейок на характеристики міцності меблевих щитів із дубової деревини

С.В. Гайда¹, В.В. Киянка²

Наведено результати експериментального дослідження впливу геометричних параметрів рейок та їх структурного поєднання на механічні характеристики меблевих щитів із деревини дуба звичайного. Основним критерієм оцінювання прийнято межі міцності при статичному згині як інтегральний показник, що характеризує роботу конструкції в умовах експлуатаційних навантажень. Дослідження виконано із застосуванням методів математичного планування експерименту та регресійного аналізу з урахуванням двох змінних факторів – ширини радіальних і тангентальних рейок.

Встановлено, що збільшення ширини рейок у діапазоні від 22 до 66 мм призводить до зниження межі міцності меблевих щитів до 35%, що зумовлено нерівномірним розподілом напружень і зменшенням кількості клейових з'єднань. Ширина тангентальних рейок має більш виражений негативний вплив на міцність порівняно з радіальними, що пояснюється вищою анізотропією деревини при тангентальному розпилі. Отримано регресійну залежність у натуральних змінних, яка адекватно описує зміну межі міцності меблевого щита при статичному згині від ширини радіальних і тангентальних рейок, що дає змогу прогнозувати значення межі міцності залежно від параметрів конструкції.

Комбіноване укладання рейок різного типу розпилювання та різної ширини дає змогу частково компенсувати негативний вплив окремих факторів і забезпечити рівномірніший напружено-деформований стан. Максимальні значення міцності (до 35 МПа) досягаються за використання вузьких рейок (22–30 мм) з переважанням радіального розпилу. При цьому конструкції з широкими рейками (66 мм) працюють на межі нормативних вимог, що знижує їхню експлуатаційну надійність.

Встановлено вплив поперечних розмірів рейок (ширини і товщини), типу їхнього розпилювання (радіального і тангентального) та способу укладання в конструкцію меблевого щита на межі

¹ Гайда Сергій Володимирович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

² Киянка Володимир Володимирович – аспірант кафедри технологій меблів і виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: 25kyianka.v@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0572-8431>

міцності при статичному згині. Здійснено комплексний аналіз поєднання цих факторів із застосуванням методів математичного планування експерименту та регресійного аналізу.

Отримані результати дають змогу підвищити міцність виробів на 15-25% без збільшення матеріаломісткості, забезпечити стабільність геометричних параметрів та зменшити ймовірність дефектів у процесі експлуатації.

Ключові слова: клеєні деревинні конструкції; напружено-деформований стан; анізотропія деревини; клейові з'єднання; факторний експеримент; регресійна модель; оптимізація параметрів; структурна неоднорідність.

Вступ (Introduction).

У контексті сучасних викликів сталого розвитку деревообробної промисловості одним із ключових напрямів є підвищення ефективності використання деревинних ресурсів за рахунок оптимізації конструкційних параметрів виробів, зокрема меблевих щитів. Значна кількість наукових праць присвячена як дослідженню фізико-механічних властивостей деревини, так і вдосконаленню конструкцій клеєних деревинних матеріалів. Також актуальним є питання реалізації принципів циркулярної економіки, що зазначено у Circularity Gap Report (2022) та CircHive (2022).

За результатами аналізу праць Barbu (2022), Bezama (2016), Blomsma & Brennan (2017), European Commission (2015), Murray et al. (2017), Ratajczak & Szostak (2003), Reike et al. (2018), Titus et al. (2021), Tuomasjukka et al. (2017) встановлено, що у світовій практиці домінує підхід до розгляду деревини як ресурсу з високим потенціалом повторного використання. Автори підкреслюють необхідність формування матеріалів із прогнозованими властивостями, що безпосередньо залежить від структури деревини та геометрії її елементів.

У роботах Suominen et al. (2017), Werner et al. (2010), Zajac (2023), Медвідь (2018), Лесів (2020) доведено, що при виготовленні комбінованих деревинних матеріалів, зокрема меблевих щитів, ключову роль відіграє структура внутрішнього шару, яку формують з рейок різного походження (масивна деревина, вторинна деревина, деревинно-стружкові елементи). Такий підхід дає змогу оптимізувати співвідношення між міцністю, стабільністю розмірів і матеріаломісткістю виробів.

Результати досліджень Čunderlík (2017), Medvid & Gayda (2025), Risse (2020), Гайда (2023), підтверджують, що розвиток технологій комбінованих плит базується на принципах ресурсоефективності та циркулярної економіки. За даними European Committee for Standardization (2013, 2016, 2016a, 2019), до 60% деревини після первинного використання може бути повторно залучено у виробничий цикл без суттєвої втрати фізико-механічних власти-

востей. Цей напрям відкриває перспективи створення нових конструкційних матеріалів (Lutsenko, 2025).

У працях Falk et al. (2013) та Risse (2020) доведено, що повторно використана деревина після відповідної підготовки (сортування, очищення, калібрування) зберігає до 80-90% початкової міцності. При цьому автори наголошують на важливості контролю геометричних параметрів елементів, зокрема ширини і товщини рейок, які визначають характер розподілу напружень у конструкції.

Дослідження Podibka & Kiyko (2019) експериментально підтверджують, що механічні характеристики клеєних конструкцій значною мірою залежать від параметрів ламелей. Зокрема встановлено, що збільшення ширини рейок понад певні критичні значення призводить до зростання внутрішніх напружень і зниження межі міцності при статичному згині.

У роботах Krzosek (2022), Zajac (2023) показано, що комбінування рейок різних порід деревини дає змогу регулювати жорсткість і міцність меблевих щитів без суттєвого збільшення маси виробу. Автори відзначають, що оптимальне співвідношення компонентів у конструкції може досягати співвідношення 60 : 40 залежно від функціонального призначення виробу.

Особливу увагу впливу ширини рейок приділено у працях Čunderlík (2017), Гайда та Медвідь (2024), Лесів та ін. (2024), за результатами яких встановлено, що при збільшенні ширини рейок понад 60 мм спостерігається підвищення нерівномірності розподілу напружень, що призводить до зниження міцності при згині на 8-10%. Водночас використання вузьких рейок забезпечує рівномірнішу структуру матеріалу та підвищення стабільності показників.

У дослідженнях Laganià & Lavini (2018) доведено, що введення у структуру меблевих щитів рейок із меншою щільністю іншої породи у частці 30-40% не призводить до суттєвого зменшення міцності – до 10-12 %, що є допустимим для більшості конструкційних застосувань.

Згідно з вимогами стандартів EN 310:2013 та EN 205:2001, межа міцності при статичному згині є основним показником, який характеризує експлуатаційну придатність меблевих щитів. У працях Dudkarska (2020), Krč & Hrázský (2021), Krzosek (2022), Гайда та Кійко (2021) підтверджено, що цей показник є найбільш чутливим до змін структури матеріалу, зокрема до геометрії рейок та способу їхнього укладання.

У роботах Лесів (2025), Медвідь (2021) зазначено, що використання вторинної деревини супроводжується збільшенням варіабельності механічних властивостей, однак середні значення міцності залишаються в межах нормативних вимог. Для підвищення однорідності конструкції автори рекомендують застосовувати сортування рейок за щільністю та модулем пружності.

Результати досліджень Krzosek (2022), Lee & Kim (2021) засвідчують, що чергування рейок різної ширини у конструкції меблевого щита дозволяє оптимізувати розподіл напружень і підвищити міцність на 5-7% порівняно з однорідними структурами.

У працях Лесів і Гайда (2023), Медвідь (2023) встановлено, що навіть після тривалої експлуатації деревина може зберігати достатній рівень міцності для повторного використання у комбінованих конструкціях, за умов дотримання технологічних вимог до оброблення та підготовки матеріалу.

Аналіз результатів досліджень різних авторів дає підставу зробити такі узагальнення: більшість досліджень спрямована на оцінювання фізико-механічних властивостей деревини та клеєних матеріалів без детального врахування геометрії рейок; встановлено суттєвий вплив ширини рейок на розподіл напружень і межу міцності при статичному згині; доведено ефективність комбінування рейок різного типу розпилювання та різної ширини; підтверджено доцільність використання вторинної деревини у складі меблевих щитів; встановлено, що оптимізація структури щитів повинна базуватися на комплексному врахуванні геометричних, структурних і технологічних факторів.

Поряд з цим, за аналізом літературних джерел встановлено, що на сьогодні відсутні системні дослідження, які б одночасно враховували вплив співвідношення ширини до товщини рейок; поєднання радіальних і тангентальних елементів; різні схеми укладання рейок у конструкції меблевого щита; багатофакторний вплив цих параметрів на межу міцності при статичному згині. Ці аспекти підтверджують доцільність і необхідність проведення даного комплексного експери-

ментального дослідження, результати якого наведено у наступних розділах статті.

Отже, одним із ключових напрямів підвищення ефективності використання деревини є оптимізація структури меблевих щитів, зокрема геометричних параметрів їх складових елементів – рейок, які формують несучу основу виробу. Особливої актуальності набуває дослідження впливу поперечних перерізів рейок на фізико-механічні характеристики меблевих щитів (МЩ) із деревини дуба звичайного, яку широко використовують у виробництві завдяки високим показникам міцності, зносостійкості та декоративності.

Актуальність дослідження зумовлена тим, що під час формування МЩ із масивної деревини значну роль відіграє не лише якість вихідної сировини, але й раціональне поєднання геометричних параметрів рейок, їхнього розпилювання (радіального чи тангентального), а також схема укладання у конструкції щита. Неврахування цих факторів призводить до зниження межі міцності при статичному згині, появи внутрішніх напружень і деформацій у процесі експлуатації. Незважаючи на наявність значної кількості досліджень у сфері механіки деревини та клеєних конструкцій, питання комплексного впливу співвідношення ширини до товщини рейок, типу розпилювання та їхніх комбінацій у складі меблевих щитів залишається недостатньо вивченим, особливо для такого твердолистяного деревного виду, як дуб звичайний.

Метою дослідження є встановлення оптимальних параметрів поперечних перерізів рейок та їхнього структурного поєднання в меблевих щитах із деревини дуба для забезпечення максимальних значень межі міцності при статичному згині. Для досягнення мети дослідження визначено такі завдання: дослідити вплив однакової ширини рейок на механічні характеристики щитів; встановити закономірності впливу поєднання рейок радіального і тангентального розпилювань; побудувати емпіричні залежності між параметрами рейок і міцністю щитів.

Дослідження спрямоване на вирішення актуального науково-прикладного завдання – підвищення ефективності використання деревини дуба звичайного у виробництві МЩ шляхом обґрунтованого вибору параметрів рейок та їхнього конструктивного поєднання.

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

Об'єктом дослідження є процес формування фізико-механічних характеристик МЩ із деревини дуба. *Предметом дослідження* є

вплив поперечних перерізів рейок (співвідношення ширини до товщини), типу розпилювання та їхніх комбінацій у конструкції меблевого щита на межу міцності при статичному згині.

Методологічна основа дослідження базується на положеннях механіки деревини, теорії міцності матеріалів, а також сучасних підходах до дослідження композиційних деревинних матеріалів. Для забезпечення достовірності та відтворюваності результатів використано стандартизовані методи випробувань і математичного планування експерименту.

Експериментальні дослідження виконано відповідно до вимог чинних європейських стандартів: DIN 68705-2:2016-03, EN 310:2013 – визначення межі міцності при статичному згині; EN 205:2001 – визначення міцності клейових з'єднань; EN 13353:2019 – вимоги до МЩ і деревинних плит; EN 13183-1:2014 – визначення вологості деревини. Опрацювання результатів здійснено із використанням методів математичної статистики, зокрема дисперсійного аналізу (ANOVA) та багатфакторного регресійного аналізу.

У дослідженні використано деревину дуба звичайного (*Quercus robur* L.), яку широко застосовують у виробництві МЩ завдяки високим фізико-механічним властивостям. Основні характеристики матеріалу: вологість деревини – 8-10%; щільність (середня) – 650-720 кг/м³; сортність – без значних дефектів

(сучків, тріщин, гнилі). Як сировину використано рейки (ламелі), отримані із заготовок шляхом радіального і тангентального розпилювань. Для склеювання застосовано клейову систему на основі ПВА-дисперсії (клас D3/D4), що забезпечує достатню міцність з'єднання і стабільність експлуатаційних характеристик.

Зразки МЩ виготовляли в лабораторних умовах із дотриманням технологічного процесу: підготовка рейок (калібрування, фугування, сортування); формування конструкції щита згідно із заданою схемою укладання; нанесення клею та пресування; кондиціонування зразків перед випробуванням.

Геометричні параметри рейок: товщина – 22 мм (стала величина); ширина – 22 мм, 44 мм, 66 мм; довжина зразків – 500 мм; ширина щита – 500 мм.

Таким чином, варіювання здійснювали за параметром ширини рейок та їх комбінації у структурі щита. Для дослідження впливу факторів застосовано повний факторний експеримент (ПФЕ). На основі аналізу результатів досліджень з літературних джерел, практичного досвіду і теоретичного аналізу досліджень було вибрано область експерименту (табл. 1). Змінними факторами для МЩ були різні ширини рейок із ВЖД – 22, 44, 66 мм радіальні ($V_{\text{рад}}$) і тангентальні ($V_{\text{тан}}$) для комбінованого укладання. Вихідним параметром прийнято значення межі міцності меблевих щитів при статичному згині.

Таблиця 1. Матриця В-плану для двох змінних факторів
Table 1. B-plan matrix for two variable factors

№ досліджу	Значення вхідних факторів у досліді			
	У натуральному позначенні		У кодованому позначенні	
	$V_{\text{рад}}$	$V_{\text{тан}}$	x_1	x_2
ПФП 2 ^k	22	22	-1	-1
	66	22	1	-1
	22	66	-1	1
	66	66	1	1
Зіркові точки	22	44	-1	0
	66	44	1	0
	44	22	0	-1
	44	66	0	1

Після виготовлення меблевих щитів їх кондиціонували у лабораторному середовищі за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ та відносної вологості $65 \pm 5\%$ впродовж семи діб.

Із кожного щита вирізали зразки для випробувань для встановлення межі міцності при статичному згині розміром $250 \times 50 \times 22$ мм (EN 310:2013) та межі міцності при сколюванні

вздовж волокон розміром $100 \times 25 \times 22$ мм (EN 205:2001). Кількість зразків для кожного типу випробувань – не менше 10 одиниць. Випробування проводили на універсальній випробувальній машині Zwick/Roell Z010. Схема навантаження – триточковий згин з прольотом між опорами $l = 200$ мм, швидкість переміщення поперечини – 5 мм/хв.

Межу міцності при згині обчислювали за формулою: $\sigma_u = (3P_{\max}l)/(2bh^2)$, де $P_{\max}$ – максимальне навантаження, Н; l – проліт між опорами, мм; b – ширина зразка, мм; h – товщина зразка, мм.

Основним показником ефективності дослідження була межа міцності при статичному згині (σ_u), МПа. Для порівняння результатів використовували нормативні значення: $\sigma_u \geq 25$ МПа згідно з EN 13353:2019.

Результати (Results).

Результати експериментальних випробувань впливу ширини брусків на показники міцності при

статичному згині МЦ із деревини дуба представлено у табл. 2.

Дисперсію відтворюваності розраховуємо за

$$\text{формулою: } S_y^2 = \frac{\sum_{j=1}^N S_j^2}{N}; \quad (1)$$

Підставивши дані у формулу 1, отримаємо значення дисперсії відтворюваності: $S_y^2 = 3,7375/8 = 0,467$. Для визначення коефіцієнтів рівняння було використано відомі методики статистичної обробки даних і розраховано коефіцієнти рівняння регресії з перевіркою на їх значимість (табл. 3). Для

$$\text{дисперсії адекватності (табл. 4): } \sum_{j=1}^8 (\bar{y}_j - y_j^p)^2 \quad (2)$$

Таблиця 2. Розрахунок середніх значень та дисперсії
Table 2. Calculation of mean values and dispersion

№	Результати y_{ij} показника міцності при статичному згині конструкцій МЦ із деревини дуба, МПа					Середнє значення в j -ій вибірці	Дисперсія в j -ій вибірці
	y_{1j}	y_{2j}	y_{3j}	y_{4j}	y_{5j}		
1.	34,383	34,483	35,536	35,336	34,355	34,818	0,32493
2.	30,487	30,910	31,782	31,599	30,594	31,074	0,34470
3.	26,472	26,079	27,534	26,923	25,793	26,560	0,47693
4.	22,767	22,387	23,704	23,101	22,417	22,875	0,29954
5.	30,070	29,640	31,250	30,659	29,650	30,254	0,48288
6.	25,114	25,010	26,353	25,580	23,887	25,189	0,81007
7.	33,442	33,367	34,966	34,041	32,838	33,731	0,65905
8.	23,923	23,752	25,048	24,335	23,593	24,130	0,33941
Сума						228,63	3,7375

Таблиця 3. Розрахунок коефіцієнтів регресії математичної моделі
Table 3. Calculation of regression coefficients of the mathematical model

Коефіцієнт	Величина коефіцієнта	$t(q, f_y) S\{b_i\}$	Висновок	Межі достовірного інтервалу	
				$b_i - t_{\text{табл}} S\{b_i\}$	$b_i + t_{\text{табл}} S\{b_i\}$
b_0	27,820	0,697	значний	27,12	28,52
b_1	-2,082	0,255	значний	-2,34	-1,83
b_2	-4,343	0,255	значний	-4,60	-4,09
b_{11}	-0,098	0,540	незначний	-0,64	0,44
b_{22}	1,111	0,540	значний	0,57	1,65
b_{12}	0,015	0,312	незначний	-0,30	0,33

Таблиця 4. Розрахунок дисперсії адекватності
Table 4. Calculation of the dispersion of adequacy

№ дослідю	$\bar{y}_j$	y_j^p	$(\bar{y}_j - y_j^p)^2$
1	34,82	35,27	0,2059
2	31,07	31,08	0,0000
3	26,56	26,56	0,0000
4	22,88	22,42	0,2059
5	30,25	29,80	0,2026
6	25,19	25,64	0,2026
7	33,73	33,27	0,2092
8	24,13	24,59	0,2092
Сума			1,2354

Визначаємо дисперсію адекватності:

$$S_{ad}^2 = \frac{n}{f_{ad}} \sum_{j=1}^N (\bar{y}_j - y_j^p)^2 = \frac{5}{8-7} * 0,000012 = 0,01$$

$$S_{ad}^2 = 5/(8-7) \times 1,2354 = 6,177.$$

Розрахункове значення критерію Фішера:

$$F_{роз} = \frac{S_{більша}^2}{S_{менша}^2} = \frac{S_{ad}^2}{S_y^2} = \frac{0,00006}{0,00002} = 3 \quad (4)$$

Підставивши дані у формулу 4, отримаємо розрахункове значення критерію Фішера: $F_{розр} = 6,177/0,647 = 9,547$.

Табличне значення критерію Фішера $F_{табл.}$, яке залежить від рівня значимості $q = 5\%$, числа ступенів вільності дисперсії адекватності $f_{ad} = 8-7 = 1$ та числа належних оцінок дисперсії відтворюваності $f_y = 8*(5-1) = 32$ становитиме: $F_{табл} = 252$. Оскільки $9,547 < 252$ ($F_{розр} < F_{табл}$), то регресійна модель адекватна.

За результатами оброблення даних експерименту отримано рівняння регресії другого порядку, яке описує залежність межі міцності під час статичного згину σ_u від ширини структурних елементів, тобто ширини дубових рейок (радіал) $B_{рад}$ (x_1) і (тангентал) $B_{тан}$ (x_2). Одержана математична модель – рівняння регресії в нормалізованих значеннях змінних факторів має вигляд:

$$U = 27,820 - 2,082x_1 - 4,343x_2 - 0,098x_1^2 + 1,111x_2^2 + 0,015x_1x_2.$$

Запис математичної моделі – рівняння регресії в натуральних значеннях змінних факторів має такий вигляд:

$$\sigma_u = 27,818 - 0,0828B_{рад} - 0,1176B_{тан} - 0,000202B_{рад}^2 + 0,002296B_{тан}^2 + 0,000031B_{рад}B_{тан}.$$

Аналіз моделі засвідчує, що обидва фактори мають негативний лінійний вплив; вплив ширини тангентальних рейок є більш значущим; наявність квадратичних членів свідчить про нелінійність процесу; взаємодія факторів має слабкий позитивний ефект. Модель адекватно описує експериментальні дані та може бути використана для прогнозування міцності за різних параметрів конструкції.

Аналіз експериментальних даних показав, що за використання рейок однакової ширини у конструкції меблевого щита спостерігається чітка закономірність зміни межі міцності при статичному згині. За ширини рейок 22 мм досягнуто максимальні значення міцності ($\sigma_u \approx$

34-35 МПа), що пояснюється рівномірністю структури та високою щільністю клейових швів. Зі збільшенням ширини рейок до 44 мм спостережено зниження міцності до рівня 27-30 МПа. За подальшого збільшення ширини до 66 мм відбувається суттєве зниження міцності – до 22-26 МПа, що у низці випадків наближається до нормативного мінімуму. Отже, збільшення ширини рейок призводить до зменшення кількості клейових з'єднань; нерівномірного розподілу напружень; зростання впливу природних дефектів деревини. Тому використання вузьких рейок є більш ефективним варіантом з погляду забезпечення міцності меблевих щитів.

Комбінування рейок різного типу розпилювання суттєво впливає на механічні характеристики щитів. Встановлено, що конструкції з переважанням радіальних рейок забезпечують вищі значення міцності порівняно з тангентальними. Пояснення полягає в тому, що радіальні рейки мають рівномірнішу структуру та меншу анізотропію; тангентальні рейки характеризуються більшою варіабельністю властивостей і схильністю до деформацій. Поряд з цим, повністю однорідні конструкції (лише один тип розпилювання) не є оптимальними. Найкращих результатів досягнуто за комбінованого укладання, де радіальні рейки виконують несучу функцію, а тангентальні – допоміжну, забезпечуючи структурну збалансованість. Графічну інтерпретацію залежностей зображено на рис. 3, 4. При дослідженні комбінованих схем укладання рейок різної ширини встановлено, що чергування вузьких і ширших елементів дає змогу покращити розподіл напружень у конструкції. Зокрема, включення вузьких рейок у структуру з широкими елементами підвищує загальну однорідність матеріалу; комбіноване укладання зменшує концентрацію напружень; забезпечується часткове компенсування негативного впливу широких рейок.

Однак ефективність такого підходу залежить від правильного співвідношення елементів. Надмірна частка широких рейок (66 мм) призводить до домінування негативного ефекту, навіть за їхнього комбінування з вузькими.

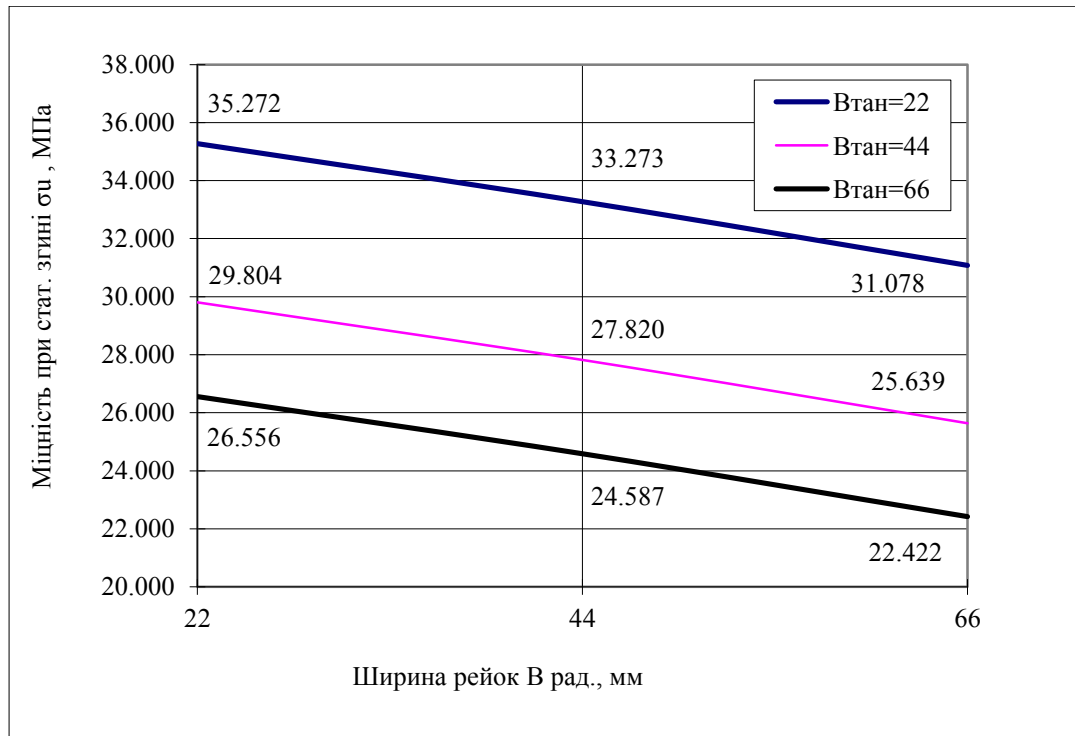


Рис. 3. Залежність межі міцності під час статичного згину σ_u від ширини радіальної рейки $B_{\text{рад.}} (x_1)$ в конструкції МЩ із деревини дуба

Fig. 3. Dependence of the strength limit during static bending σ_u on the width of the radial lamellae $B_{\text{рад.}} (x_1)$ in the designs of a oak furniture panels

Збільшення ширини рейки (радіал) $B_{\text{рад.}} (x_1)$ в конструкції МЩ із деревини дуба не призводить до суттєвого зменшення межі міцності під час статичного згину σ_u . (див. рис. 3). Натомість

тенденція щодо залежності впливу ширини рейки (тангентал) $B_{\text{тан.}} (x_2)$ на зменшення межі міцності під час статичного згину σ_u є суттєвою (див. рис. 4).

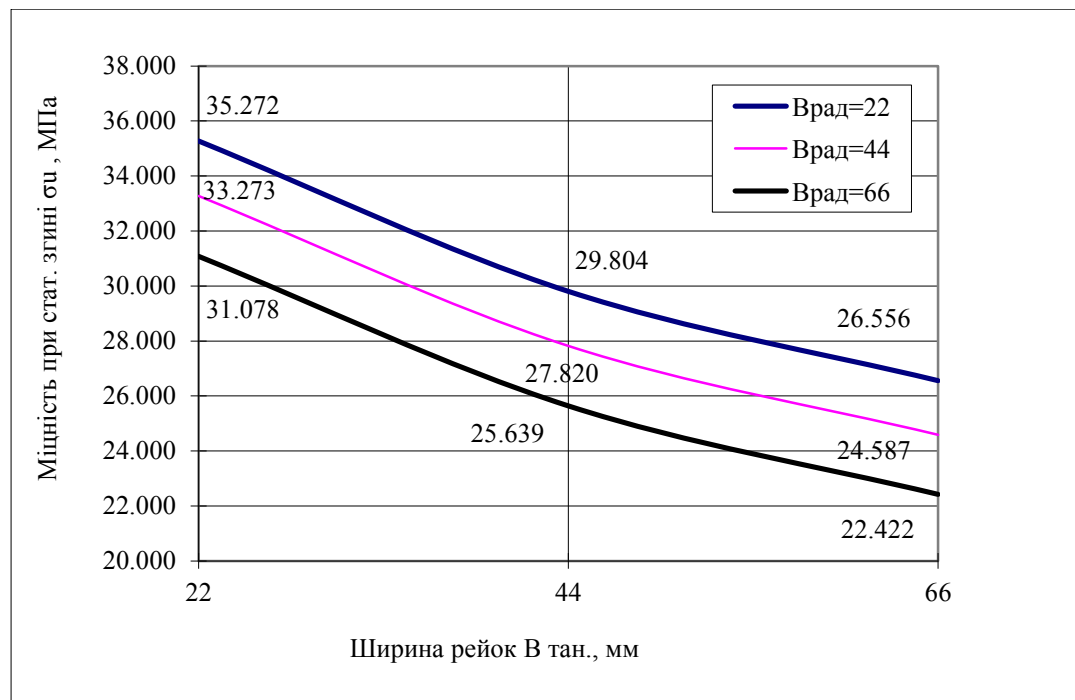


Рис. 4. Залежність межі міцності під час статичного згину σ_u від ширини тангентальної рейки $B_{\text{тан.}} (x_2)$ в конструкції МЩ із деревини дуба

Fig. 4. Dependence of the strength limit during static bending σ_u on the width of the tangential lamellae $B_{\text{тан.}} (x_2)$ in the designs of a oak furniture panels

Згідно з вимогами EN 13353:2019, мінімальне значення межі міцності при статичному згині для МЩ становить 25 МПа. Отримані результати показали, що за ширини 22 мм усі зразки значно перевищують норматив (до +40%); за ширини 44 мм більшість зразків знаходяться у межах міцності 27-31 МПа; за ширини 66 мм частина результатів наближається до граничного значення або незначно перевищує його.

Отже, конструкції з широкими рейками працюють на межі допустимих характеристик, що знижує їхню експлуатаційну надійність. За результатами експерименту здійснено оптимізацію ширини рейок за допомогою градієнтного методу. Встановлено, що максимальне значення межі міцності під час статичного згину $\sigma_u = 35,272$ МПа, взате за абсолютною величиною, можна отримати, зафіксувавши розмірні параметри ширини рейок МЩ із деревини дуба комбінованого укладання: (радіал) $B_{\text{рад}}(x_1) = 22$ мм; (тангентал) $B_{\text{тан}}(x_2) = 22$ мм (рис. 5).

Графічний аналіз залежностей показав, що за збільшення ширини рейок спостерігається лінійне зниження міцності; для тангентальних рейок характерне більш круте «падіння» кривих; поверхня відгуку має нахил у напрямку збільшення обох факторів, що підтверджує їхній негативний вплив; зона максимуму розташована за мінімальних значень ширини рейок. Отже, графічні залежності повністю підтверджують результати математичного моделювання.

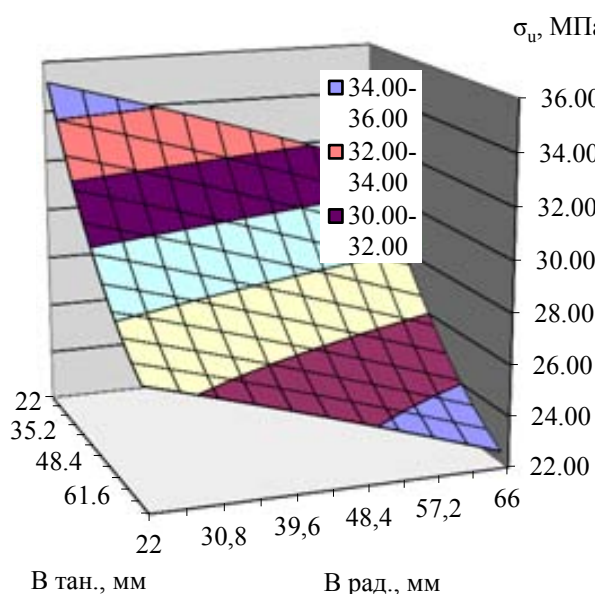


Рис. 5. Графічна залежність $\sigma_u = f(B_{\text{рад}}(x_1), B_{\text{тан}}(x_2))$
Fig. 5. Graphical dependence $\sigma_u = f(B_{\text{рад}}(x_1), B_{\text{тан}}(x_2))$

Здійснений аналіз дає підставу сформулювати такі узагальнення: геометричні

параметри рейок є визначальним фактором формування міцності МЩ; зменшення ширини рейок забезпечує підвищення межі міцності при статичному згині; ширина тангентальних рейок має суттєвіший вплив, ніж радіальних; комбінування рейок різного типу розпилювання дає змогу оптимізувати характеристики конструкції; використання широких рейок (66 мм) є технологічно та конструктивно неефективним. Отримана регресійна модель дозволяє прогнозувати міцність і визначати оптимальні параметри конструкції.

Таким чином, результати дослідження підтверджують необхідність комплексного підходу до формування структури МЩ з урахуванням ширини рейок, типу розпилювання та їхнього поєднання.

Дискусія (Discussion).

Отримані експериментальні результати підтверджують фундаментальні положення механіки деревини та клеєних конструкцій щодо визначального впливу геометричних параметрів елементів на їхні фізико-механічні характеристики. Встановлена тенденція до зниження межі міцності при статичному згині зі збільшенням ширини рейок узгоджується з результатами досліджень Čunderlík (2017), Krč & Hrázský (2021), які вказують на зростання концентрації напружень у широких ламелях. Також підтверджено положення, наведені у працях Falk et al. (2013), Risse (2020) про те, що геометрична структура клеєного матеріалу є ключовим фактором, який визначає його експлуатаційні характеристики поряд із властивостями самої деревини.

Отримані результати показали, що зменшення ширини рейок до 22 мм забезпечує максимальні значення міцності, що повністю узгоджується з висновками Čunderlík (2017), Гайда та Медвідь (2023), де встановлено, що вузькі ламелі сприяють підвищенню однорідності матеріалу. Зниження міцності за виконання рейок шириною 66 мм підтверджує результати Krč & Hrázský (2021), які вказують на те, що широкі елементи спричиняють локалізацію напружень і зменшення ефективності роботи матеріалу при згині.

Таким чином, експериментальні дані повністю підтверджують відомі наукові положення щодо негативного впливу збільшення ширини ламелей.

Встановлено, що тангентальні рейки мають більш негативний вплив на міцність, ніж радіальні, що узгоджується з дослідженнями Lee & Kim (2021) та Krzosek (2022), які відзначають підвищену анізотропію тангентального розпилювання. Поряд з цим, отриманий ефект оптимізації

за комбінованого укладання рейок підтверджує результати Zajac (2023), де показано, що комбінування елементів різної структури дає змогу досягти більш збалансованого напружено-деформованого стану. Отже, результати дослідження доповнюють існуючі наукові дані, конкретизуючи їх для випадку МЩ із дуба звичайного.

Отримані результати щодо позитивного ефекту комбінування рейок різної ширини узгоджуються з висновками Krzosek (2022), Lee & Kim (2021), які встановили, що чергування елементів дозволяє зменшити концентрацію напружень. Поряд з цим, результати здійсненого дослідження уточнюють ці положення, показуючи, що ефект комбінування має обмеження і не компенсує негативного впливу надмірної ширини рейок (66 мм). Цей аспект є важливим уточненням до існуючих наукових підходів, оскільки у низці робіт ефект комбінування оцінюють без урахування критичних значень геометричних параметрів.

Отримані значення межі міцності при статичному згині в більшості випадків перевищують нормативні вимоги EN 13353:2019, що підтверджує правильність обраної методики дослідження. Водночас результати показали, що у випадку використання широких рейок значення σ_u наближаються до нормативного мінімуму, що узгоджується з висновками Dudkarska (2020), Гайда та Кійко (2021) про високу чутливість цього показника до структурних змін матеріалу.

Таким чином, результати дослідження підтверджують доцільність використання показника межі міцності при згині як критерію оцінювання якості меблевих щитів.

Отримана математична модель показала, що обидва фактори мають негативний лінійний вплив; фактор ширини тангентальних рейок є більш значущим; присутня нелінійність процесу (квадратичні члени). Ці результати узгоджуються з роботами Čunderlík (2017), Krč & Hrázský (2021), в яких встановлено складний характер залежності міцності від геометричних параметрів.

Отримана модель має практичну цінність, оскільки враховує одночасно два фактори; дає змогу прогнозувати міцність; може бути використана для оптимізації конструкцій. З технологічного погляду результати дослідження підтверджують висновки European Commission (2015) та Blomsma & Brennan (2017) щодо необхідності оптимізації використання деревинних ресурсів. Встановлено, що використання вузьких рейок підвищує міцність без збільшення матеріаломісткості; комбінування рейок дозволяє ефективніше використовувати

сировину; можливе використання вторинної деревини за умови контролю геометрії елементів. Отже, результати мають безпосереднє прикладне значення для меблевого виробництва.

Достовірність отриманих результатів підтверджується використанням стандартизованих методик випробувань (EN 310, EN 205), застосуванням дисперсійного аналізу, перевіркою адекватності моделі за критерієм Фішера, достатньою кількістю повторів експерименту. Отримані результати узгоджуються з даними інших дослідників (Falk et al., (2013); Krzosek, 2022; Risse, 2020), що підтверджує їхню надійність.

Проведене дослідження розширило існуючі наукові уявлення щодо формування міцності меблевих щитів. Зокрема, встановлено домінуючий вплив ширини тангентальних рейок, підтверджено ефективність використання вузьких елементів, уточнено роль комбінованих структур. Як результат отримано математичну модель, придатну для інженерного застосування.

Перспективи подальших досліджень полягають у тому, що отримані результати відкривають декілька чітких напрямів для поглиблення досліджень і переходу від лабораторної моделі до інженерного проєктування МЩ, зокрема: 1) розширення факторного простору моделі шляхом включення додаткових змінних: товщини рейок (h), співвідношення B/h , частки радіальних / тангентальних елементів, модуля пружності (E) і щільності (ρ) окремих рейок, що дає можливість перейти від двофакторної до багатофакторної моделі та підвищити точність прогнозування σ_u ; 2) оптимізація схем укладання за варіантами: симетричне / несиметричне укладання; чергування вузьких і широких рейок; градієнтні структури (зміна ширини / типу розпилювання за товщиною / шириною щита) з метою формування конфігурації, що мінімізують концентрації напружень при згині; 3) масштабування на деревину інших порід шляхом перевірки встановлених закономірностей для бука, ясеня та хвойних. Порівняльний аналіз дозволить сформувати універсальні рекомендації або поправочні коефіцієнти для різних порід. Сукупна реалізація цих напрямів дасть змогу перейти від встановлених емпіричних залежностей до повноцінної інженерної методики проєктування МЩ із прогнозованими характеристиками та гарантованою надійністю.

Висновки (Conclusions).

1. Доведено домінуючий вплив ширини тангентальних рейок, оскільки вплив фактора $B_{\text{тан}}$ є на 30-40% сильнішим, ніж $B_{\text{рад}}$, що підтверджується більшим за модулем коефіцієнтом регресії (-0,1176 проти -0,0828).

2. Отримано закономірність зниження міцності зі збільшенням ширини рейок, зокрема: при $B = 22$ мм $\sigma_u \approx 34\text{--}35$ МПа; при $B = 44$ мм $\sigma_u \approx 27\text{--}30$ МПа; при $B = 66$ мм $\sigma_u \approx 22\text{--}26$ МПа. Загальне зниження міцності становить до 35%.

3. Підтверджено нелінійний характер впливу факторів, оскільки наявність квадратичних членів показує, що для радіальних рейок спостерігається прогресуюче зниження міцності, а для тангентальних – наявний частковий оптимум у середньому діапазоні значень.

4. Обґрунтовано ефективність комбінованого укладання рейок, оскільки найвищі значення міцності досягаються за переважання радіальних рейок та обмеженому використанні тангентальних, а також за поєднання рейок різної ширини, що забезпечує рівномірний розподіл напружень.

5. Отримано практично значущі результати, оскільки впровадження встановлених параметрів забезпечить підвищення міцності МЩ на 15–25%, зменшить ризик руйнування та деформацій, оптимізує використання деревинної сировини без збільшення матеріаломісткості.

6. Міцність МЩ із деревини дуба звичайного визначається насамперед шириною тангентальних рейок та їх співвідношенням із радіальними елементами, а оптимізація поперечних перерізів дає змогу цілеспрямовано формувати конструкцію з прогнозованими фізико-механічними характеристиками.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Barbu, M. C. (2022). Circular wood materials and the reuse potential of solid timber. *European Journal of Wood Products*, 80(3), 499–510. <https://doi.org/10.1007/s00107-022-01775-8>
- Bezama, A. (2016). Let us discuss how cascading can help implement the circular economy and the bio-economy strategies. *Waste Management & Research*, 34(7), 593–594. <https://doi.org/10.1177/0734242X16657973>
- Blomsma, F., & Brennan, G. (2017). The emergence of circular economy: a new framing around prolonging resource productivity. *Journal of Industrial Ecology*, 21, 603–614. <https://doi.org/10.1111/jiec.12603>
- Circularity Gap Report (2022). Five years of analysis by Circle Economy https://circulareconomy.europa.eu/platform/sites/default/files/1_report_cgr_global_2022
- CircHive (2022). *Developing & piloting biodiversity footprinting & natural capital accounting via a “beehive” of sectoral hubs, for sustainable transition to a circular EU bioeconomy* [Project]. Project duration: December 1, 2022–November 30, 2027.
- Čunderlík, I. (2017). Effect of slat width on the bending stiffness of glued panels. *Acta Facultatis Technicae*, 22(1), 45–52. <https://doi.org/10.5555/acta-2017-22-1-45>
- DIN Deutsches Institut für Normung. (2016). *DIN 68705-2:2016-03. Plywood – Part 2: Blockboard and laminboard for general use* (Sperrholz – Teil 2: Stab- und Stäbchensperrholz für allgemeine Zwecke). Berlin: Beuth Verlag
- Dukarska, D. (2020). Mechanical consistency of recycled wood-based composites. *BioResources*, 15(2), 2504–2520. <https://doi.org/10.15376/biores.15.2.2504-2520>
- European Commission (2015). *Closing the loop: An action plan for the circular economy* [Communication from the Commission to the European Parliament, the Council, the European Economic and Social Committee and the Committee of the Regions]. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- European Committee for Standardization (2013). *Wood-based panels—Determination of modulus of elasticity in bending and bending strength* (EN 310:2013). Brussels: CEN.
- European Committee for Standardization (2016). *Classification of thermoplastic wood adhesives for non-structural applications* (EN 204:2016). Brussels: CEN.
- European Committee for Standardization (2016a). *Plywood – Specifications – Part 2: Requirements for plywood for use in humid conditions* (EN 636-2:2016). Brussels: CEN.
- European Committee for Standardization (2019). *Solid wood panels (SWP) for internal use – Requirements* (EN 13353:2019). Brussels: CEN.
- Falk, R. H., Cramer, S., & Evans, J. (2013). Framing lumber from building removal: How do we best utilize this untapped structural resource? *Forest Products Journal*, 62(7-8), 492–499. <https://doi.org/10.13073/0015-7473-62.7.492>
- Gayda, S. V. (2023). Determination of the circularity indicator in the forest sector according to the principles of the circular economy. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 99–114. <https://doi.org/10.36930/42234908>
- [Гайда, С. В. (2023). Визначення показника циркулярності в лісовому секторі за принципами циркулярної економіки. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 99–114] (in Ukrainian)

- Gayda, S. V., & Kiyko, O. A. (2021). Properties of used wood as a determining factor in the quality of furniture products. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 23, 152–162. <https://doi.org/10.15421/412135> [Гайда, С. В., Кійко О. А. (2021). Властивості ВЖД як важливий чинник якості конструкційних матеріалів. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 23, 152–162] (in Ukrainian)
- Gayda, S. V., & Medvid, L. V. (2024). Construction of the mathematical model of the strength of post-consumer wood made blockboard of different designs. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 27, 189–198. <https://doi.org/10.15421/412426> [Гайда, С. В., Медвідь, Л. В. (2024). Побудова математичної моделі міцності столярних плит різних конструкцій із ВЖД. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 27, 189–198] (in Ukrainian)
- Krč, J., & Hrázský, J. (2021). Mechanical properties of reclaimed pine timber. *Construction and Building Materials*, 294, 123–143. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123143>
- Krzosek, S. (2022). Hybrid solid wood panels with mixed wood species. *Wood Structure*, 5(2), 145–153. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.1030>
- Lagaña, R., & Lanvin, M. (2018). Hybrid particle–solid wood panels: structure and strength. *Forest Products Journal*, 68(2), 115–123. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-17-00047>
- Lee, S. H., & Kim, H. (2021). Density-sorting method for reclaimed timber optimization. *Journal of Wood Science*, 67(3), 199–208. <https://doi.org/10.1186/s10086-021-01964-7>
- Lesiv, L. E. (2020). Study of the characteristics of combined of blockboards made of post-consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 48, 69–86. <https://doi.org/10.36930/42224806> [Лесів, Л. Е. (2022). Дослідження характеристик комбінованих столярних плит із ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 48, 69–86] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E. (2025). Theoretical substitution of the patterns of the influence of components from post-consumer wood on the physical and mechanical characteristics of combined blockboards. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 80–93. <https://doi.org/10.36930/42255106> [Лесів, Л. Е. (2025). Теоретичне обґрунтування закономірностей впливу складових елементів із вживаної деревини на фізико-механічні характеристики комбінованих столярних плит. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 51, 80–93] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E., & Gayda, S. V. (2023). Mathematical model of forecasting volumes of post-consumer wood production. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 33–47. <https://doi.org/10.36930/42234903> [Лесів, Л. Е., Гайда, С. В. (2023). Математична модель прогнозування обсягів утворення ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 33–47] (in Ukrainian)
- Lesiv, L. E., Gayda, S. V., & Salapak, L. V. (2024). Development of a mathematical model of the strength of joined preparations from post-consumer fir wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 50, 16–28. <https://doi.org/10.36930/42245002> [Лесів, Л. Е., Гайда, С. В., Салапак, Л. В. (2024). Розроблення математичної моделі міцності зрощених заготовок із ВЖД ялиці. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 50, 16–28] (in Ukrainian)
- Lutsenko, A. O. (2025). Formulation of a mathematical model of adaptive furniture design within the IMOS CAD Environment. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 51, 135–150. <https://doi.org/10.36930/42255110> [Луценко, А. О. (2025). Побудова математичної моделі адаптивного проектування меблів у середовищі IMOS. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 51, 135–150] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2018). Systematization of wood waste – the basis of their effective use. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 44, 91–104. <https://doi.org/10.36930/42184412> [Медвідь, Л. В. (2018). Систематизація деревинних відходів – основа їх ефективного використання. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 44, 91–104] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2021). Post-consumer wood – an additional reserve of raw materials for construction materials. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 47, 34–46. <https://doi.org/10.36930/42214706> [Медвідь, Л. В. (2021). ВЖД – додатковий резерв сировини для конструкційних матеріалів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 47, 34–46] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V. (2023). Determination of the strength indicators of normal blockboard made of post-

- consumer wood. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 49, 85–98. <https://doi.org/10.36930/42234907> [Медвідь, Л. В. (2023). Визначення показників міцності звичайних столярних плит із ВЖД. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 49, 85–98] (in Ukrainian)
- Medvid, L. V., & Gayda, S. V. (2025). Establishing the dependence of the surface-cleaning depth of post-consumer wood blanks on the operating parameters of a needle-milling machine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(6), 25–32. <https://doi.org/10.36930/40350603> [Медвідь, Л. В., Гайда, С. В. (2025). Встановлення залежності глибини поверхневого очищення заготовок із вживаної деревини від режимів роботи голкофрезерного верстату. *Науковий вісник НЛТУ України*, 35(6), 25–32] (in Ukrainian)
- Murray, A., Skene, K., & Haynes, K. (2017). The circular economy: an interdisciplinary exploration of the concept and application in a global context. *Journal of Business Ethics*, 140(3), 369–380. <https://doi.org/10.1007/s10551-015-2693-2>
- Podibka, T. I., & Kiyko, O. A. (2019). A study of the influence of the transverse dimensions of beech of strips on the form of stability of furniture board. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 45, 155–171. <https://doi.org/10.36930/42194521> [Подібка, Т. І., Кійко, О. А. (2019). Дослідження впливу поперечних розмірів букових рейок на формостійкість меблевих щитів. *Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість*, 45, 155–171] (in Ukrainian)
- Ratajczak, E., & Szostak, A. (2003). Wood waste resources in Poland. *Czysta Energia*, 6, 122–125. https://www.drewno.pl/artykuly/1399_zasoby-odpadow-drzewnych-w-polsce.html
- [Ratajczak, E., Szostak, A. (2003). Zasoby odpadów drzewnych w Polsce. *Czysta Energia*, 6, 122–125] (in Polish)
- Reike, D., Vermeulen Walter, J. V., & Witjes, S. (2018). The circular economy: New or Refurbished as CE 3.0? – Exploring Controversies in the Conceptualization of the Circular Economy through a Focus on History and Resource Value Retention Options. *Resources, Conservation and Recycling*, 135, 246–264. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2017.08.027>
- Risse, M. (2020). Reuse of wood elements in composite panels. *Wood Research*, 65(4), 581–592. <https://www.woodresearch.sk>
- Suominen, T., Kunttu, J., Jasinevičius, G., Tuomasjukka, D., & Lindner, M. (2017). Trade-offs in sustainability impacts of introducing cascade use of wood. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 32(7), 588–597. <https://doi.org/10.1080/02827581.2017.1342859>
- Titus, B. D., Brown, K., Helmisaari, H.-S., Vangelova, E., Stupak, I., Evans, A., ... Reece, P. (2021). Sustainable forest biomass: a review of current residue harvesting guidelines. *Energy, Sustainability and Society*, 11(10). <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00281-w>
- Tuomasjukka, D., Athanassiadis, D. & Vis, M. (2017). Threefold sustainability impact assessment method comparison for renewable energy value chains. *International Journal of Forest Engineering*, 28(2), 116–122. <https://doi.org/10.1080/14942119.2017.1318549>
- Werner, F., Taverna, R., Hofer, P., Thürig, E., & Kaufmann, E. (2010). National and global greenhouse gas dynamics of different forest management and wood use scenarios: a model-based assessment. *Environmental Science & Policy*, 13(1), 72–85. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2009.10.004>
- Zajac, G. (2023). Combined wooden boards with recycled layers. *Wood Engineering*, 7(1), 22–33. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0016.0123>

The influence of cross-sections of lamellae on the strength characteristics of furniture panels made from oak wood

S. Gayda¹, V. Kyianka²

The paper presents the results of an experimental study on the influence of the geometric parameters of lamellae and their structural combination on the mechanical properties of furniture panels made from pedunculate oak (*Quercus robur* L.) wood. The modulus of rupture in static bending was adopted as the main evaluation criterion, serving as an integral indicator characterizing the performance of the structure under operational loading conditions. The study was carried out using methods of mathematical experimental design and regression analysis, taking into account two variable factors, namely the width of radial and tangential lamellae.

An increase in lamella width within the range from 22 to 66 mm resulted in a decrease in the bending strength of furniture panels by up to 35%, which is attributed to the non-uniform stress distribution and the reduced number of adhesive joints. It was established that the width of tangential lamellae exerts a more pronounced negative effect on strength compared to radial lamellae, owing to the higher anisotropy of wood under tangential sawing. The quantitative influence of the geometric parameters of lamellae on the bending strength of furniture panels under static loading was determined. A regression model expressed in natural variables was obtained, adequately describing the variation in the modulus of rupture of furniture panels under static bending as a function of the width of radial and tangential lamellae.

This makes it possible to predict the bending strength values depending on the structural parameters of the panel. The combined arrangement of lamellae of different sawing patterns and widths makes it possible to partially compensate for the negative influence of individual factors and to ensure a more uniform

stress-strain state of the structure. The highest strength values (up to 35 MPa) were achieved when narrow lamellae (22–30 mm) with a predominance of radial sawing were used. At the same time, structures composed of wide lamellae (66 mm) operated near the limit of prescribed standard requirements, which reduces their operational reliability.

The scientific novelty of the study lies in identifying the patterns of how the cross-sectional dimensions of lamellae (width and thickness), the type of sawing pattern (radial and tangential), and the method of their arrangement within the furniture panel structure affect the strength limit under static bending. For the first time, a comprehensive analysis of the combined effect of these factors was carried out using methods of mathematical design of experiments and regression analysis. Such an approach makes it possible to obtain empirical relationships and to determine the optimal parameters for the fabrication of furniture panels.

The practical significance of the study lies in the possibility of applying the established relationship to optimize the manufacturing technology of furniture panels made from *Quercus robur* wood. The obtained results make it possible to increase the strength of products by 15–25% without increasing material consumption, to ensure the stability of geometric parameters, and to reduce the probability of defects during service life. The recommendations formulated on the basis of the study findings may be implemented in the production practice of furniture manufacturing enterprises and may also be used in the development of regulatory and technological documentation.

Key words: glued wooden structures; stress-strain state; wood anisotropy; adhesive joints; factorial experiment; regression model; parameter optimization; structural heterogeneity.

¹ Serhiy Gayda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Engineering Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: serhiy.hayda@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7468-5661>

² Volodymyr Kyianka – PhD Student at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: 25kyianka.v@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-0572-8431>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412617>
Article received 2025.12.03
Article revised 2026.03.30
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Bekhta
bekhta@ukr.net
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674-419.32

Механічні властивості стружкових плит із частковою та повною заміною деревини жомом цукрових буряків

В.В. Гаманчук¹, П.А. Бехта², В.О. Маєвський³, Т. Піпішка⁴, Й. Рагель⁵, Я. Гофман⁶

Зростання попиту на деревину та підвищення її вартості загострює конкуренцію за сировину, що ускладнює сталий розвиток деревообробної промисловості. Ситуація, що склалася, стимулює пошук альтернативних джерел сировини для часткової або повної заміни деревини у виробництві деревинних композиційних матеріалів. Використання агровідходів дає змогу зменшити залежність від деревини, скоротити виробничі витрати та знизити негативний вплив на довкілля, одночасно створюючи додаткову економічну цінність із відходів сільськогосподарського виробництва. Мета роботи полягає у з'ясуванні впливу часткової чи повної заміни деревної стружки жомом цукрових буряків (ЖЦБ) на механічні властивості стружкових плит. Виготовляли одношарові плити з номінальною щільністю 600 та 750 кг/м³ з різними об'ємними співвідношеннями деревини та ЖЦБ: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75 та 0:100%. Для склеювання частинок застосовували полімерний дифенілметандіізоціанатний (pMDI) клей. Досліджували профіль щільності, міцність під час вигину (MOR), модуль пружності (MOE) та міцність під час розтягу перпендикулярно до площини плити (міцність склеювання) (IB).

¹ Гаманчук Володимир Вікторович – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: 24hamanchuk.v@nltu.lviv.ua ORCID <http://orcid.org/0009-0004-9413-9990>

² Бехта Павло Антонович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, професор кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

³ Маєвський Володимир Олександрович – доктор технічних наук, професор, директор навчально-наукового інституту деревообробних технологій і дизайну, професор кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: volodymyr_mayevskyy@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5820-9454>

⁴ Томаш Піпішка – доктор філософії, науковий працівник кафедри науки про деревину і деревообробних технологій. Університет Менделя в Брно, Zemědělská 1, Брно, 613 00, Чехія. E-mail: tomas.pipiska@mendelu.cz ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8096-4376>

⁵ Йозеф Рагель – доктор природничих наук, доцент кафедри науки про деревину і деревообробних технологій. Університет Менделя в Брно, Zemědělská 1, Брно, 613 00, Чехія. E-mail: jozef.rahel@mendelu.cz ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2850-8039>

⁶ Якуб Гофман – інженер кафедри науки про деревину і деревообробних технологій. Університет Менделя в Брно, Zemědělská 1, Брно, 613 00, Чехія. E-mail: jakub.hofman@centrum.cz

Одношарові плити характеризуються рівномірним профілем щільності без підвищення у поверхневих шарах, що, ймовірно, зумовлено меншою часткою та розміром частинок ЖЦБ. Зі збільшенням вмісту ЖЦБ спостережено зниження показників MOR і MOE. Водночас плити зі 100% ЖЦБ демонструють високу міцність склеювання, що пояснюється доброю адгезією між частинками деревини і ЖЦБ, зокрема завдяки використанню клею рMDI та наявності пектинів і цукрів у ЖЦБ. Показники міцності склеювання (IB) для плит із вмістом ЖЦБ 25–100% відповідають вимогам стандарту EN 312 для типів P1–P5.

За результатами дослідження, часткова або повна заміна деревини на ЖЦБ є ефективним способом підвищення екологічної сталості виробництва стружкових плит, зменшення використання лісових ресурсів та збереження або покращення основних механічних властивостей матеріалу.

Ключові слова: альтернативна сировина; деревинні композиційні матеріали; агровідходи; міцність під час вигину; модуль пружності; міцність склеювання; рMDI клей.

Вступ (Introduction).

Серед деревинних композиційних матеріалів стружкова плита (СП) залишається однією із найпоширеніших у світі та широко застосовується у меблевій, будівельній, транспортній і пакувальній промисловості. За даними FAO, світове виробництво СП у 2024 р. становило 116,6 млн м³, або 29,9% від загального обсягу деревинних композитів (FAOSTAT, 2024a), з переважною часткою в Азії (50,9%), далі – в Європі (37,7%), Америці (9,4%), Африці (1,0%) та Океанії (1,0%). В Україні виробництво СП перевищило 2,6 млн м³, що становить 2,2% світового та 5,9% європейського обсягу.

Основними компонентами стружкових плит є деревинна стружка і клей. Близько 95% використовуваних клеїв містять формальдегід (Dunky, 2003). Найпоширенішими є карбамідоформальдегідні (UF), меламіноформальдегідні (MF) та фенол-формальдегідні (PF) смоли (Dunky, 2003). UF смоли, річне світове споживання яких оцінюється приблизно у 11 млн т, домінують (≈ 85%) завдяки хімічній універсальності, високій реакційній здатності, водорозчинності, низькій температурі та короткому часу пресування, безбарвному шву та відносно низькій вартості.

Вміст деревини у СП становить близько 90%, тому властивості плит значною мірою залежать від типу сировини, що впливає на експлуатаційні характеристики, технологічний процес та собівартість продукції. Матеріальні витрати (клей і стружка) складають основну частку виробничих витрат – 40-60%, в яких вміст клею становить 15-30, стружки – 30-40% (Solt et al., 2019). Серед інших витрат – енергія (15-20%), заробітна плата (5-20%) та операційні витрати (25-30%). Деревинна стружка є другим за вартістю компонентом після клею, її частка у загальних витратах становить близько 20% (Klimek & Wimmer, 2017). При цьому вартість сільськогосподарської біомаси приблизно на 50% нижча ніж деревинної тріски (Klimek & Wimmer, 2017), що

робить її перспективним ресурсом для зниження виробничих витрат.

Серед різноманітних видів агросировини в Україні важливе місце посідає цукровий буряк. У 2023 р. світове виробництво цукрових буряків становило близько 282 млн т, з яких Європа забезпечила 188,5 млн т (≈ 67%), а Україна – 13,1 млн т (≈ 4,7% світового та ≈ 7% європейського виробництва) (FAOSTAT, 2024b). Під час переробки буряка отримують цукор, мелясу, буряковий жом та фільтраційний осад. Буряковий жом (ЖЦБ), який становить 80-83% від маси переробленої сировини, є основним побічним продуктом і створює виробничі та екологічні проблеми, але водночас володіє потенціалом як недеревинна сировина для виробництва стружкових плит.

ЖЦБ багатий на клітковину, його широко використовують у виробництві паперу, синтезі карбоксиметилцелюлози, для отримання целюлозних мікрофібрил та як волокнистий компонент у біорозкладних композитах (Dinand et al., 1999; Finkenstadt et al., 2007; Fišerová et al., 2007; Leitner et al., 2007; Li et al., 2012; Marzo-Gago et al., 2023; Schirp et al., 2024). За результатами досліджень, включення ЖЦБ до полімолочної кислоти (PLA) підвищує механічні властивості та прискорює біодеградацію композитів (Li et al., 2012; Schirp et al., 2024). Використання ЖЦБ для виробництва СП досліджено обмежено: лише в декількох роботах оцінено можливість його застосування (Auriga et al., 2023; Borysiuk et al., 2019; Pinkl et al., 2020; Гаманчук та ін., 2025). У дослідженнях (Auriga et al., 2023; Borysiuk et al., 2019; Pinkl et al., 2020) застосовували UF-смоли, а додавання ЖЦБ підвищувало водопоглинання та набрякання плит. На відміну від попередніх досліджень, у нашому дослідженні (Гаманчук та ін., 2025) для склеювання частинок ЖЦБ з деревинними застосовано полімерний метилендіізоціанатний (рMDI) клей, що дало змогу, навіть за високого вмісту ЖЦБ, значно знизити набрякання плит.

Мета роботи полягає у з'ясуванні впливу часткової або повної заміни деревинної стружки жомом цукрових буряків на механічні властивості стружкових плит з використанням pMDI клею.

Матеріали і методи дослідження (Materials and methods).

Об'єкт дослідження – процес виготовлення стружкових плит із використанням жому цукрових буряків (ЖЦБ). *Предмет дослідження* – механічні властивості стружкових плит, виготовлених із застосуванням ЖЦБ.

Для виготовлення одношарових плит використовували буряковий жом (ЖЦБ) з вологістю $3,11 \pm 0,26\%$ та промислові деревинні частинки (ялина) з вологістю $3,64 \pm 0,13\%$. У дослідках застосо-

ували полімерну дифеніл-метандіізоціанатну (pMDI) смолу (ONGRONAT® WO 2750; Borsod Chem Zrt., Угорщина) з вмістом твердих речовин 100% та в'язкістю 170-230 мПа·с, а також водну емульсію парафінового воску (SVH-60) з вмістом твердих речовин $60 \pm 2\%$ та в'язкістю ~ 24 мПа·с.

Виготовляли одношарові плити розміром $600 \times 600 \times 12$ мм із середньою щільністю 600 та 750 кг/м³. Сировину змішували у співвідношеннях ЖЦБ / деревина: 100:0, 50:50, 0:100, 25:75 та 75:25, усього виготовлено шість варіантів плит – по три плити кожного варіанту (табл. 1). Зразки Е та F складені цілком із ЖЦБ різної щільності (600 та 750 кг/м³), а зразок А – лише з деревини (контрольний).

Таблиця 1. Варіанти виготовлених плит
Table 1. Variants of manufactured boards

Варіант	Щільність плит (кг/м ³)	Співвідношення ЖЦБ : деревина
А	600	0 : 100
В	600	25 : 75
С	600	50 : 50
Д	600	75 : 25
Е	600	100 : 0
F	750	100 : 0

Змішування і нанесення клею виконували в лабораторному барабанному змішувачі з подачею смоли та емульсії парафінового воску через розпилювальні сопла. Килим із частинок формували у лабораторній формі з ламінованої стружкової плити, пресування здійснювали на пресі Strozatech HL 400 Mendel під тиском 3,5 МПа і температурою 180°C (30 с – закривання, 240 с – у робочій позиції, 80 с – для випуску повітря з поступовим зниженням тиску). Після пресування плити витримували у контрольованому середовищі (20°C за відносної вологості 65%) впродовж 14 днів для затвердіння клею та вирівнювання вологості з навколишнім середовищем.

Профілі щільності вимірювали на трьох зразках із кожної панелі ($50 \times 50 \times 12$ мм). Профілі отримували з інтервалом 0,01 мм за товщиною за допомогою рентгенівського аналізатора DPX300-LTE (IMAL, Італія), після чого розраховували середній профіль щільності.

Для плит досліджували модуль пружності (МОЕ), міцність під час вигину (MOR) та міцність на розтяг перпендикулярно до площини плити – внутрішню міцність склеювання (ІВ). МОЕ та MOR визначали відповідно до ДСТУ EN 310 (1993) на п'яти зразках (290×50 мм) із кожної плити. Міцність ІВ визначали згідно з ДСТУ EN 319 (1993) на 15 зразках розміром 50×50 мм. Випробування проводили на універсальній випробувальній машині Zwick® Z050 із програм-

ним забезпеченням testXpert v11.02 та датчиком навантаження 50 кН (Zwick GmbH & Co. KG, Ульм, Німеччина) (рис. 1).

МОЕ (в МПа) кожного випробуваного зразка розраховували за формулою:

$$MOE = \frac{l_1^3 \cdot (F_2 - F_1)}{4b \cdot t^3 \cdot (a_2 - a_1)}, \quad (1)$$

де l_1 – відстань між центрами опор (мм); b – ширина випробуваного зразка (мм); t – товщина випробуваного зразка (мм); $F_2 - F_1$ – приріст навантаження на прямолінійній ділянці кривої навантаження-прогин (N) (F_1 становить приблизно 10%, а F_2 – приблизно 40% від максимального навантаження); та $a_2 - a_1$ – приріст прогину всередині випробуваного зразка (відповідає $F_2 - F_1$).

MOR (в МПа) кожного випробуваного зразка розраховували за формулою:

$$MOR = \frac{3F_{max} \cdot l_1}{2b \cdot t^2}, \quad (2)$$

де F_{max} – максимальне навантаження (Н); l_1 – відстань між центрами опор (мм); b – ширина випробуваного зразка (мм); t – товщина випробуваного зразка (мм).

Міцність на розтяг (в МПа) перпендикулярно до площини плити кожного випробуваного зразка розраховано за формулою:

$$IB = \frac{F_{max}}{a \cdot b}, \quad (3)$$

де F_{max} – розривне навантаження (Н); a та b – довжина і ширина випробуваного зразка (мм).

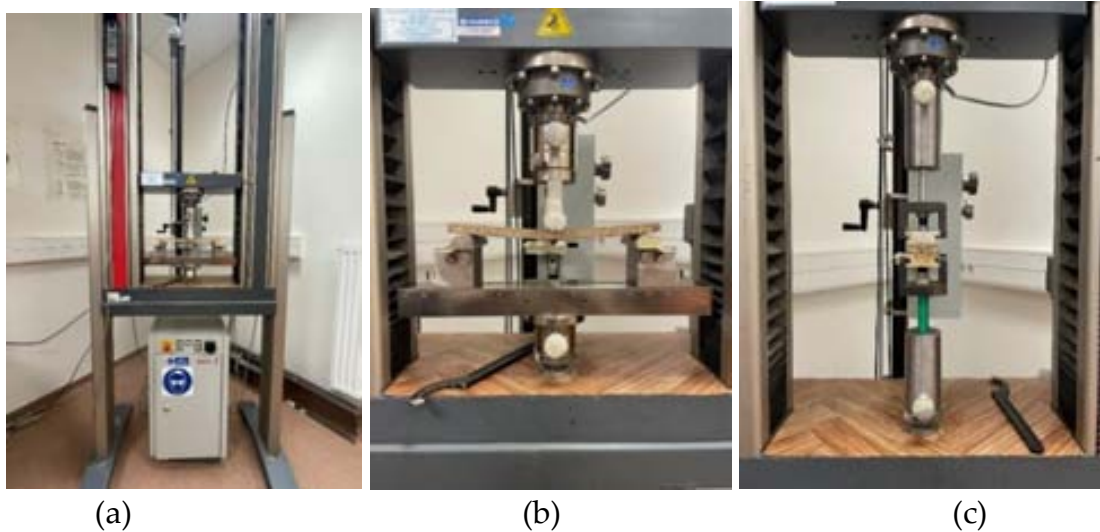


Рис. 1. Випробувальна машина Zwick Z 050 (а), випробування на міцність під час вигину (b) та випробування на міцність склеювання (с)

Fig. 1. Zwick Z 050 testing machine (a), bending strength test (b) and internal bond strength test (c)

Статистичні розрахунки проводили за допомогою MS Excel, а дисперсійний аналіз (ANOVA), доповнений тестом значущості Tukey's (HSD-тест), здійснювали за допомогою програмного забезпечення Statistica 14 (StatSoft Inc., США).

Результати (Results).

Вертикальні профілі щільності продемонстрували надзвичайно рівномірний розподіл щільності по всьому поперечному перерізу для всіх варіантів плит (рис. 2). Одношарові плити характеризувалися плоским профілем щільності з близькими значеннями по всій товщині та без підвищення щільності у поверхневих шарах. Суттєвих коливань щільності за товщиною плит не зафіксовано. Такий рівномірний профіль, ймовірно, зумовлений меншою часткою деревинних частинок і обмеженою варіабельністю розмірів частинок ЖЦБ. Відповідно, відсутня потреба в

концентрації дрібніших частинок у поверхневих шарах, що зазвичай призводить до їх ущільнення та підвищення щільності. Для формування підвищеної щільності у поверхневих шарах дрібні частинки необхідно цілеспрямовано вводити в ці шари на етапі формування килима або додатково подрібнювати ЖЦБ для збільшення варіабельності розмірів частинок. Такі зміни можуть забезпечити формування профілю з ущільненими поверхневими шарами та потенційно покращити механічні властивості плит. Подібні результати наведено у роботі (Borysiuk et al., 2019), де підтверджено, що збільшення вмісту ЖЦБ у внутрішньому шарі впливає на вирівнювання профілю щільності. У нашому дослідженні, за 100% вмісту ЖЦБ щільність внутрішнього шару перевищує щільність поверхневих шарів, особливо за вищої цільової щільності (зразки F).

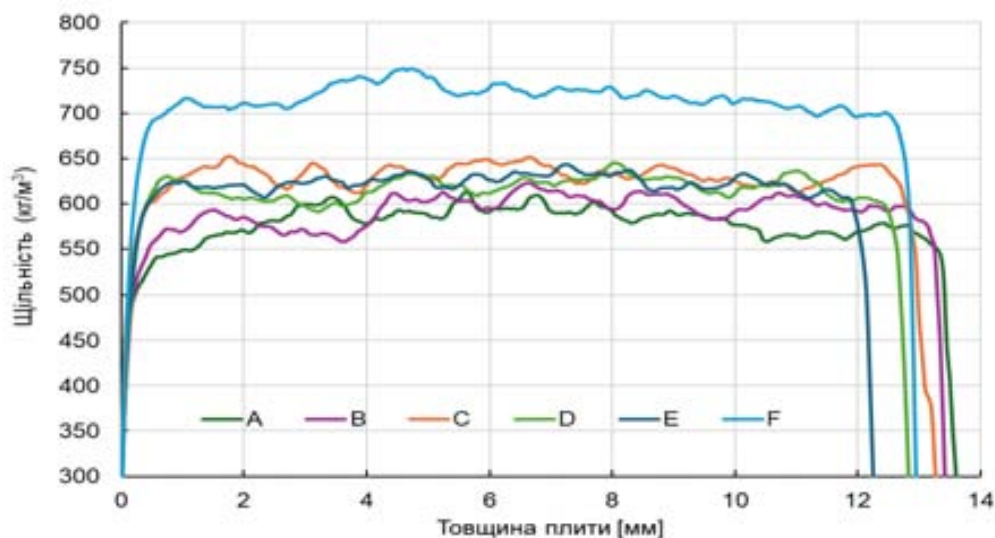


Рис. 2. Профіль щільності протестованих плит

Fig. 2. Density profile of the tested boards

Середні значення механічних властивостей плит наведено в табл. 2. Плити, виготовлені зі 100% ЖЦБ (зразок Е), характеризувалися найнижчими показниками MOR і MOE, тоді як плити, повністю виготовлені з деревинних частинок (зразок А), продемонстрували найвищі значення MOR

і MOE. Різниця між цими плитами була статистично значущою ($p < 0,05$). Зі збільшенням щільності плити з 600 кг/м³ (зразок Е) до 750 кг/м³ (зразок F) спостережено зростання MOR з 1,7 до 2,3 МПа та MOE з 324 до 384 МПа. Однак це зростання не було статистично значущим ($p \geq 0,05$).

Таблиця 2. Механічні властивості випробуваних плит
Table 2. Mechanical properties of tested boards

Варіант	MOR (МПа)	MOE (МПа)	IB (МПа)
A	6,5 ± 0,8 с*	1424 ± 145 с	0,65 ± 0,07 с,d
B	4,9 ± 0,9 b	1039 ± 129 b	0,57 ± 0,05 b
C	4,5 ± 0,9 b	942 ± 143 b	0,76 ± 0,07 e
D	2,1 ± 0,5 a	400 ± 76 a	0,46 ± 0,05 a
E	1,7 ± 0,4 a	324 ± 72 a	0,59 ± 0,08 b,c
F	2,3 ± 0,5 a	384 ± 74 a	0,70 ± 0,10 d,e

*a, b, c, d, e – гомогенні групи згідно з тестом Tukey ($\alpha = 0.05$)

Дискусія (Discussion).

Стружкові плити (плити типу P1), призначені для загального використання та експлуатації в сухих умовах, повинні мати мінімальне значення MOR 10,5 МПа, тоді як мінімальне значення MOE не регламентується (EN 312:2010). Натомість для плит, призначених для внутрішнього оздоблення (включно з меблями) та використання в сухих умовах (плити типу P2), мінімальні значення MOR і MOE становлять відповідно 11 МПа та 1800 МПа (EN 312:2010). Наведені на рис. 3 дані підтверджують, що жодна зі стружкових плит з вмістом ЖЦБ не відповідала цим вимогам. Загалом, зі збільшенням частки ЖЦБ спостерігалось зниження показників MOR і MOE, хоча погіршення властивостей відбувалося сту-

пінчасто. Зокрема, не виявлено суттєвих відмінностей у властивостях між плитами В і С, які містили відповідно 25% та 50% ЖЦБ.

Аналогічно, істотних відмінностей не спостережено між плитами D і E, що містили 75% та 100% ЖЦБ. Крім того, плити E і F, які складалися зі 100% буревого жому, але відрізнялися за щільністю (600 кг/м³ і 700 кг/м³ відповідно), також не показали значущих відмінностей у своїх властивостях. Це дослідження демонструє високої щільності зв'язок ($R^2 = 0,95$) між вмістом буревого жому та показниками MOR і MOE (рис. 4). Залежність є лінійною, що свідчить про те, що збільшення частки ЖЦБ у стружковій плиті пов'язане зі зміною (зростанням) значень MOR і MOE.

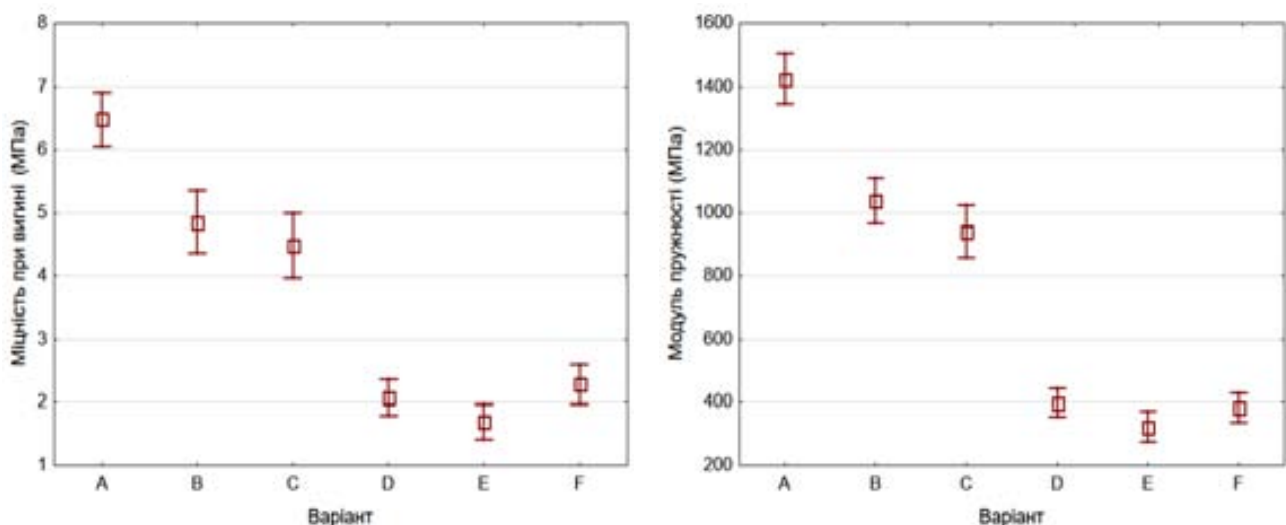


Рис. 3. Міцність під час вигину та модуль пружності випробуваних плит

Fig. 3. Bending strength and modulus of elasticity of the tested boards

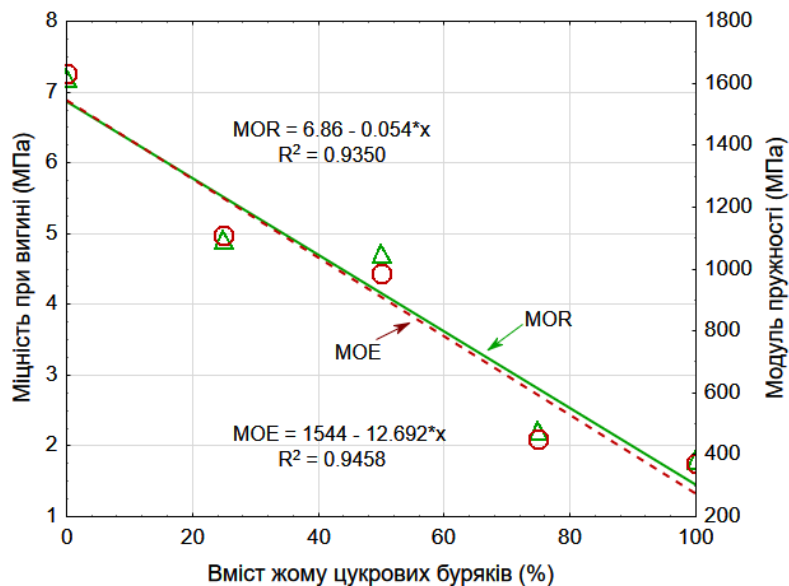


Рис. 4. Кореляція між міцністю плит на вигин, модулем пружності та вмістом жому цукрових буряків
 Fig. 4 Correlation between the bending strength of the boards, the modulus of elasticity, and the content of sugar beet pulp

Найвищі значення MOR та MOE спостережено у плит, які цілком складаються з деревинних частинок. Ситуацію можна пояснити вищою міцністю деревинних частинок порівняно з ЖЦБ, які завдяки своїй витягнутій формі сприяють кращому взаємозв'язку та передачі зусилля. Ця властивість була зменшена у плит з більшою часткою ЖЦБ, оскільки форма волокон целюлози не сприяла ефективній передачі зусилля під навантаженням, що призводило до зниження опору. Крім того, у поперечному перерізі зразків плит з вищим вмістом ЖЦБ було відзначено наявність повітряних проміжків (щілин), що ще більше погіршує їхні механічні властивості.

Отримані результати MOR та MOE є дещо нижчими порівняно з даними, наведеними у роботах інших авторів (Auriga et al., 2023; Borisiuk et al., 2019). Причина може полягати в тому, що в нашому дослідженні виготовляли одношарові плити з меншою щільністю, тоді як інші дослідження (Auriga et al., 2023; Borisiuk et al., 2019) стосувалися тришарових плит з вищою щільністю. Загальновідомо, що щільність є важливим чинником, який визначає властивості деревинних плит. Зазвичай одношарові плити з меншою щільністю демонструють нижчі значення MOR та MOE порівняно з тришаровими плитами з вищою щільністю.

Позитивно сприйнятим результатом стала висока міцність склеювання плит, виготовлених зі 100% ЖЦБ (рис. 5). Високу міцність склеювання плит, що містять ЖЦБ, можна пояснити

міцною адгезією між ЖЦБ та деревинними частинками. Окрім доброї адгезії, яка забезпечується використанням клею pMDI, цей ефект також можна пояснити наявністю пектинів та цукрів у ЖЦБ (Ziemiński et al., 2012), які можуть функціонувати як додаткові адгезійні агенти у складі стружкових плит. Хоча міцність склеювання (ІВ) цих плит (зразок Е) була нижчою (0,59 МПа) порівняно з плитами, виготовленими зі 100% деревинних частинок (зразок А), які мали ІВ 0,65 МПа, ця різниця не була статистично значущою ($p \geq 0,05$). Крім того, збільшення щільності плит, виготовлених зі 100% ЖЦБ (з 600 до 700 кг/м³), призвело до збільшення міцності ІВ на 19% – з 0,59 до 0,70 МПа. Це збільшення виявилось статистично значущим ($p < 0,05$).

Аналіз результатів міцності склеювання (ІВ) показує, що плити, виготовлені з вмістом ЖЦБ від 25 до 100%, відповідають мінімальним вимогам стандарту EN 312. Зокрема, плити відповідали вимогам щодо мінімальної міцності склеювання: 0,28 МПа – для плит типу P1; 0,40 МПа – для плит типу P2 та P4; 0,45 МПа – для плит типу P3 та P5 відповідно до вимог цього стандарту (див. рис. 5). Досягнута міцність склеювання плит з вмістом бурякового жому 25 та 50% була вищою (0,57 МПа і 0,76 МПа відповідно) ніж для ІВ, про які повідомляли Auriga et al. (2023) (0,52 МПа і 0,39 МПа) та Borisiuk et al. (2019) (0,54 МПа і 0,51 МПа). Ця різниця підтверджує кращу адгезійну здатність клею pMDI порівняно з клеєм UF.

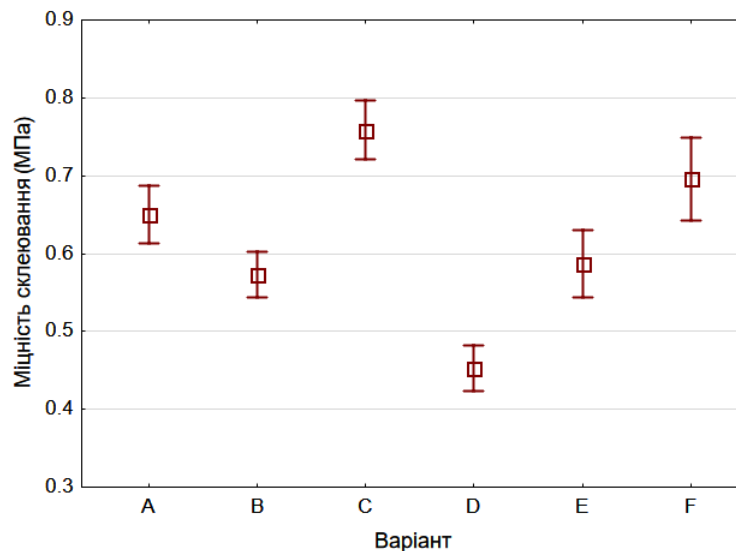


Рис. 5. Міцність склеювання випробуваних плит
Fig. 5. Internal board strength of the tested boards

Хоча додавання жому цукрових буряків покращило міцність склеювання, низька кореляція (рис. 6) між міцністю ІВ та вмістом ЖЦБ свідчить про те, що задовільної міцності ІВ можна досягти з нижчим вмістом ЖЦБ (25% або 50%).

Крім того, цей підхід може призвести до вищих значень MOR та MOE. Нелінійну залежність між кількістю жому цукрових буряків, доданого до плити, та отриманим ІВ було також виявлено Pinkl et al. (2020).

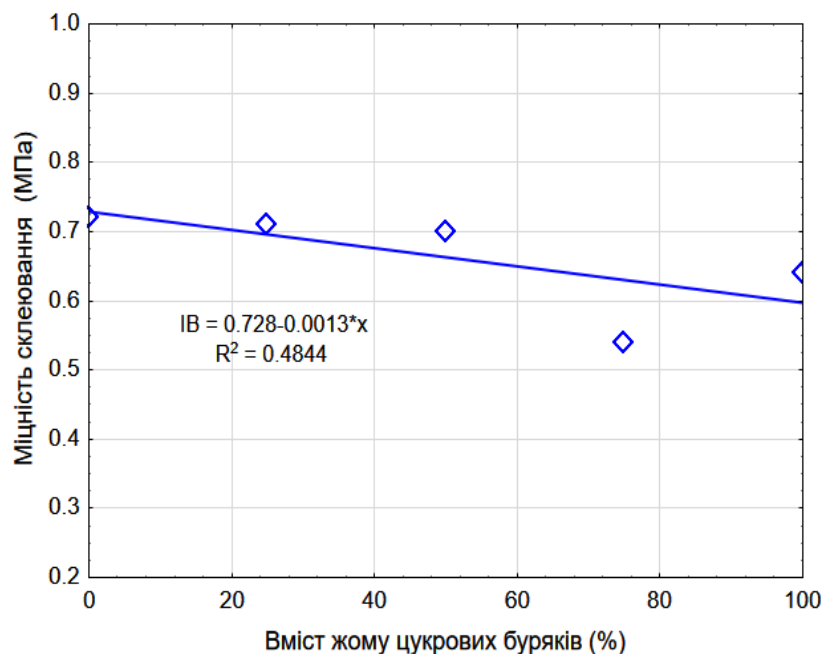


Рис. 6. Кореляція між міцністю склеювання плит і вмістом жому цукрових буряків
Fig. 6. Correlation between the internal bond strength of boards and the content of sugar beet pulp

Висновки (Conclusions).

1. Обґрунтовано доцільність використання ЖЦБ як часткової заміни деревинної сировини у кількості 25–50% під час виробництва стружкових плит, що забезпечує баланс між механічними характеристиками та адгезійними властивостями.
2. Одношарові плити характеризуються рівномірним плоским профілем щільності без вираженого ущільнення поверхневих шарів, що зумовлено особливостями сировинного складу, зокрема меншою часткою деревинних частинок і розмірами частинок ЖЦБ.

Зі збільшенням вмісту жому цукрових буряків спостережено тенденцію до зниження показників міцності під час згину (MOR) та модуля пружності (MOE), що свідчить про обмеження його використання у високих концентраціях для забезпечення механічних властивостей плит. Вод-

ночас плити з високим вмістом ЖЦБ, зокрема 100%, демонструють підвищену міцність склеювання (ІВ), що пояснюється ефективною адгезією між компонентами композиції. Важливу роль у цьому відіграє клей рМДІ, а також природні компоненти ЖЦБ (пектини і цукри), які можуть виконувати функцію додаткових зв'язувальних агентів.

4. Плити з вмістом ЖЦБ у межах 25-100% відповідають вимогам стандарту EN 312 щодо мінімальної міцності склеювання для різних типів плит (Р1–Р5), що підтверджує можливість їх практичного застосування. Збільшення щільності плит з 600 до 700 кг/м³ сприяє підвищенню міцності склеювання (на 19%), що підтверджує доцільність розширення діапазону щільності та пошуку її оптимальних значень як одного із ключових технологічних параметрів.

5. Перспективним напрямом є виготовлення тришарових плит із використанням деревинних частинок у зовнішніх шарах і ЖЦБ – у внутрішньому шарі (до 50%), що дасть змогу покращити експлуатаційні властивості матеріалу. Використання жому цукрових буряків у виробництві стружкових плит сприяє зменшенню залежності від первинної деревини, підвищенню екологічної та ресурсної ефективності галузі.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Auriga, R., Borysiuk, P., Latos, M., Auriga, A., Kwaśny, Ł., & Walkiewicz, J. (2023). Impact of sugar beet pulp share on selected physical and mechanical properties of particleboards. *Forests*, 14(1), 40. <https://doi.org/10.3390/f14010040>
- Borysiuk, P., Jencyk-Tolloczko, I., Auriga, R., & Kordzikowski, M. (2019). Sugar beet pulp as raw material for particleboard production. *Industrial Crops and Products*, 141, 5. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2019.111829>
- Dinand, E., Chanzy, H., & Vignon, R. M. (1999). Suspensions of cellulose microfibrils from sugar beet pulp. *Food Hydrocolloids*, 13(3), 275–283. [https://doi.org/10.1016/S0268-005X\(98\)00084-8](https://doi.org/10.1016/S0268-005X(98)00084-8)
- Dunky, M. (2003). Adhesives in the wood industry. In A. Pizzi & K. L. Mittal (Eds.), *Handbook of adhesive technology* (2nd ed., pp. 872–941). Marcel Dekker. <https://doi.org/10.1201/9780203912225.ch47>
- European Committee for Standardization. (1993). *Particleboards and fibreboards – Determination of tensile strength perpendicular to the plane of the board* (EN 319).
- European Committee for Standardization. (2010). *Particleboards – Specifications* (EN 312).
- European Committee for Standardization. (1993). *Wood-based panels – Determination of modulus of elasticity in bending and of bending strength* (EN 310).
- Finkenstadt, V. L., Liu, L., & Willett, J. L. (2007). Evaluation of poly (lactic acid) and sugar beet pulp green composites. *Journal of Polymers and the Environment*, 15, 1–6. <https://doi.org/10.1007/s10924-006-0038-z>
- Fišerová, M., Gigac, J., & Butaš, R. (2007). Influence of sugar beet pulp on bond strength and structure of paper. *Wood Research*, 52(3), 59–74. <https://www.woodresearch.sk/wr/200703/06.pdf>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024a). *FAOSTAT data*. Retrieved November 20, 2025, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/FO>
- Food and Agriculture Organization of the United Nations. (2024b). *FAOSTAT data*. Retrieved November 20, 2025, from <https://www.fao.org/faostat/en/#data/QCL>
- Hamanchuk, V., Bekhta, P., Pipiška, T., Ráhel', J., & Hofman, J. (2025). Effect of partial and complete replacement of wood particles with sugar beet pulp on the physical properties of particleboards. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 279–289. <https://doi.org/10.36930/412538> [Гаманчук, В., Бехта, П., Піпішка, Т., Рагель, Й., Гофман, Я. (2025). Вплив часткового заміщення деревини жомом цукрових буряків на фізичні властивості стружкових плит. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 279–289] (in Ukrainian)
- Klimek, P., & Wimmer, R. (2017). Alternative raw materials for bio-based composites. In *Proceedings of the international conference "Wood science and engineering in the third millennium" - ICWSE 2017* (pp. 29–44). Brasov, Romania. https://www.researchgate.net/publication/320909417_Alternative_raw_materials_for_bio-based_composites
- Leitner, J., Hinterstoisser, B., Wastyn, M., Keckes, J., & Gindl, W. (2007). Sugar beet cellulose nanofibril-reinforced composites. *Cellulose*, 14, 419–425. <https://doi.org/10.1007/s10570-007-9131-2>
- Li, W., Coffin, D.R., Jin, T.Z., Latona, N., Liu, Ch.-K., Liu, B., Zhang, J., & Liu, L. (2012). Biodegradable composites from polyester and sugar beet pulp with antimicrobial coating for food packaging. *Journal of Applied Polymer Science*, 126, E361–E372. <https://doi.org/10.1002/app.36885>

- Marzo-Gago, C., Díaz, A. B., & Blandino, A. (2023). Sugar beet pulp as raw material for the production of bioplastics. *Fermentation*, 9(7), 655. <https://doi.org/10.3390/fermentation9070655>
- Pinkl, S., Veigel, S., Gindl-Altmutter, W., van Herwijnen, H., & Riegler, M. (2020). Effects of fibrillar cellulosic additives on particleboard production and properties. *Wood Material Science & Engineering*, 17(2), 106–112. <https://doi.org/10.1080/17480272.2020.1786722>
- Schirp, A., Deetz R., Kopitzky, R., & Schirp, C. (2024). Composite sheets based on polylactic acid and sugar beet pulp: A solution to accelerate biological degradation of PLA on soil under outdoor exposure. *Polymer Composites*, 45(16), 15318–15339. <https://doi.org/10.1002/pc.28840>
- Solt, P., Konnerth, J., Gindl-Altmutter, W., Kantner, W., Moser, J., Mitter R., & van Herwijnen, W. G. H. (2019). Technological performance of formaldehyde-free adhesive alternatives for particleboard industry. *International Journal of Adhesion and Adhesives*, 94, 99–131. <https://doi.org/10.1016/j.ijadhadh.2019.04.007>
- Ziemiński, K., Romanowska, I., & Kowalska, M. (2012). Enzymatic pretreatment of lignocellulosic wastes to improve biogas production. *Waste Management*, 32(6), 1131–1137. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.01.016>

Mechanical properties of particleboards with partial and complete wood particles replacement by sugar beet pulp

V. Hamanchuk¹, P. Bekhta², V. Mayevskyy³, T. Pipiška⁴, J. Ráhel⁵, J. Hofman⁶

The increase in deforestation limits the availability of wood, raises its cost, and intensifies competition for raw materials, which complicates the sustainable development of the wood-based panel industry. This stimulates the search for alternative raw material sources for the partial or complete substitution of wood in the production of wood-based composite materials. The use of agricultural residues makes it possible to reduce dependence on wood, lower production costs, and decrease negative environmental impacts, while simultaneously creating additional economic value from agricultural waste.

The increase in deforestation limits the availability of wood, raises its cost, and intensifies competition for raw materials, which complicates the

sustainable development of the wood-based panel industry. This stimulates the search for alternative raw material sources for the partial or complete substitution of wood in the production of wood-based composite materials. The use of agricultural residues makes it possible to reduce dependence on wood, lower production costs, and decrease negative environmental impacts, while simultaneously creating additional economic value from agricultural waste. Moreover, the wood content in particleboards is approximately 90%; therefore, their properties largely depend on the type of lignocellulosic raw material used in production. The type of raw material affects not only the performance characteristics of the finished board but also the parameters of the manufacturing process and the final

¹ Volodymyr Hamanchuk – PhD Student, Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: 24hamanchuk.v@ntu.lviv.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0004-9413-9990>

² Pavlo Bekhta – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

³ Volodymyr Mayevskyy – Doctor of Sciences, Professor, Director of Educational-Scientific Institute of Woodworking and Design, Professor at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: volodymyr_mayevskyy@ntu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-5820-9454>

⁴ Tomáš Pipiška – PhD, Researcher at the Department of Wood Science and Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno, 613 00, Czech Republic. E-mail: tomas.pipiska@mendelu.cz ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8096-4376>

⁵ Jozef Ráhel – PhD, Associate Professor at the Department of Wood Science and Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno, 613 00, Czech Republic. E-mail: jozef.rahel@mendelu.cz ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2850-8039>

⁶ Jakub Hofman – Engineer of the Department of Wood Science and Technology, Mendel University in Brno, Zemědělská 1, Brno, 613 00, Czech Republic. E-mail: jakub.hofman@centrum.cz

production cost. The cost of primary materials, adhesives and wood particles, constitutes the major share of particleboard manufacturing expenses. The share of wood particles in the overall cost structure is estimated at 30–40%. The cost of agricultural biomass is, on average, about 50% lower than that of wood particles. In this regard, replacing wood particles with alternative non-wood raw materials may result in a significant reduction in production costs.

The aim of this study was to determine the effect of partial or complete replacement of wood particles with sugar beet pulp (SBP) on the mechanical properties of particleboards. Single-layer boards with target densities of 600 and 750 kg/m³ were manufactured using different volumetric ratios of wood and SBP: 100:0, 75:25, 50:50, 25:75, and 0:100%. Polymeric diphenylmethane diisocyanate (pMDI) adhesive was used to bond the particles. The vertical density profile, bending strength (MOR), modulus of elasticity (MOE), and internal bond (IB) strength of the boards, were investigated.

It has been established that single-layer boards are characterized by a uniform, flat density profile without pronounced densification of the surface layers. This is attributed to the peculiarities of the raw material composition, in particular the lower proportion of wood particles and the particle size of SBP. With an increasing SBP content, a decreasing trend in MOR and MOE is observed, indicating limi-

tations in its use at high concentrations to ensure the mechanical performance of the boards. At the same time, boards with a high SBP content, particularly 100%, demonstrate increased IB strength, which can be explained by effective adhesion between the components of the board. An important role in this is played by pMDI adhesive, as well as the natural constituents of SBP (pectins and sugars), which may act as additional binding agents. Boards containing 25–100% SBP comply with the requirements of EN 312 regarding the minimum IB strength for different board types (P1–P5), confirming their potential for practical application. An increase in board density from 600 to 700 kg/m³ leads to a 19% improvement in internal bond strength, demonstrating the feasibility of optimizing density as a key technological parameter. A promising direction is the production of three-layer boards using wood particles in the outer layers and SBP in the core layer (up to 50%), which would improve the performance properties of the material.

The use of sugar beet pulp in particleboard production contributes to reducing dependence on primary wood resources and enhances the environmental and resource efficiency of the industry.

Key words: alternative raw material; wood composite materials; agricultural residues; bending strength; modulus of elasticity; internal bond strength; pMDI adhesive.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412618>
Article received 2025.09.19
Article revised 2026.02.12
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Huber
yuriy.huber@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674.047

Особливості всихання заготовок з дубової деревини, висушених у сушильних камерах різного типу

Ю.М. Губер¹, О.І. Олійчук², С.В. Копинець³, Ж.Я. Гуменюк⁴, А.О. Ференц⁵

Деревина належить до матеріалів, які змінюють свої лінійні розміри залежно від температурно-вологісного стану навколишнього середовища. На ці особливості потрібно звертати увагу не лише в технологічних процесах її механічного оброблення, де необхідно враховувати припуски на всихання, але й під час експлуатації за умов змінних параметрів довкілля.

*Експериментальні дослідження проводили на заготовках, випиляних із деревини дуба звичайного (*Quercus robur* L.) номінальними розмірами 50 × 50 × 1000 мм. Величину всихання визначали після їхнього сушіння у конвективній сушильній камері KAD-1×6S фірми Katres та вакуумно-конвективній сушильній камері місткістю приблизно 50 м³ висушуваних сортиментів фірми Hildebrand-Brunner. Заготовки висушували до заданої кінцевої вологості 8%.*

За умови зниження вологості деревини нижче 30% відбувається зменшення її лінійних розмірів. На величину цієї зміни впливає низка факторів: деревний вид та вологість деревини, її густина, напрям щодо головних осей дерева, розміри сортименту, режим сушіння, частка вмісту пізньої деревини, анатомічна й субмікроскопічна будова деревини, місце випилювання зразка деревини за висотою та діаметром колоди тощо.

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 Олійчук Оксана Ігорівна – магістр. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: lan@nltu.edu.ua

³ Копинець Сергій Володимирович – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kopynets.serhii@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6194-8309>

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 Ференц Андрій Олегович – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: ferents.andrii@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8844-5399>

Встановлено, що величина зміни лінійного розміру заготовок після вакуумно-конвективного сушіння становить 3,03 мм, після конвективного – 3,41 мм. Коефіцієнт всихання заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері становить 0,247, а у конвективній – 0,273.

Отримані результати засвідчують, що процес вакуумно-конвективного сушіння перебігає інтенсивніше і це має вплив на величину всихання, яка є меншою, ніж за конвективного сушіння.

Ключові слова: сушіння деревини; дуб звичайний; вакуумно-конвективна сушильна камера; конвективна сушильна камера; вологість деревини; температура; рівноважна вологість деревини.

Вступ (Introduction).

Клеєні щити широко використовують як конструкційний матеріал для виробництва різноманітних виробів з деревини (Udovyt'ska et al., 2024). Зокрема, для виготовлення клеєних щитів в Україні широко використовують деревину дуба звичайного (Губер та ін., 2025; Маєвський та ін., 2024; Маєвський, Копинець, Мороз, 2024).

Деревину відносять до матеріалів, які під впливом зміни її вологості змінюють свої лінійні розміри (Білей, Комбаров, Білей, 2012; Озарків, Копинець, Ацбергер, 2006), що має значний вплив не лише на технологічні процеси механічного оброблення деревини, коли потрібно враховувати припуски на її всихання, але й на процес її експлуатації за змінних параметрів навколишнього середовища.

Під час висушування деревини за умови зниження її вологості нижче 30% відбувається зменшення її лінійних розмірів. На це впливає низка факторів, серед яких деревний вид і вологість деревини, її густина, анізотропія, розміри матеріалу, режим сушіння, частка вмісту пізньої деревини у річних кільцях, анатомічна й субмікроскопічна будова деревини тощо. Також на величину всихання впливають і місце та умови росту дерева, місце випилювання зразка деревини за висотою та діаметром колоди, вік, дерева, наявність ознак (вад) деревини, що порушують усталену її будову (Стріха, 1950).

У практичних розрахунках використовують коефіцієнт всихання (Білей та ін., 2010), який характеризує величину всихання за зміни вологості стінок клітин на 1%:

$$K = \frac{\beta_{\max}}{W_{\text{г.н}}}, \quad (1)$$

де $\beta_{\max}$ – повне всихання зразка деревини, %; $W_{\text{г.н}}$ – границя насичення стінок клітин деревини, %.

Всихання вздовж волокон настільки несуттєве (Perré & Keeu, 2006), що його в розрахунках ігнорують.

Повне всихання зразка деревини визначають:

$$\beta_{\max} = \frac{a_{\max} - a_{\min}}{a_{\max}} \cdot 100 \%, \quad (2)$$

де $a_{\max}$ – розмір зразка за вологості, однакової або більшої від границі насичення стінок клітин; $a_{\min}$ – розмір зразка в абсолютно сухому стані.

Дослідженням всихання деревини займалися як вітчизняні (Білей, Комбаров, Білей, 2012; Максимів та ін., 2014; Пінчевська, 2013; Губер, Гуменюк, Хіноцький, 2012), так і закордонні (Castro, Mituca, & Anjos, 2006; Badel & Perre, 2007; Rahimi et al., 2022) дослідники. Зокрема, Білей та ін. (2012) встановили, що окрім густини деревини і напрямку волокон, на величину всихання зразків з деревини дуба має вплив і кількість річних кілець на 1 см. Результати проведених досліджень на мікрорізах деревини Пінчевською (2013) засвідчили, що початкова вологість і температура сушильного агента у межах 20-60°C не впливають на величину всихання деревини дуба звичайного. Також встановлено, що максимальне всихання у тангенціальному напрямі становить $\beta_{\max}^T = 7,9\%$, а у радіальному – $\beta_{\max}^P = 2,9\%$.

У роботі Максиміва та ін. (2014) розглянуто питання всихання деревини явора у тангенціальному та радіальному напрямках. Губер та ін. (2012) встановили, що із підвищенням температури і збільшенням тривалості процесу пропарювання повне об'ємне всихання деревини білої акації збільшується. Зокрема, пропарювання деревини за температури 80-100°C майже не впливає на величину всихання, однак за температури 120°C вплив стає істотним.

Проведені Castro et al. (2006) дослідження величини всихання зразків шпону товщиною 0,6 мм з деревини дуба і бука показали більше всихання у тангенціальному напрямі порівняно з радіальним.

У статті Badel & Perre (2007) розглянуто питання можливості прогнозування поведінки будь-якого зразка з деревини дуба під час всихання, незалежно від його походження, щільності тощо. Rahimi et al. (2022), досліджуючи всихання зразків деревини червоного дуба та жовтої тополі і встановили, що об'ємне всихання заболоні вище, ніж ядра.

У наукових роботах найчастіше розглядають питання величини всихання зразків деревини певного деревного виду від напряму відносно

річних кілець (тангенціальний, радіальний). Так, за результатами досліджень Pegg & Keeu (2006) коефіцієнт всихання деревини дуба у радіальному напрямі становить $K_r = 0,20$, а в тангенціальному – $K_t = 0,37$. У «Керівних технічних матеріалах з технології камерного сушіння пиломатеріалів» (Білей та ін., 2010) коефіцієнт всихання деревини дуба звичайного у радіальному напрямі становить 0,14, у тангенціальному – 0,30. Згідно з Glijer (2011), коефіцієнт всихання деревини дуба у радіальному напрямі становить 0,17, у тангенціальному – 0,26.

Відомо, що на початку процесу сушіння (Білей, 2005; Білей та ін., 2013; Шостак та ін., 2005) внутрішні шари деревини мають значно більшу вологість ніж поверхневі, які через це висихають у розтягнутому стані. Відбувається явище невідного всихання – всідання (Білей, 2005). Під час сушіння деревини перепад вологості за товщиною матеріалу є меншим у тонших зразках. Відповідно, тоді і меншою є різниця між всиханням і всіданням. Стріха (1950) встановив, що всихання букових пиломатеріалів зменшується на 36,7% за збільшення їхньої товщини від 10 до 400 мм. Чим жорсткіший режим сушіння, тим більші внутрішні напруження та менше кінцеве всихання (всідання). Однак таку закономірність спостережено за температури агента сушіння не вище 100°C.

Коваль та ін. (2008) досліджували величину припусків на всихання для пиломатеріалів листяних порід (дуба, ясеня, клена, берези, вільхи, тополі, осики) до кінцевої вологості $W_k = 5-7\%$, $W_k = 14-16\%$, $W_k = 29-31\%$ за різних розмірів поперечного перерізу сортиментів. Результати досліджень показали, що величина всихання пиломатеріалів залежить від режимів сушіння, розмірів пиломатеріалів, породи та початкової вологості деревини. Розмір поперечного перерізу має велике значення для величини всихання, оскільки у зразках великих розмірів виникають внутрішні напруження, деформації, які змінюють характер всихання деревини і впливають на його величину.

Отже можна узагальнити, що найбільше всихання деревини відбувається впоперек волокон, а найменше – поздовж. У площині впоперек волокон деревина також всихає нерівномірно, всихання відбувається більше в тангенціальному, ніж в радіальному напрямі. Величину припусків на всихання пиломатеріалів з деревини різних порід встановлено чинним стандартом ДСТУ 4920:2008.

У виробничих умовах для сушіння пиломатеріалів найчастіше використовують конвективні сушильні камери, а також вакуумно-конвективні (Espinoza & Bond, 2016; Korynets &

Shchupakivskyi, 2014; Teischinger et al., 2023; Губер та ін., 2025). У цьому аспекті виникає питання, чи має вплив спосіб сушіння деревини на величину її всихання, оскільки саме величина всихання має важливе значення для встановлення припусків на всихання під час розпилювання лісоматеріалів на пиломатеріал. За використання різного типу сушильних камер корекція стандартних припусків на всихання дасть змогу раціонально підходити до витрат деревинної сировини, оскільки застосування завищених припусків на всихання призведе як до перевитрат деревини, так і до збільшення затрат на подальше механічне оброблення. Тому точне встановлення припусків на всихання за умови обмеженого ресурсу та високої ціни на дубові пиломатеріали відіграє важливу роль для ресурсозбереження та економії коштів і на сьогодні є дуже актуальним питанням.

Мета дослідження полягає у встановленні впливу способу сушіння на величину всихання пиляних заготовок з деревини дуба звичайного. Для досягнення поставленої мети здійснено дослідні сушіння пиляних заготовок з деревини дуба звичайного у виробничих умовах у конвективній та вакуумно-конвективній сушильних камерах та експериментально встановлено величину їхнього всихання після сушіння у цих типах сушильних камер.

Об'єкти і 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* – величина всихання заготовок пиляних з деревини дуба звичайного після завершення сушіння.

Для встановлення величини всихання заготовок пиляних з деревини дуба звичайного після їхнього висушування різними способами відібрано партію свіжопиляних заготовок номінальним розміром $50 \times 50 \times 1000$ мм (за вологості $W_k = 8\%$) кількістю 238 шт., які висушували у конвективній та 210 шт. – у вакуумно-конвективній камерах. Розпилювальний розмір з урахуванням нормативного припуску на всихання 3,4 мм (ДСТУ 4920:2008) становив 54×54 мм.

Вологість заготовок визначали згідно з положеннями ДСТУ 4922:2008. Перед укладанням в штабелі вимірювали початкову вологість кожної заготовки з використанням кондуктометричного вологоміра Logica LG-43 на зразках вибірки. Їхня початкова абсолютна вологість W_n знаходилася в діапазоні 65-75%. Разом із визначенням вологості деревини проводили вимірювання товщини та ширини заготовок у трьох місцях – 10 см від кожного торця та посередині

довжини. Місця вимірювання розмірів на кожній із заготовок помічали маркером. Точність вимірювання розмірів штангенциркулем становила 0,01 мм (рис. 1). Лінійний розмір визначали як середнє значення трьох вимірювань на одній заготовці.



Рис. 1. Вимірювання лінійних розмірів дубових заготовок

Fig. 1. Measuring linear dimensions of oak wood blanks

Дослідні сушіння проведено у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми Katres типу KAD-1×6S та у вакуумно-конвективній сушильній камері фірми Hildebrand-Brunner. Обидві сушильні камери місткістю приблизно 50 м³ висушуваних сортиментів.

Із пиляних заготовок з деревини дуба сформували штабелі розміром 1200 × 1200 × 1000 мм. Під час формування штабелів використовували прокладки завтовшки 22 мм. У кожен із сушильних камер завантажили по 72 шт. штабелів. Сушіння заготовок проводили до заданої кінцевої вологості $W_k = 8\%$.

Для висушування заготовок застосовували багатоступеневі режими сушіння, до складу яких входять фази: початкове прогрівання, сушіння, кінцеве тепловологооброблення (кондиціонування) та охолодження. На першому ступені режиму у конвективній сушильній камері температура агента сушіння становила $t_c = 33^\circ\text{C}$, рівноважна

вологість – $W_p = 16\%$. На останньому ступені режиму сушіння температура агента сушіння t_c становила 60°C , а градієнт сушіння $TG = 2,4$. На першому ступені режиму у вакуумно-конвективній сушильній камері температура агента сушіння t_c становила 40°C , рівноважна вологість $W_p = 14\%$. На останньому ступені режиму сушіння $t_c = 63^\circ\text{C}$ і $W_p = 5,4\%$.

Після вивантаження з сушильної камери заготовки витримували на складі з контрольованим мікрокліматом впродовж 48 год і тоді вимірювали їхню вологість, використовуючи ємнісний вологомір MERLIN HM9 WS-25. Також здійснювали повторне вимірювання лінійних розмірів заготовок за товщиною та шириною у попередньо маркованих місцях.

Результати (Results).

У результаті вимірювання розмірів поперечного перерізу заготовок з деревини дуба звичайного після їхнього висушування в конвективній та вакуумно-конвективній сушильних камерах отримано значення зміни лінійних розмірів. Оскільки не брали до уваги виду розпилювання заготовок (тангенціальний, радіальний), то для встановлення величини всихання приймали більшу зміну лінійного розміру за товщиною або шириною. Статистичне опрацювання отриманих значень (рис. 2, рис. 3) показало, що за висушування заготовок у конвективній сушильній камері відбулася більша зміна лінійних розмірів заготовок, ніж у вакуумно-конвективній. Зміна лінійного розміру заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, знаходилася в межах від 0,91 мм до 4,46 мм, а середнє значення становило 3,03 мм. Зміна лінійного розміру заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, знаходилася в межах 2,11-5,24 мм, а середнє значення становило 3,41 мм. Отже, різниця становить 0,38 мм або 11,14%.

За максимальною зміною лінійного розміру та кінцевою вологістю заготовок визначали коефіцієнт всихання:

$$K_w = \frac{\beta_w}{(W_{г.н} - W_k)}, \quad (3)$$

де β_w – всихання заготовки до кінцевої вологості, %; W_k – кінцева вологість деревини, %.

За результатами опрацювання експериментальних даних полігон розподілу отриманих значень коефіцієнта всихання (рис. 4) засвідчив, що після сушіння у конвективній сушильній камері коефіцієнт всихання заготовок з дубової деревини дещо вищий, ніж у заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері.

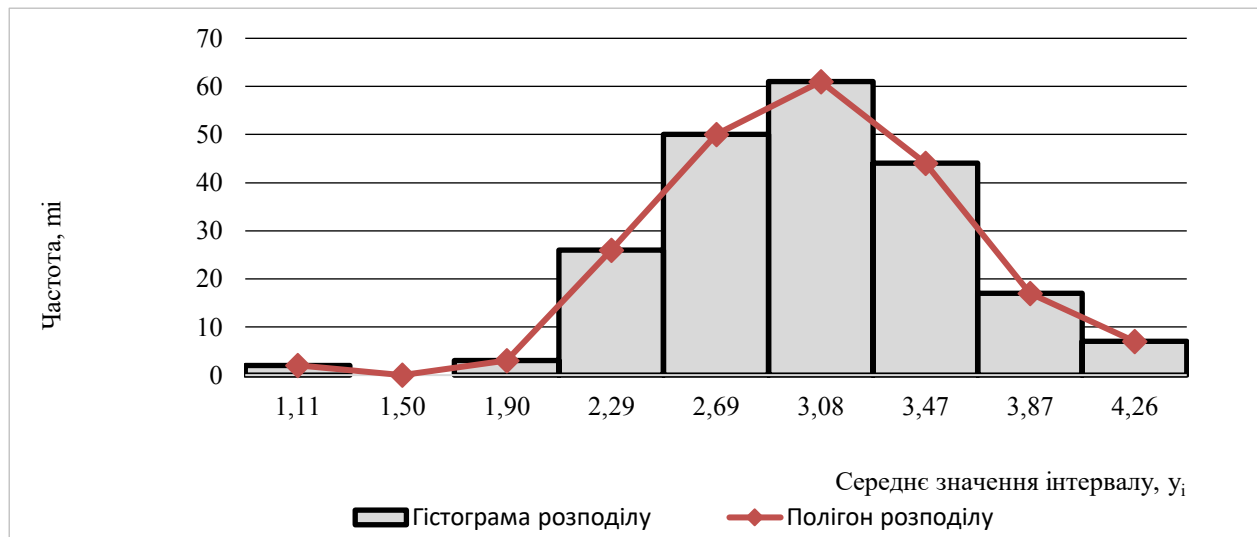


Рис. 2. Полігон розподілу зміни лінійних розмірів заготовок з деревини дуба, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері

Fig. 2. Distribution polygon of changes in linear dimensions of oak wood blanks dried in a vacuum-convection drying kiln

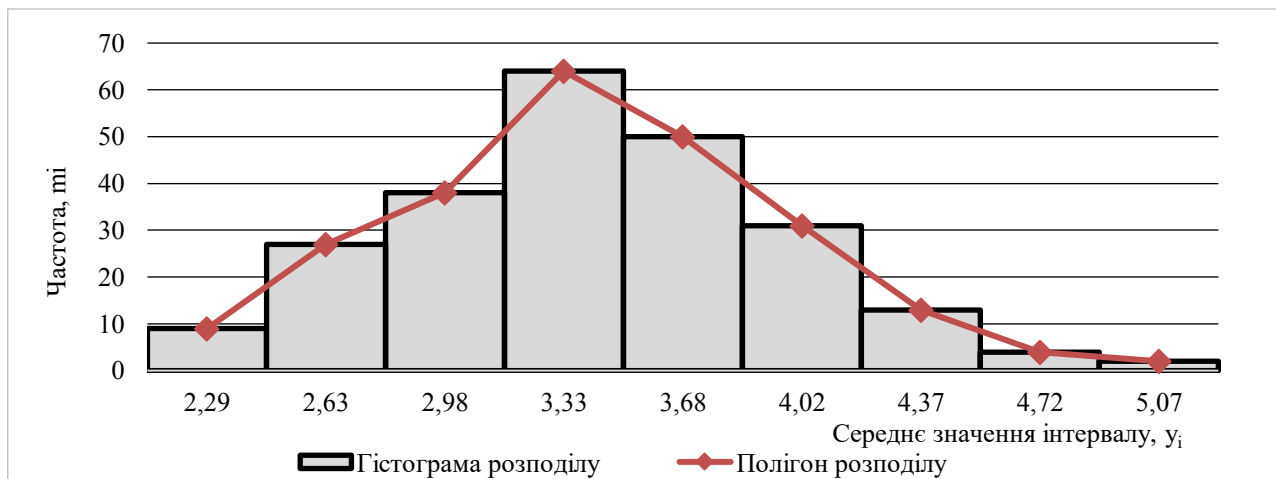


Рис. 3. Полігон розподілу зміни лінійних розмірів заготовок з деревини дуба, висушених у конвективній сушильній камері

Fig. 3. Distribution polygon of changes in linear dimensions of oak wood blanks dried in a convection drying kiln

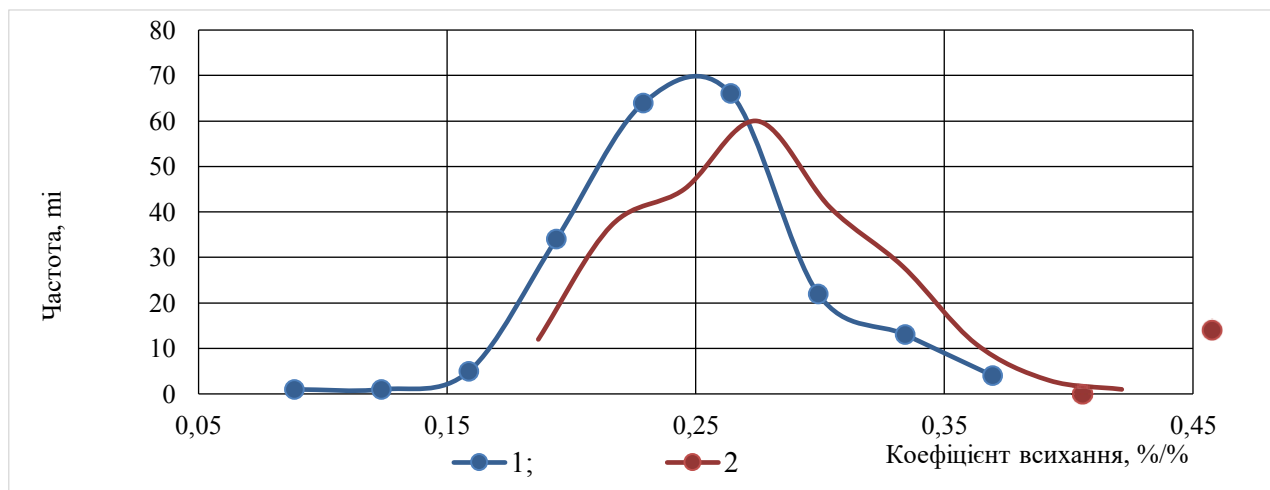


Рис. 4. Полігон розподілу коефіцієнта всихання заготовок з деревини дуба: 1 – у вакуумно-конвективній сушильній камері; 2 – у конвективній сушильній камері

Fig. 4. Distribution polygon of the shrinkage factor of oak wood blanks: 1 – in a vacuum-convection drying kiln; 2 – in a convection drying kiln

Коефіцієнт всихання заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, знаходився в межах 0,071-0,387 (середнє значення 0,247), а коефіцієнт всихання заготовок, висушених у конвективній сушильній камері, знаходився в межах 0,172-0,436 зі середнім значенням 0,273.

Дискусія (Discussion).

Сушіння деревини – складний процес, закономірності якого визначаються одночасним протіканням низки фізичних явищ, які належать до класу перенесення. За цього процесу відбувається перенесення як тепла, так і маси. Щодо перенесення тепла, то цей процес стосується поглинання тепла поверхнею матеріалу та переміщення тепла по матеріалу. Щодо перенесення маси, то процес передбачає випаровування вологи з поверхні матеріалу та переміщення вологи по матеріалу. Під час дослідження процесів сушіння у сушильних камерах різного типу потрібно враховувати не лише температурно-вологість показники середовища, але й спосіб сушіння. Відмінність конвективного способу сушіння від конвективно-вакуумного полягає у сушінні деревини нагрітим повітрям за атмосферного тиску, а сушіння конвективно-вакуумним способом здійснюється за тиску нижче атмосферного (Білей та ін., 2006).

Відомо, що у вакуумі температура кипіння води нижча ніж за атмосферного тиску (Espinoza & Bond, 2016; Білей та ін., 2006), тому в процесі конвективно-вакуумного сушіння процес відбувається інтенсивніше, ніж конвективне сушіння за однакових температур середовища.

За досліджуваних умов (рис. 5), у вакуумно-конвективній сушильній камері температуру

агента сушіння підтримували трохи вищою, ніж в конвективній сушильній камері, а рівноважну вологість деревини підтримували трохи нижчою. Загалом режим сушіння був жорсткішим. Варто зазначити, що в умовах зниженого тиску температура кипіння води зменшується, що також впливає на інтенсивність висушування заготовок. У низці робіт (Пінчевська, 2013; Стріха, 1950; Білей, 2005; Білей та ін., 2010) зазначено, що за вищої інтенсивності процесу сушіння величина всихання деревини знижується. Це відбувається за рахунок фіксації шарів деревини, які вже висохли і унеможливають вільне всихання інших шарів деревини, вологість яких ще не перейшла нижче границі насичення клітинних стінок. Тому у вакуумно-конвективній сушильній камері спостережено деяке зменшення величини всихання порівняно зі всиханням зразків у конвективній сушильній камері.

Величини припуску на всихання для пилопродукції з деревини дуба звичайного номінальним розміром поперечного перерізу (товщиною, шириною) 50 × 50 мм до кінцевої вологості $W_k = 8\%$ становить 3,40 мм (ДСТУ 4920:2008). Зміна лінійного розміру заготовок після вакуумно-конвективного сушіння становить 3,03 мм, після конвективного – 3,41 мм. Для конвективного сушіння показник незначно виходить за межі припуску. Але з огляду на допустимі відхилення розмірів заготовок внаслідок неточності лісопиляльного обладнання для товщини 50 мм (+4 мм, -2 мм за ДСТУ EN 1313-2:2018) можна вважати, що у подальшому буде можливість забезпечити належну якість поверхонь після стругання.

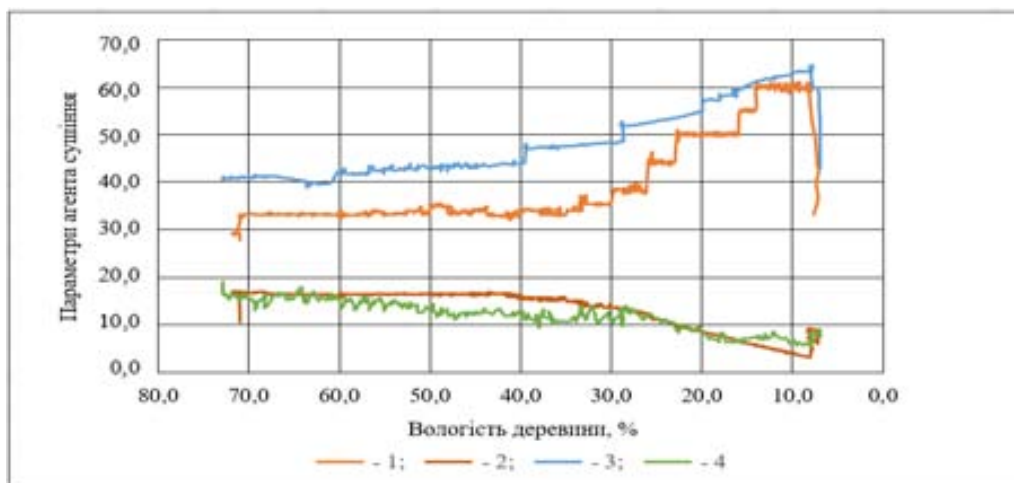


Рис. 5. Порівняння режимів сушіння: 1 – температура агента сушіння у конвективній сушильній камері; 2 – рівноважна вологість деревини у конвективній сушильній камері; 3 – температура агента сушіння у вакуумно-конвективній сушильній камері; 4 – рівноважна вологість деревини у вакуумно-конвективній сушильній камері

Fig. 5. Comparison of drying schedules: 1 – drying agent temperature in a convection drying kiln; 2 – equilibrium moisture content of wood in a convection drying kiln; 3 – drying agent temperature in a vacuum-convection drying kiln; 4 – equilibrium moisture content of wood in a vacuum-convection drying kiln

Висновки (Conclusions).

1. Чим інтенсивніше висихає деревина, тим виникають більші внутрішні напруження через нерівномірність всихання за перерізом матеріалу, оскільки поверхневі шари швидше досягають значення кінцевої вологості і, зафіксувавшись у розтягнутому стані, ускладнюють вільне всихання внутрішніх шарів.

2. Середнє значення зміни лінійного розміру заготовок з деревини дуба звичайного за різних способів сушіння відрізняється між собою на 0,38 мм, що можна вважати несуттєвим з огляду на те, що заготовки в подальшому проходять операцію стругання, а в номінальну

товщину заготовок закладено припуск на оброблення.

3. Середнє значення коефіцієнта всихання заготовок, висушених у вакуумно-конвективній сушильній камері, становить 0,247, а у конвективній сушильній камері – 0,273 за різниці в 0,026 або 9,52%.

4. Менше значення всихання під час сушіння у вакуумно-конвективній сушильній камері можна пояснити явищем всідання, оскільки внаслідок інтенсивного проходження процесу перепади вологості за товщиною у заготовках є більшими, що призводить до висихання поверхневих шарів у розтягнутому стані і перешкоджанню вільному всиханню внутрішніх шарів.

Список літератури (References)

- Badel, E., & Perre, P. (2007). The shrinkage of oak predicted from its anatomical pattern: validation of a cognitive model. *Trees*, 21, 111-120. <https://doi.org/10.1007/s00468-006-0105-z>
- Biley, P. (2005). *Theoretical foundations of heat treatment and drying of wood*. Kolomyia: Publishing house «Vik» [Білей, П. (2005). *Теоретичні основи теплової обробки і сушіння деревини*. Коломия: Видавництво «Вік». 364 с.] (in Ukrainian)
- Biley, P. V., Kombarov, A. M., & Biley, P. P. (2012). The study of physical properties of the wood of oak. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 22(5), 113–116. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_5/113_Bil.pdf [Білей, П. В., Комбаров, А. М., Білей, П. П. (2012). *Дослідження фізичних властивостей деревини дуба*. Науковий вісник НЛТУ України, 22(5), 113–116] (in Ukrainian)
- Biley, P. V.; Ozarkiv, I. M.; Huber, Yu. M.; Pavlyust, V. M., & Kopynets, Z. P. (2006). *Vacuum drying of wood*. Lviv: Editorial and Publishing Department of UNFU. [Білей, П. В., Озарків, І. М., Губер, Ю. М., Павлюст, В. М., Копинець, З. П. (2006). *Вакуумне сушіння деревини*. Львів: РВВ НЛТУ України. 72 с.] (in Ukrainian)
- Biley, P. V.; Petryshak, I. V.; Sokolovskiy, I. A., & Soroka, L. Ya. (2013). *Heat-and-mass transfer processes in woodworking*. Lviv: Western Ukrainian Consulting Center, LLC. [Білей, П. В., Петришак, І. В., Соколовський, І. А., Сорока, Л. Я. (2013). *Тепломасообмінні процеси деревообробки*. Львів: ЗУКЦ. 376 с.] (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)
- Castro, A., Mituca, C., & Anjos, O. (2006). Shrinkage of beech (*Fagus sylvatica*) and oak (*Quercus robur*) veneer sheets during the drying process. *Ecowood – 2006*, 2. International conference on environmentally – compatible forest products. *Proceedings of Ecowood – 2006*. Edited by Fernando Caldeira Jorge. p: 491–498. Retrieved from https://www.researchgate.net/profile/Ofelia-Anjos/publication/259822784-Shrinkage_of_beech_Fagus_sylvatica_and_oak_Quercus_robur_veneer_sheets_during_the_drying_process/links/0deec52e043ced2f20000000/Shrinkage-of-beech-Fagus-sylvatica-and-oak-Quercus-robur-veneer-sheets-during-the-drying-process.pdf
- DSTU EN 1313-2:2018. (EN 1313-2:1998/AC:1999, IDT) Round and sawn timber. Permitted deviations and preferred sizes. Part 2: Hardwood sawn timber. Effective from January 01, 2019. Official edition. Kyiv: State Enterprise «Ukrainian Research and Training Center for Standardization, Certification and Quality». https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=79821
- DSTU 4920:2008. Sawn wood. Assessment of radial and tangential shrinkage. Effective from July 01, 2009. Official edition. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine. https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=70608 [ДСТУ 4920:2008. Пилопродукція. Визначання радіального і тангенціального усихання. Чинний від 2009-

- 07-01. Вид. офіційне. Київ: Держспоживстандарт України] (in Ukrainian) *DSTU 4922:2008. Timber and sawn wood. Determination methods damp. Effective from July 01, 2009. Official edition. Kyiv: State Consumer Standard of Ukraine. Retrieved from https://online.budstandart.com.ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52795 [ДСТУ 4922:2008. Лісоматеріали та пилопродукція. Методи визначення вологості. Чинний від 2009-07-01. Вид. офіційне. Київ: Держспоживстандарт України] (in Ukrainian)*
- 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>
- Glijer, L. (2011). *Drying wood and more*. Warszawa: Wies Jutra. https://books.google.com.ua/books/about/Suszenie_drewna_i_nie_tylko.html?id=XbRaMwEACAAJ&redir_esc=y [Glijer, L. (2011). *Suszenie drewna i nie tylko*. Warszawa: Wies Jutra. 140 s.] (in Polish)
- Huber, Yu. M., Humenyuk, Zh. Ya., & Hinotskiy, A. K. (2012). Experimental investigation of shrinkage changes of the steamed acacia wood. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 22(2), 83–114. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_2/index.htm [Губер, Ю. М., Гуменюк, Ж. Я., Хіноцький, А. К. (2012). Експериментальні дослідження зміни всихання пропареної деревини акації. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22(2), 83–114] (in Ukrainian)
- Huber, Y., Kopynets, Z., Oliichuk, O., Humeniuk, Z., & Rubinsky, Y. (2025). Investigation of the qualitative characteristics of oak-wood blanks dried in different types of drying chamber. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 28, 229–240. <https://doi.org/10.15421/412517> [Губер, Ю. М., Копинець, З. П., Олійчук, О. І., Гуменюк, Ж. Я., Рубінський, Ю. В. (2025). Дослідження якісних характеристик дубових заготовок, висушених у різних типах сушильних камер. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 28, 229–240] (in Ukrainian)
- Kopynets, Z. P., & Shchupakivsky, 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. <https://forest-woodworking.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/122/309>
- Koval, V. S., Marchenko, N. V., & Inozemzev, G. B. (2008). Question of the estimation of quantity shrinkage of saw-timbers of the different kind of sawing up. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 18(3), 136–142. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_3/136_Koval_18_3.pdf [Коваль, В. С., Марченко, Н. В., Іноземцев, Г. Б. (2008). Щодо оцінки припусків на усихання пиломатеріалів різного виду розпилювання. *Науковий вісник НЛТУ України*, 18(3), 136–142] (in Ukrainian)
- Maksymiv, V. M., Biley, P. V., Kombarov, A. M., & Biley P. P. (2014). The Determination of Machining Allowances for Drying Maple Wood Lumber. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 24(2), 143–146. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_2/143_Maks.pdf [Максимів, В. М., Білей, П. В., Комбаров, А. М., Білей, П. П. (2014). Визначення припусків на всихання пиломатеріалів з деревини явора. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24(2), 143–146] (in Ukrainian)
- 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 року, Львів: НЛТУ України*. <https://doi.org/10.36930/conf150.3.6>
- [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, 2024, Lviv: Ukrainian National Forestry University.*] (in Ukrainian)
- Mayevskyy, V. O., Moroz, R. O., Kopynets, S. V., Ferents, O. B., Shchupakivsky, 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)

- Ozarkiv, I. M., Kopynets, Z. P., & Acberher, Yo. L. (2006). Methods of Kirpichov's Criterion Research as Basic of Cracks Forming in Convective Wood Drying. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 16(2), 81–85. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_2/index.htm [Озарків, І. М., Копинець, З. П., Ацбергер, Й. Л. (2006). Методика дослідження критерію Кірпи́чова як основного критерію тріщиноутворення у процесі конвективного сушіння деревини. *Науковий вісник НЛТУ України*, 16(2), 81–85] (in Ukrainian)
- Perré, P., & Keey, R. B. (2006). Drying of Wood: Principles and Practices. In book: *Handbook of Industrial Drying*. (3rd ed., pp. 821–877). Taylor & Francis Group. <https://doi.org/10.1201/b17208-44>
- Pinchevska, O. O. (2013). Determination of oak wood shrinkage. *Scientific Bulletin of the National University of Life Resources and Environmental Management of Ukraine. Series "Forestry and Ornamental Gardening"*, 187, 205–209. https://forestscience.com.ua/web/uploads/journals_pdf/Ukrainian%20journal%20of%20forest%20and%20wood%20science_No%20187_Part_2.pdf [Пінчевська, О. О. (2013). Визначення всихання деревини дуба. *Науковий вісник НУБіП України. Серія «Лісівництво та декоративне садівництво»*, 187, 205–209] (in Ukrainian)
- Rahimi, S., Singh, K., DeVallance, D., Chu, D., & Bahmani, M. (2022). Drying behavior of hardwood components (sapwood, heartwood, and bark) of red oak and yellow-poplar. *Forests*, 13(5), 722. <https://doi.org/10.3390/f13050722>
- 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. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2005/15_4/109_Szostak_15_4.pdf [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)
- Strikha, I. A. (1950). *Allowances for shrinkage of beech lumber*. Kyiv: Publishing House of the Academy of Architecture of the Ukrainian SSR [Стрі́ха, І. А. (1950). *Припуски на всихання букових пиломатеріалів*. Київ: Видавництво Академії архітектури УРСР. 55 с.] (in Ukrainian)
- Teischinger, A., Avramidis, S., Hansmann, Ch., & Mayrhofer, A. (2023). *Sawn Timber Steaming and Drying*. In book: *Springer Handbook of Wood Science and Technology* (pp.1167–1210). https://doi.org/10.1007/978-3-030-81315-4_23
- 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), No2, 111–126. <https://doi.org/10.31926/but.fwiafe.2024.17.66.2.7>

Features of the Shrinkage Magnitude of Oak Wood Blanks Dried in Kilns of Various Types

Yu. Huber¹, O. Oliichuk², S. Kopynets³, Zh. Humeniuk⁴, A. Ferents⁵

Wood is among the materials whose linear dimensions vary depending on the temperature and humidity conditions of the surrounding environment. These characteristics should be taken into account not only during wood machining processes, where allowances for shrinkage must be considered, but also during service under conditions of varying environmental parameters.

The experimental studies were carried out on specimens (blanks) with nominal dimensions of 50×50×1,000 mm, sawn from pedunculate oak wood (*Quercus robur* L.). The magnitude of shrinkage was determined after drying the specimens in a batch-type convective kiln (KAD-1×6S, Katres) and in a Hildebrand-Brunner vacuum-convective drying kiln. Both kilns had a capacity of approximately 50 m³ of timber to be dried. Stacks measuring 1,200×1,200×1,000 mm were formed from the sawn oak specimens. Stickers with a thickness of 22 mm were used during stack formation. A total of 72 stacks were loaded into each kiln. The specimens were dried to a target final moisture content of 8%.

Multi-stage drying schedules were employed for drying the specimens, comprising the following phases: initial heating, drying, final heat and moisture treatment (conditioning), and cooling. At the first stage of the drying schedule in the convective kiln, the drying agent temperature (t_c) was 33°C and the equilibrium moisture content (W_r) was 16%. At the final stage of the drying schedule, the drying agent temperature was maintained at 60°C, and the drying gradient (TG)

was 2.4. In the vacuum-convective kiln, the drying agent temperature at the first stage of the schedule was 40°C and the equilibrium moisture content was 14%. At the final stage of the drying schedule, the drying agent temperature (t_c) was 63°C and the equilibrium moisture content (W_r) was 5.4%.

After unloading from the drying kiln, the specimens were conditioned in a storage facility with a controlled microclimate for 48 hours, after which their moisture content was measured using a MERLIN HM9 WS-25 capacitive moisture meter. The linear dimensions of the specimens, specifically their thickness and width, were then remeasured at the previously marked locations. The sample size comprised 238 specimens dried in the convective kiln and 210 specimens dried in the vacuum-convective kiln.

When the moisture content of wood decreases below 30%, a reduction in its linear dimensions occurs. The magnitude of this change is influenced by several factors, including wood species, moisture content, density, wood grain (orientation of wood fibres relative to longitudinal axes of the tree), dimensions of the timber assortment, drying schedule, proportion of latewood, anatomical and submicroscopic structure of the wood and the location of the wood specimen extraction with respect to the height and diameter of the log, etc.

The change in the linear dimensions of the specimens was found to be 3.03 mm after vacuum-convective drying and 3.41 mm after convective drying. The corresponding wood shrinkage factors were 0.247 and 0.273 for the vacuum-convective and convective drying methods, respectively.

The experimental results indicated that vacuum-convective drying is characterized by a higher drying intensity, which influences the shrinkage behavior of the wood, leading to lower shrinkage values than those observed in case of convective drying.

Key words: wood drying; pedunculate oak (*Quercus robur* L.); vacuum-convective drying kiln; convective drying kiln; wood species; wood moisture content; temperature; equilibrium moisture content.

¹ Yuriy Huber – PhD in Technical Sciences, Associate Professor at the 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 Oksana Oliichuk – master of sciences, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: lan@nltu.edu.ua

³ Serhiy Kopynets – PhD Student at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kopynets.serhii@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-6194-8309>

⁴ Zhanna Humeniuk – senior lecturer at the Department of Environmental and Wood Protection Technologies and Life Safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: zhanna.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-9453-5812>

⁵ Andriy Ferents – PhD Student at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: ferents.andrii@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8844-5399>



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412619>
Article received 2025.10.15
Article revised 2026.03.12
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ruslan Kozak
kozak_r@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674.815:631.572

Емісія формальдегіду з легких стружкових плит з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Р.О. Козак¹, В.С. Бірук²

Досліджено вплив стружки зі стебел соняшника та міскантуса на емісію вільного формальдегіду з легких тришарових стружкових плит. Актуальність дослідження зумовлена посиленням екологічних вимог до деревинних композиційних матеріалів та необхідністю зменшення використання деревинної сировини у виробництві плит. Мета роботи полягала у встановленні впливу на показники емісії формальдегіду часткової та повної заміни деревинної стружки у внутрішньому шарі легких стружкових плит стружкою зі стебел соняшника та міскантуса. У лабораторних умовах виготовлено тришарові стружкові плити щільністю 550 кг/м³ з різним вмістом агросировини у внутрішньому шарі. Для склеювання використано клей на основі карбамідоформальдегідної смоли. Визначення емісії вільного формальдегіду проводили методом газового аналізу відповідно до вимог EN ISO 12460-3. Встановлено, що використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса сприяє зниженню емісії формальдегіду порівняно з контрольними плитами, виготовленими виключно з деревинної стружки. Найнижчий показник емісії формальдегіду отримано для плит зі 100% стружки зі стебел соняшника у внутрішньому шарі – 2,32 мг/(м²·год), що на 23,93% нижче порівняно з контрольними зразками. Для плит зі 100% стружки міскантуса середній показник емісії формальдегіду становив 2,76 мг/(м²·год), що на 9,51% нижче від контрольних плит. Комбіноване використання стружки зі стебел соняшника і міскантуса також сприяло зменшенню виділення формальдегіду. Усі дослідні зразки, включно з контрольними, відповідали вимогам класу емісії формальдегіду E1. Зниження емісії формальдегіду пояснюється особливостями будови лігноцелюлозної сировини, меншою її щільністю та формуванням більш щільної структури плит із меншою пористістю. Використання стебел соняшника та міскантуса у виробництві легких

¹ Козак Руслан Олегович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kozak_r@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

² Бірук Володимир Сергійович – аспірант кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-730-58-53. E-mail: volodymyr.biruk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-7425-0769>

стружкових плит дає змогу розширити сировинну базу, зменшити споживання деревини та підвищити екологічну безпечність плитних матеріалів.

Ключові слова: екологічність стружкових плит; легкі композити; формальдегідовмісні смоли; агросировина; лігноцелюлозні матеріали; деревоощадні технології.

Вступ (Introduction)

Значну частину сучасних меблів, елементів внутрішнього оздоблення та будівельних виробів виробляють зі стружкових плит (СП). Оскільки більшість стружкових плит виготовляють з використанням карбамідоформальдегідних та інших формальдегідовмісних термореактивних смол, такі вироби здатні виділяти у навколишнє середовище вільний формальдегід (Frihart et al., 2020). У зв'язку з широким застосуванням СП у закритих приміщеннях, проблема емісії формальдегіду набуває особливого значення з погляду безпеки для здоров'я людини.

У 2004 р. Міжнародне агентство з вивчення раку (IARC) дійшло висновку щодо канцерогенності формальдегіду для людини на підставі встановленого зв'язку між впливом формальдегіду та підвищеним ризиком розвитку онкологічних захворювань, зокрема раку носоглотки та лейкої. Відповідно до Регламенту Європейського Союзу №1272/2008 «Про класифікацію, маркування та пакування речовин і сумішей» (CLP), з 2016 р. формальдегід класифікується одночасно як канцероген категорії 1B та мутаген категорії 2. Це означає, що речовина вважається потенційно канцерогенною для людини, яка здатна спричиняти спадкові генетичні зміни. Таким чином виділення вільного формальдегіду з меблевих виробів і деревинних композитів, особливо в умовах обмеженої вентиляції приміщень, становить серйозну екологічну проблему.

Європейське агентство з хімічних речовин (ECHA) продовжує проводити дослідження, спрямовані на оцінювання ризиків використання формальдегіду та пов'язаних з ним речовин, що стало підґрунтям для поступового посилення нормативних вимог у країнах Європейського Союзу. Аналогічної позиції дотримується і Всесвітня організація охорони здоров'я (ВООЗ). Як наслідок очікується, що з 6 серпня 2026 р. в Європейському Союзі набудуть чинності нові вимоги щодо граничного рівня емісії формальдегіду для деревинних плит та виробів з них – клас E 0,5 із допустимим рівнем емісії у два рази нижчим порівняно з чинним класом E1, в якого допустимий рівень емісії становить 3,5 мг/(м²·год).

У роботах Kristak et al. (2022) та Chrobak et al., (2022) зазначено, що на сьогоднішній день традиційні синтетичні клеї, які використовують у виробництві СП, переважно виготовляють на

основі сполук карбаміду, меламіну та фенолу з формальдегідом і належать до формальдегідовмісних смол. Серед них основними клеями у виробництві стружкових плит вже понад пів століття залишаються саме карбамідоформальдегідні (КФ) смоли. Незважаючи на значну кількість досліджень, присвячених розробленню екологічно безпечніших клеїв, зокрема на основі лігніну, танінів та білкових систем (Bekhta & Sedláčik 2019; Ferdosian et al., 2017; Hemmilä et al., 2017), КФ смоли досі домінують у промисловості завдяки низькій вартості, високій реакційній здатності, короткому часу пресування та задовільним фізико-механічним властивостям плит (Pizzi et al., 2020). Саме тому сучасні тенденції розвитку плитної промисловості спрямовані на зменшення емісії формальдегіду шляхом оптимізації рецептур клеїв, використання альтернативних в'язучих, а також пошуку нових видів сировини, здатної впливати на процеси зв'язування та вивільнення формальдегіду у структурі плит. Особливо цікавим є підхід з використанням нових видів сировини, оскільки, окрім покращення екологічності СП, використання нетрадиційних матеріалів сприятиме вирішенню проблеми дефіциту деревини. Такими матеріалами можуть стати лігноцелюлозні сільськогосподарські рослини. Виробництво легких СП з вмістом лігноцелюлозних сільськогосподарських відходів дасть змогу зменшити використання деревини, знизити собівартість плит та покращити їхню екологічність (Ikubanni et al., 2025; Lee et al., 2022).

У роботі Kara (2025) досліджено вплив стружки з однорічних конопель (*Cannabis sativa* L.) на властивості СП. З цією метою до середнього шару зразків СП додавали конопляну стружку у різних кількостях: 10, 20 і 30%. Як в'язучий компонент використовували КФ смолу в кількості 7% та 12% від маси стружки у середньому та зовнішньому шарах відповідно. Зразки пресували на гідравлічному пресі за температури 195±5°C, тиску 3,0 МПа і тривалості 300 с. Зразки виготовляли розмірами 550 × 550 × 19 мм та щільністю 580 кг/м³. За результатами випробувань зроблено висновок, що конопляна стружка крім того, що позитивно впливає на механічні властивості СП, має значний вплив на емісію вільного формальдегіду. Найнижче значення вмісту вільного формальдегіду було зафіксовано в зразках з 20%-ним заміщенням – 2,91 мг/100 г, що показало зниження вмісту формальдегіду на 24,6% порівняно з контрольним зразком з деревинної

стружки. Найвище значення – 3,86 мг/100 г було зафіксовано в плит, виготовлених без використання конопляної стружки, що пояснюється утриманням вільного формальдегіду в плитах з конопляною стружкою через підвищення міцнісних властивостей плит.

У роботі Keskin et al. (2015) проаналізовано потенціал лушпиння маку (*Papaver somniferum* Linnaeus) як сировини для виробництва СП. Виготовляли тришарові СП з цільовою щільністю 680 кг/м³. Для склеювання використовували КФ смоли. Деревину замінювали у середньому та зовнішніх шарах з інтервалом від 25% до 100%. Емісію вільного формальдегіду досліджували згідно EN 717-1. Найнижчі значення емісії формальдегіду були отримані в СП, виготовлених виключно з використанням макового лушпиння. Показники емісії також знижувалися зі збільшенням частки макового лушпиння в матриці плити від 84,3 ppm (плити з 100% деревини) до 60,00 ppm (плити з 100% лушпиння маку). Такі роботи підтверджують доцільність використання недеревних лігноцелюлозних матеріалів задля зменшення емісії вільного формальдегіду у СП.

Соняшник є однією із найпоширеніших сільськогосподарських культур у світі та має важливе стратегічне значення для аграрного сектору України. Після збору врожаю утворюються значні обсяги стеблових залишків, які переважно не використовують, а переважно спалюють, що створює додаткове екологічне навантаження. Водночас стебла соняшника розглядають як перспективну сировину для виробництва композиційних матеріалів завдяки низькій щільності, розвиненій пористій структурі та високому вмісту целюлози (Bekhta et al., 2023).

Значну увагу науковців також привертає міскантус як високопродуктивна енергетична культура зі значним потенціалом отримання лігноцелюлозної біомаси. Міскантус характеризується швидким ростом, низькими вимогами до умов вирощування та високою врожайністю рослинної маси. Завдяки цим властивостям, його дедалі частіше розглядають як альтернативну сировину для виготовлення деревинних композитів, зокрема легких стружкових плит (Klímek et al., 2018).

Комбінування згаданих матеріалів задля виробництва легких СП дає змогу розширити сировинну базу, а контролюючи вміст кожного з компонентів можна балансувати між кращими механічними (ефект від стружки зі стебел соняшника) та гідрофобними (ефект від стружки зі стебел міскантуса) властивостями плит. Попри зростання кількості досліджень щодо використання аграрних відходів у виробництві

СП, питання впливу стружки зі стебел соняшника та міскантуса на виділення формальдегіду з легких стружкових плит залишається недостатньо вивченим. Особливо малодослідженим є комбіноване використання цих матеріалів у внутрішньому шарі тришарових легких СП. Тому, задля підвищення інтересу виробників та науковців до таких досліджень важливо встановити вплив стружки зі стебел соняшника та міскантуса на показники емісії формальдегіду з легких СП з різним вмістом такої сировини. Зважаючи на покращення механічних властивостей використанням цих матеріалів, результати досліджень екологічності продукту можуть стати серйозним аргументом для можливості впровадження виробництва таких стружкових плит.

Мета роботи – дослідити емісію вільного формальдегіду з легких стружкових плит зі стружкою з стебел соняшника та міскантуса у внутрішньому шарі.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні *завдання дослідження*: експериментально виготовити зразки легких СП з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса, що дасть змогу визначити емісію вільного формальдегіду за стандартними методиками; почергово встановити вплив стружки стебел соняшника, стебел міскантуса та їхньої суміші на емісію вільного формальдегіду з легких стружкових плит для визначення їх екологічності.

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

Об'єкт дослідження – процес виготовлення легких СП з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса. *Предмет дослідження* – емісія формальдегіду з легких СП з вмістом стружки зі стебел соняшника та міскантуса.

Для проведення досліджень використовували три види стружки: деревинну, зі стебел соняшника та зі стебел міскантуса. Деревинна стружка була виготовлена на підприємстві з виробництва стружкових плит. Стружка складалась із суміші хвойних (75%) та листяних (25%) порід деревини. Сировина походила з Івано-Франківської області (Українські Карпати).

Стебла соняшника та міскантуса заготовляли у Львівській області. До моменту використання їх зберігали у сухих умовах. Для отримання стружки стебла спочатку подрібнювали соломорізкою, після чого додатково переробляли у дисковому млині з діаметром отворів вихідної сітки 12 мм. Отриману масу сортували просіюванням з метою вилучення дрібної

фракції. Перед виготовленням плит усі види стружки висушували у сушильній шафі за температури $95 \pm 5^\circ\text{C}$ до досягнення вологості $3 \pm 1\%$.

Для приготування клею використовували КФ смоли марки А виробництва ТОВ «Карпатсмоли» (м. Калуш, Україна). Додатково застосовували карбамід (43% розчин), сульфат амонію $[(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4]$ у вигляді 33% розчину та парафінову емульсію. Основні характеристики КФ смоли були такими: густина – 1270 кг/м^3 , вміст сухого залишку – 65%, в'язкість за чашкою Форда (4 мм, 20°C) – 98 с, pH – 8,05.

У лабораторних умовах виготовляли тришарові стружкові плити розмірами $290 \times 290 \times 16$ мм (довжина $\times$ ширина $\times$ товщина) із цільовою щільністю 550 кг/м^3 . Зовнішні шари плит повністю формували з деревинної стружки. Стружку зі стебел соняшника та міскантуса у зовнішні шари не додавали через наявність у стеблах м'якої серцевини, яка могла б негативно впливати на рівномірність твердості поверхні плит та ускладнювати подальше ламінування. Тому недеревну стружку використовували тільки у внутрішньому шарі плит. Вміст стружки деревинної, зі стебел соняшника та міскантуса у внутрішньому шарі змінювали з кроком 50% відповідно до наведених в таблиці даних.

Таблиця. Розподіл стружки за видами у внутрішньому шарі зразків легких стружкових плит

Table. Distribution of particles by type in the core layer of lightweight particleboards specimens

Походження стружки	A	B	C	D	F	G
Деревина	100	0	0	50	50	0
Соняшник	0	100	0	50	0	50
Міскантус	0	0	100	0	50	50

Частка зовнішніх шарів у структурі плит становила 33%, а внутрішнього шару – 67%. Контрольні зразки виготовляли виключно з деревинної стружки. Для склеювання використовували 100% КФ смоли. Витрата абсолютно сухої смоли становила 14 мас. % для зовнішніх шарів та 9 мас. % для внутрішнього шару від маси абсолютно сухої стружки. До клейової композиції додавали карбамід у кількості 2,3 і 0,5%, а також сульфат амонію – 0,2 і 0,6% від маси сухої стружки для зовнішніх та внутрішнього шарів відповідно. Крім цього, у клейову суміш вводили

парафінову емульсію в кількості 0,8% від маси абсолютно сухої стружки.

Перед випробуванням зразки кондиціювали впродовж семи діб за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ та відносної вологості повітря $65 \pm 5\%$. Для визначення емісії формальдегіду виготовлені плити розрізали на зразки визначених розмірів згідно відповідного стандарту. Випробування зразків щодо визначення емісії вільного формальдегіду проводили згідно EN ISO 12460-3 способом газової камери. Після випробувань здійснювали статистичне опрацювання експериментальних даних.

Результати (Results).

Залежності впливу стружки зі стебел соняшника та міскантуса на емісію вільного формальдегіду з легких СП наведені на рис. 1-4. За результатами досліджень усі досліджувані зразки відповідали класу емісії формальдегіду E1, нормативні значення якого згідно стандарту EN ISO 12460-3 становлять $3,5 \text{ мг/м}^2\cdot\text{год}$.

Загалом (див. рис. 1) було помічено, що збільшення частки стружки зі стебел соняшника та міскантуса у середньому шарі зменшує виділення вільного формальдегіду. Контрольні плити (А) мали найвищі показники емісії формальдегіду – $3,05 \text{ мг/м}^2\cdot\text{год}$. Найнижчі значення емісії формальдегіду – $2,32 \text{ мг/м}^2\cdot\text{год}$ зафіксовано в зразках (В) з 100% вмістом соняшникової стружки у внутрішньому шарі легких СП. Це на 23,93% менше, ніж в контрольних (А) зразках. Дещо більші значення емісії формальдегіду – $2,76 \text{ мг/м}^2\cdot\text{год}$ встановлено для зразків (С) з 100% вмістом стружки зі стебел міскантуса у внутрішньому шарі плит, що на 9,51% менше, ніж у контрольних (А). У зразках СП з комбінацією стружки деревинної, стебел соняшника і міскантуса емісія формальдегіду була нижчою, ніж в контрольних зразках (А): для зразків (D) – на 7,54, для (F) – на 5,57 і для (G) – на 14,10%.

За отриманими результатами, легкі СП зі стружки стебел соняшника і міскантуса мали найкращу екологічність. Цей аспект, на нашу думку, пов'язаний зі зв'язуванням формальдегіду стружкою соняшника і міскантуса, пористість якої є більшою ніж пористість деревини, особливо губчастої серцевинної частини стебел соняшника. Також на зменшення емісії формальдегіду з легких СП, які містять стружку з стебел соняшника, ймовірно впливає губчаста серцевинна частина стебла соняшника, яка інтенсивно поглинає леткий формальдегід.

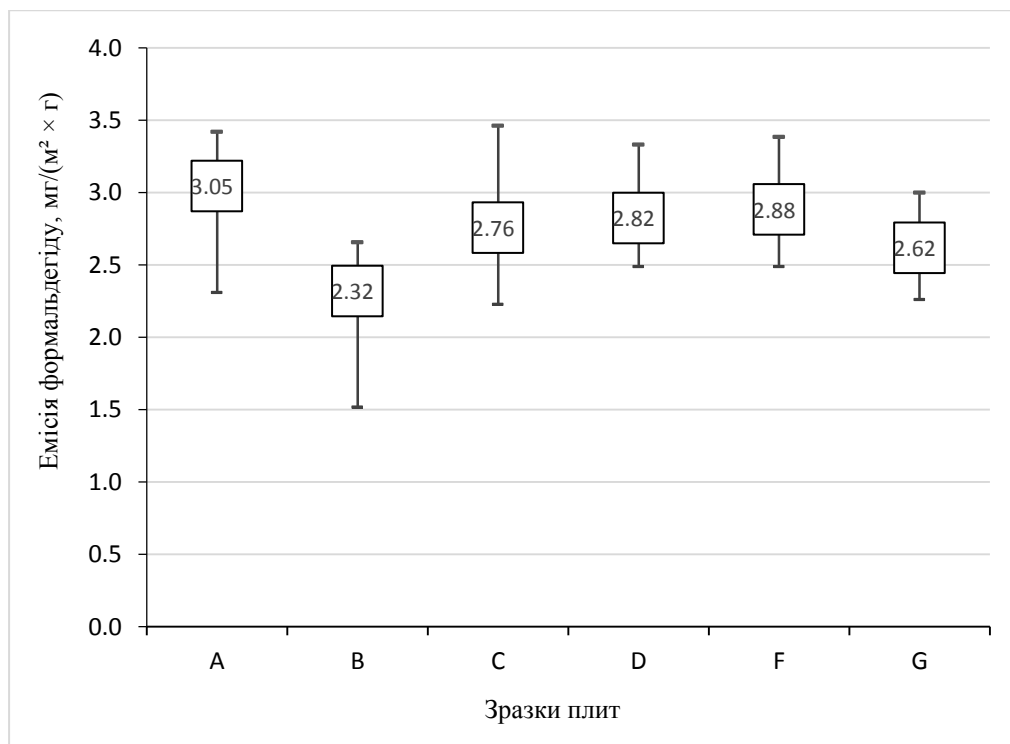


Рис. 1. Показники виділення вільного формальдегіду у дослідних зразках легких стружкових плит

Fig. 1. Free formaldehyde emission values for the experimental lightweight particleboard specimens

На рис. 2 наведено залежність і рівняння регресії емісії формальдегіду з легких СП від вмісту в них стружки зі стебел соняшника. Встановлено, що емісія формальдегіду змінюється за квадратичною залежністю.

Збільшення частки стружки зі стебел соняшника з 0 до 50% у внутрішньому шарі легких стружкових плит зменшує емісію формальдегіду з 3,05 до 2,82 мг/(м²·год) або на 7,54%, а з 0 до 100% – з 3,05 до 2,32 мг/(м²·год) або на 23,93%.

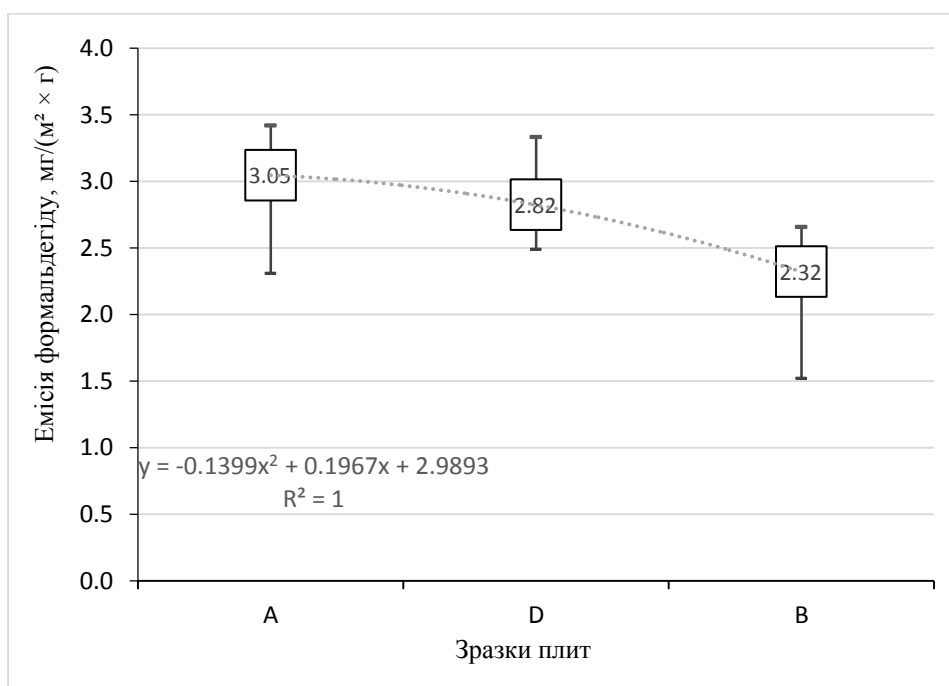


Рис. 2. Залежність емісії формальдегіду з легких СП від вмісту в них стружки зі стебел соняшника

Fig. 2. Effect of sunflower-stalk particles content on formaldehyde emission from lightweight particleboards

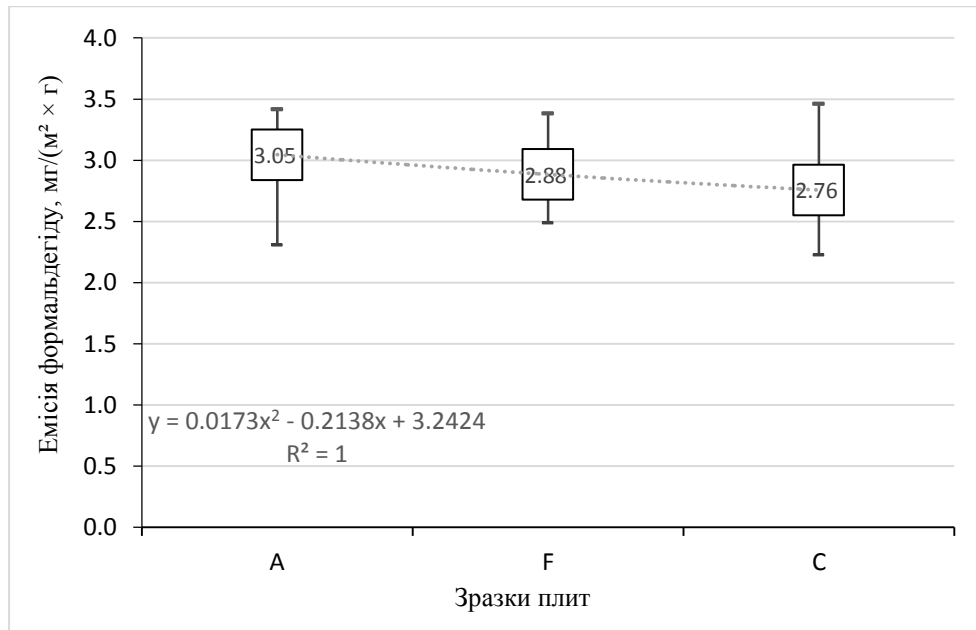


Рис. 3. Залежність емісії формальдегіду з легких СП від вмісту в них стружки зі стебел міскантуса

Fig. 3. Effect of miscanthus-stalk particles content on formaldehyde emission from lightweight particleboards

Стружка зі стебел міскантуса (див. рис. 3) впливає на емісію формальдегіду менше, ніж стружка зі стебел соняшника. Емісія формальдегіду змінюється за квадратичною залежністю. Збільшення частки стружки зі стебел міскантуса з 0 до 50% у внутрішньому шарі легких стружкових плит зменшує емісію

формальдегіду з 3,05 до 2,88 мг/(м²·год) або на 5,57%, а з 0 до 100% – з 3,05 до 2,76 мг/(м²·год) або на 9,51%.

На рис. 4 наведено графічну залежність емісії формальдегіду з легких стружкових плит від вмісту в них суміші стружки зі стебел соняшника та міскантуса.

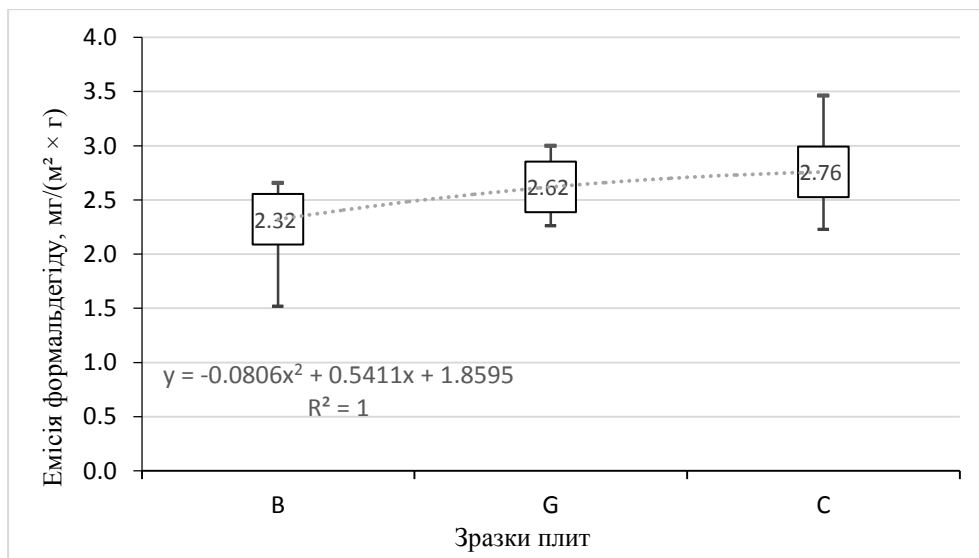


Рис. 4. Залежність емісії формальдегіду з легких СП від вмісту в них стружки зі стебел соняшника та міскантуса

Fig. 4. Effect of sunflower-stalk and miscanthus-stalk particles contents on formaldehyde emission from lightweight particleboards

Встановлено, що емісія формальдегіду також змінюється за квадратичною залежністю. Додавання до стружки зі стебел соняшника стружки зі стебел міскантуса погіршує

екологічність плит. Суміш стружки зі стебел соняшника і міскантуса у співвідношенні 50 : 50 у внутрішньому шарі легких СП спричинила зростання емісії формальдегіду з 2,32 до 2,62

мг/(м²·год) або на 12,93% порівняно з СП з 100% вмістом стружки зі стебел соняшника в їх внутрішньому шарі. Використання у внутрішньому шарі СП 100% стружки зі стебел міскантуса, замість 100% стружки зі стебел соняшника, спричинило зростання емісії формальдегіду з 2,32 до 2,76 мг/(м²·год) або на 18,97%. Отже стружка зі стебел соняшника більше зв'язує формальдегід порівняно з стружкою зі стебел міскантуса.

Дискусія (Discussion).

Bekhta et al. (2023) оцінювали ефективність виробництва легких стружкових плит з використанням стружки зі стебел соняшника. Щільність досліджуваних плит становила 550 кг/м³, а для склеювання використовували клей на основі КФ-смоли. Було встановлено, що заміна деревинної стружки в середньому шарі на стружку зі стебел соняшника призвела до покращення фізико-механічних властивостей легких стружкових плит. Значення вмісту формальдегіду становили менше 3,5 мг/100 г, і всі випробувані плити відповідали вимогам класу емісії формальдегіду E1 (≤ 8,0 мг/100 г). Представлені у цьому дослідженні результати добре узгоджуються з описаними в згаданій роботі.

У роботі Martyniak et al. (2025) досліджено використання лігноцелюлозних рослинних матеріалів у виробництві теплоізоляційних СП щільністю 250 кг/м³. Як заміник деревини використовували п'ять типів біомаси багаторічних рослин – прерійну траву (*Spartina pectinata* Link), гігантський міскантус (*Miscanthus × giganteus* J.M. Greef & Deuter ex Hodkinson & Renvoize), просо (*Panicum virgatum* L.), високу пшеницю (*Elymus elongatus* (Host) D.R. Dewey) та компасник пронизанolistий (*Silphium perfoliatum* L.). Досліджували три варіанти заміщення деревини – 30, 50 та 75%. Для склеювання використано мелаінокарбамідоформальдегідний клей. У межах аналізу виготовлених плит було досліджено механічні, хімічні та теплові властивості, викиди формальдегіду, коефіцієнт теплопередачі, теплоізоляцію і теплопровідність цих плит. Цікавим є те, що використання більшості досліджуваних рослин продемонструвало або сталі значення, або збільшення емісії формальдегіду, а плити, виготовлені з використанням міскантуса, продемонстрували зменшення її значень. Під час заміщення деревини з 30 до 75% показник емісії формальдегіду зменшувався з 0,054 до 0,045 ppm. Результати дослідження (Martyniak

et al., 2025) вказують на властивість стружки міскантуса зменшувати виділення вільного формальдегіду у стружкових плитах низької щільності, що підтверджено результатами нашого дослідження.

Результатами досліджень Kozak et al. (2025, 2025a) встановлено, що стружка зі стебел соняшника та міскантуса покращує фізико-механічні властивості плит, що досягається завдяки збільшенню адгезійних контактів у структурі плити. Разом з тим, збільшення адгезійних контактів спричиняє зростання кількості зв'язаного формальдегіду, що і зменшує його виділення. Подібного висновку дійшли і в роботі Кара (2025).

Зменшення емісії вільного формальдегіду з СП, в яких використано стружку зі стебел соняшника та міскантуса, також можна пояснити різницею їхньої щільності. Менша щільність та наявність м'якої паренхіми дає змогу формувати щільнішу структуру плити з більшою часткою адгезійного зв'язування клею. У стружки зі стебел соняшника частка паренхіми вища, порівняно зі стружкою міскантуса, тому соняшник демонструє кращі показники зв'язування вільного формальдегіду. Такий механізм узгоджується з літературними даними щодо ролі дифузії та адсорбційних процесів в емісії формальдегіду (Liu et al., 2018).

Отже, результати досліджень дали змогу вперше експериментально обґрунтувати зменшення емісії формальдегіду з легких стружкових плит за повної та часткової заміни деревинної стружки стружкою стебел соняшника і міскантуса у внутрішньому шарі таких плит. Отримані результати можуть бути використані для впровадження у виробництво екологічно безпечних легких плитних матеріалів.

Висновки (Conclusions).

1. Результатами досліджень підтверджено доцільність використання стружки зі стебел соняшника та міскантуса у виробництві легких тришарових стружкових плит для зменшення з них емісії формальдегіду.

2. Зі зростанням частки стружки зі стебел соняшника у внутрішньому шарі легких тришарових стружкових плит щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, емісія вільного формальдегіду зменшується. Плити, виготовлені з 100% вмістом стружки зі стебел соняшника у внутрішньому шарі, мають найнижчий показник виділення вільного формальдегіду серед усіх досліджуваних зразків. Плити, виготовлені зі 100% вмістом стружки зі стебел соняшника в середньому

шарі відповідають класу емісії формальдегіду E1 та мають на 33,71% нижчий даний показник від гранично допустимого.

3. Зі зростанням частки стружки зі стебел міскантуса у внутрішньому шарі легких тришарових стружкових плит щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, емісія вільного формальдегіду зменшується. Плити виготовлені з 100 % вмістом стружки зі стебел міскантуса у внутрішньому шарі мають показник виділення вільного формальдегіду вищий порівняно з плитами з стружки зі стебел соняшника, але нижчий ніж показник контрольних плит з виключно деревинної стружки. Плити, виготовлені зі 100% вмістом стружки зі стебел міскантуса в середньому шарі відповідають класу емісії формальдегіду E1 і мають на 21,14% нижчий даний показник від гранично допустимого.

4. Комбінування стружки зі стебел соняшника, міскантуса та деревинної стружки у плитах щільністю 550 кг/м³, склеєних КФ клеєм, демонструє зменшення емісії вільного формальдегіду порівняно з контрольними плитами. Найнижчого показника досягнуто під час комбінування тільки стружки зі стебел соняшника та міскантуса. Плити, виготовлені комбінуванням стружки зі стебел соняшника та міскантуса в середньому шарі, відповідають класу емісії формальдегіду E1 та мають на 25,14% нижчий даний показник від гранично допустимого.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

Bekhta, P., Kozak, R., Gryc, V., Pipiška, T., Sedliačik, J., & Reh, R. (2023). Properties of lightweight particleboard made with sunflower stalk particles in the core layer. *Industrial Crops and Products*, 205, 117444. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2023.117444>

Bekhta, P., & Sedliačik, J. (2019). Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers*, 11(7), 1166. <https://doi.org/10.3390/polym11071166>

Chrobak, J., Howska, J., & Chrobok, A. (2022). Formaldehyde-Free Resins for the Wood-Based Panel Industry: Alternatives to Formaldehyde and Novel Hardeners. *Molecules*, 27(15), 4862. <https://doi.org/10.3390/molecules27154862>

ECHA. Formaldehyde. European Chemicals Agency (ECHA) Substance Information Database, InfoCard № 100.000.002. URL: <https://echa.europa.eu/substance-information/-/substanceinfo/100.000.002>

Ferdosian, F., Pan, Z., Gao, G., & Zhao, B. (2017). Bio-Based Adhesives and Evaluation for Wood Composites Application. *Polymers*, 9(2), 70. <https://doi.org/10.3390/polym9020070>

Frihart, C. R., Chaffee, T. L., & Wescott, J. M. (2020). Long-Term Formaldehyde Emission Potential from UF- and NAF-Bonded Particleboards. *Polymers*, 12(8), 1852. <https://doi.org/10.3390/polym12081852>

Hemmilä, V., Adamopoulos, S., Karlsson, O., & Kumar, A. (2017). Development of sustainable bio-adhesives for engineered wood panels: A review. *RSC Advances*, 7(61), 38604–38630. <https://doi.org/10.1039/C7RA06598A>

IARC. Formaldehyde, 2-Butoxyethanol and 1-tert-Butoxypropan-2-ol. Lyon: International Agency for Research on Cancer, 2006. (IARC Monographs on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans; Vol. 88). URL: <https://publications.iarc.fr/Book-And-Report-Series/Iarc-Monographs-On-The-Identification-Of-Carcinogenic-Hazards-To-Humans/Formaldehyde-2006>

Ikubanni, P. P., Adeleke, A. A., Adekanye, T. A., Aladegboye, O. J., Agboola, O. O., & Ogunsemi, B. T. (2025). Particleboard from biomass wastes: A review of production techniques, properties, and future trends. *Research on Engineering Structures & Materials*, 11(2), 713–740. <https://doi.org/10.17515/resm2024.265ma0502rv>

Kara, M. E. (2025). Mechanical and physical properties of particleboard produced from hemp plant. *BioResources*, 20(3), 5361–5376. <https://doi.org/10.15376/biores.20.3.5361-5376>

Keskin, H., Küçüktüvek, M., & Gür, M. (2015). The potential of poppy (*Papaver somniferum* Linnaeus) husk for manufacturing wood-based particleboards. *Construction and Building Materials*, 95, 224–231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.07.160>

Kozak, R. O., & Biruk, V. S. (2025). Mechanical properties of lightweight particleboards containing sunflower and miscanthus stem particles. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 35(6), 41–48. <https://doi.org/10.36930/40350605> [Козак, Р. О., Бірук, В. С. (2025). Механічні властивості легких стружкових плит із вмістом стружки стебел соняшника та міскантуса. *Науковий*

- вісник НЛТУ України, 35(6), 41–48] (in Ukrainian)
- Kozak, R., & Biruk, V. (2025a). Operational properties of lightweight particleboard with sunflower and miscanthus stem particles. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 29, 290–301. <https://doi.org/10.36930/412539> [Козак, Р., Бірук, В. (2026). Експлуатаційні властивості легких стружкових плит з вмістом стружки стебел соняшника та міскантуса. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 29, 290–301] (in Ukrainian)
- Klímeček, P., Wimmer, R., Meinlschmidt, P., & Kúdela, J. (2018) Utilizing Miscanthus stalks as raw material for particleboards. *Industrial Crops and Products*, 111, 270–276. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2017.10.032>
- Kristak, L., Antov, P., Bekhta, P., Lubis, M. A. R., Pizzi, A., & Hejna, A. (2022). Recent progress in ultra-low formaldehyde emitting adhesive systems and formaldehyde scavengers in wood-based panels: A review. *Wood Material Science & Engineering*, 18(2), 763–782. <https://doi.org/10.1080/17480272.2022.2056080>
- Lee, S. H., Lum, W. C., Geng, B. J., Krišťák, L., Antov, P., Pędzik, M., ... Pizzi, A. (2022). Particleboard from agricultural biomass and recycled wood waste: a review. *Journal of Materials Research and Technology*, 20(4-5), 4630–4658. <https://doi.org/10.1016/j.jmrt.2022.08.166>
- Liu, R., Liu, M., Qu, Y., Huang, A., & Ma, E. (2018). Dynamic moisture sorption and formaldehyde emission behavior of three kinds of wood-based panels. *European Journal of Wood and Wood Products*, 76, 1037–1044. <https://doi.org/10.1007/s00107-017-1255-y>
- Martyniak, D., Pędzik, M., Żurek, G., Tomczak, K., Gąsiorowski, R., Komorowicz, M., & Janiszewska-Latterini, D. (2025). Exploitation of Perennial Plant Biomass for Particleboards Designed for Insulation Applications. *Materials*, 18(2), 352. <https://doi.org/10.3390/ma18020352>
- Pizzi, A., Papadopoulos, A. N., & Policardi, F. (2020). Wood Composites and Their Polymer Binders. *Polymers*, 12(5), 1115. <https://doi.org/10.3390/polym12051115>

Formaldehyde emissions from lightweight particleboard containing sunflower and miscanthus stalk particles

R. Kozak¹, V. Biruk²

The study presents the results of investigating the effect of sunflower-stalk (*Helianthus annuus* L.) and miscanthus-stalk (*Miscanthus × giganteus*) particles (chips) on free formaldehyde emissions from lightweight three-layer particleboards glued with urea-formaldehyde (UF) adhesive. The relevance of this study is due to increasingly stringent environmental requirements for wood-based composite materials and the need to reduce the consumption of wood raw materials in the production of boards (panels). Formaldehyde is classified as a carcinogenic and substance, and current trends in the woodworking industry are focused on reducing its emissions while simultaneously reducing dependence on traditional

wood raw materials. In this context, agricultural lignocellulosic residues are considered promising alternative resources for sustainable particleboard production. Among such materials, sunflower stalks and miscanthus biomass attract considerable attention due to their low density, porous structure, wide availability and potential for improving the environmental performance of composite panel materials. Therefore, the aim of the study was to determine the impact of partial and complete replacement of wood particles in the core layer of lightweight particleboards with sunflower stalk and miscanthus stalk particles on the level of formaldehyde emission. Three-layer particleboards with a density of 550 kg/m³ were

¹ Ruslan Kozak – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose & Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kozak_r@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1297-9810>

² Volodymyr Biruk – PhD Student at the Department of Wood-Based Composites, Cellulose & Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: volodymyr.biruk@nltu.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0009-0002-7425-0769>

manufactured in laboratory conditions. The outer layers consisted entirely of wood particles (chips), while the core layer contained different proportions of wood particles, sunflower stalks and miscanthus stalks. Agricultural raw material particles were included in the core layer with a substitution step of 50%, including mixtures of sunflower and miscanthus particles. An urea-formaldehyde resin-based adhesive was used for bonding. The emission of free formaldehyde was determined by gas analysis according to EN ISO 12460-3. The highest emission value was recorded for the control boards and was 3.05 mg/(m²·h). The lowest formaldehyde emission level was obtained for boards containing 100% sunflower stalk particles in the core layer amounting to 2.32 mg/(m²·h), which is 23.93% lower compared to the control samples. Boards made from 100% miscanthus stalk particles showed an average formaldehyde emission value of 2.76 mg/(m²·h), which is 9.51% lower than this indicator of the control boards. The combined use of sunflower and miscanthus particles also contributed to the reduction of formaldehyde emissions compared to the control lightweight particleboards. All tested specimens

met the requirements for formaldehyde emission class E1 in accordance with EN ISO 12460-3. The reduction in formaldehyde emission can be attributed to the structural characteristics of lignocellulosic agricultural raw materials, their lower density and the formation of a denser internal structure of the board with improved adhesive bonding and reduced porosity. In particular, sunflower stalk particles demonstrated the best ability to bind and retain formaldehyde due to the presence of a porous parenchymal structure of the stem pith. The findings demonstrate the potential of sunflower stalk and miscanthus particles as environmentally friendly alternative raw materials for the production of lightweight particleboards. Their use enables the expansion of the raw material base for panel production, reduces wood consumption, enhances environmental sustainability, and facilitates the development of sustainable technologies aimed at reducing the use of wood in the manufacture of wood-based composite materials.

Key words: eco-friendly particleboards; lightweight composites; formaldehyde containing resins; agricultural raw materials; lignocellulosic materials; wood saving technologies.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412620>
Article received 2025.11.18
Article revised 2026.02.23
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yevstakhii Myskiv
myskivs@i.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674.05:621.914.3-529

Вплив діаметра інструмента та швидкості його подачі на час виготовлення гнізда для замка в дверному полотні на верстаті з ЧПК

Є.М. Миськів¹, Р.Г. Барабаш², А.А. Калина³

Українська деревообробна промисловість має доступ до найсучасніших машин та обладнання з числовим програмним керуванням (ЧПК), однак галузь часто не може повною мірою використати цей потенціал, що призводить до прийняття неоптимальних рішень на виробництві. Формування вартості дверних блоків, а особливо – дверних полотен для кінцевого споживача значною мірою залежить від собівартості виробу на етапі його виробництва, тобто від кількості сировинних, енергетичних, логістичних, часових, трудових та інших ресурсів, які затрачено в процесі виготовлення цієї продукції.

Здійснено аналіз ефективності використання інструменту різного діаметра в контексті порівняння траєкторії його переміщення та впливу на виробничий час виготовлення замкового гнізда, що формується під час оброблення дверного полотна на верстаті з ЧПК із використанням агрегату для цієї операції. За результатами дослідження сформовано рекомендації для вибору діаметра різального інструмента з урахуванням критеріїв ресурсоощадності виготовлення дверного полотна.

Розроблено математичну модель для прогнозування витрати часу на виготовлення гнізд під замок. Математична модель описує залежності часу виготовлення замкового гнізда від геометричних параметрів, траєкторії переміщення різального інструменту та розмірів самого гнізда. Встановлено коефіцієнт швидкості інструмента, який враховує нелінійність швидкості переміщення приводів по осях верстата з ЧПК за зміни напрямку руху. Усереднене значення коефіцієнта швидкості ($K_{\text{швидкості}}$) становить 0,75611 для подачі 10м/хв, що зумовлено неможливістю досягнути заданої подачі через невеликі відстані переміщення інструменту в замковому гнізді.

¹ Миськів Євстахій Михайлович – кандидат технічних наук, старший викладач кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: myskivs@i.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1762-4728>

² Барабаш Руслан Григорович – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: barabash.r@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5533-6889>

³ Калина Артем Анатолійович – аспірант кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: kalyna.a@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8191-9800>

Ключові слова: *ресурсоощадність; технологічний процес; дверний блок; пакування; агрегат 4-ої осі; діаметр інструмента; виробничий час; коефіцієнт швидкості; оптимізація процесів; міжкімнатні двері.*

Вступ (Introduction).

У процесі виготовлення дверних блоків кількість ресурсозатрат значною мірою залежить від обраної технології виробництва, характеристик наявного обладнання та його технологічних параметрів, організації самого виробництва тощо. Запровадження заходів зі зменшення додаткових переміщень заготовок між операціями технологічного процесу виготовлення дверей має ресурсоощадний та економічний ефект (Czerwińska & Grebski, 2021), а також зумовлює зменшення виробничого часу загалом. Окрім того, моніторинг завантаженості обладнання на лінії виготовлення дверей та аналіз процесу дають можливість впливати на різних етапах та покращувати його ефективність використання (Czerwińska & Pacana, 2019). Для зменшення виробничого часу і тим самим зменшення ресурсозатратності загалом, особливу увагу варто приділити моніторингу та аналізу найбільш трудо- і часозатратній операції у процесі виготовлення дверей – етапу виготовлення гнізд під дверну фурнітуру.

На ресурсозатратність процесу формування гнізд під дверну фурнітуру мають вплив низка чинників і технологічних параметрів, куди варто віднести тип обладнання, параметри інструменту, розміри і тип фурнітури тощо. Можливість прогнозування витрат часу на процес формування гнізд під дверну фурнітуру з урахуванням міри впливу усіх факторів і технологічних параметрів дасть змогу змінювати та обирати ці технологічні параметри, тим самим підвищуючи ресурсоощадність виробництва дверей загалом.

Деревообробна галузь України є сферою, де високі технології привертають особливий інтерес. Раціональний підбір обладнання є технологічно важливим чинником, адже це складатиме фундамент всього технологічного процесу виготовлення виробу. Для прикладу, Gola et al. (2011) описують чотирьохетапну методологію вибору верстата (машини) для цілеспрямованої гнучкої виробничої системи.

Для виробництва дверних блоків на ринку деревообробки існує широкий ряд високопродуктивного спеціалізованого обладнання, ефективність якого підтверджено дослідницьким шляхом (Kwidziński et al., 2021; Kwidziński et al., 2023). Як один із варіантів упровадження спеціалізованого обладнання для фрезерування гнізд під замки та завіси розглядають обладнання SBK300 виробника Homag Group. Для підвищен-

ня продуктивності та гнучкості обладнання такого типу необхідне впровадження додаткового оснащення, наприклад такого, як додатковий поворотний стіл (Jiang et al., 2014).

У деревообробній галузі України під час індивідуального виробництва дверей більш поширеним є використання універсального обладнання, а саме 4- та 5-осьових обробних центрів з числовим програмним керуванням (ЧПК), що сприяє гнучкості самого виробництва. Ashley (2016) зазначає, що впровадження інноваційних підходів у проєктуванні та використанні гнучких виробничих технологій, зокрема верстатів із ЧПК, забезпечує підвищення конкурентоспроможності виробників. Для виготовлення в дверному полотні гнізд під фурнітуру на 4-осьових обробних центрах з ЧПК необхідним є використання додаткових агрегатів 4-ої осі. Прикладом таких агрегатів 4-ої осі можуть бути агрегати компанії-виробника ATEMAC Aggregatetechnologie und Manufaktur AG.

Важливими чинниками, що впливають на результат механічного оброблення, є оптимальний розрахунок режимів роботи та вибір різального інструмента (Lopez de Lacalle, et al., 2015; Gisip, et al., 2026). Під час створення управляючих програм вибірки гнізд під дверну фурнітуру з використанням агрегатів 4-ої осі, потрібно враховувати діаметр інструменту, оскільки він має прямий вплив на траєкторію руху інструменту.

За умов рівності діаметра інструмента ширині гнізда, траєкторія руху інструмента є простим переміщенням в межах однієї площини (рис. 1a). За умов, коли діаметр інструмента менший ніж ширина заданого гнізда, переміщення інструмента відбувається за складною спіралеподібною траєкторією (рис. 1b). Важливо також враховувати, що зміна діаметра фрези після заточування призведе до необхідності змінити траєкторію руху навіть за умови, коли зміна діаметра інструменту є незначною.

Отже, діаметр інструменту є важливим технологічним параметром, який впливає на траєкторію переміщення під час виготовлення гнізд під дверну фурнітуру. Зміна траєкторії переміщення інструменту, своєю чергою, впливає на витрати часу для виготовлення гнізд, а відповідно – і на загальний виробничий час. Зменшення витрат виробничого часу є одним із напрямів впровадження ресурсоощадності на виробництві.

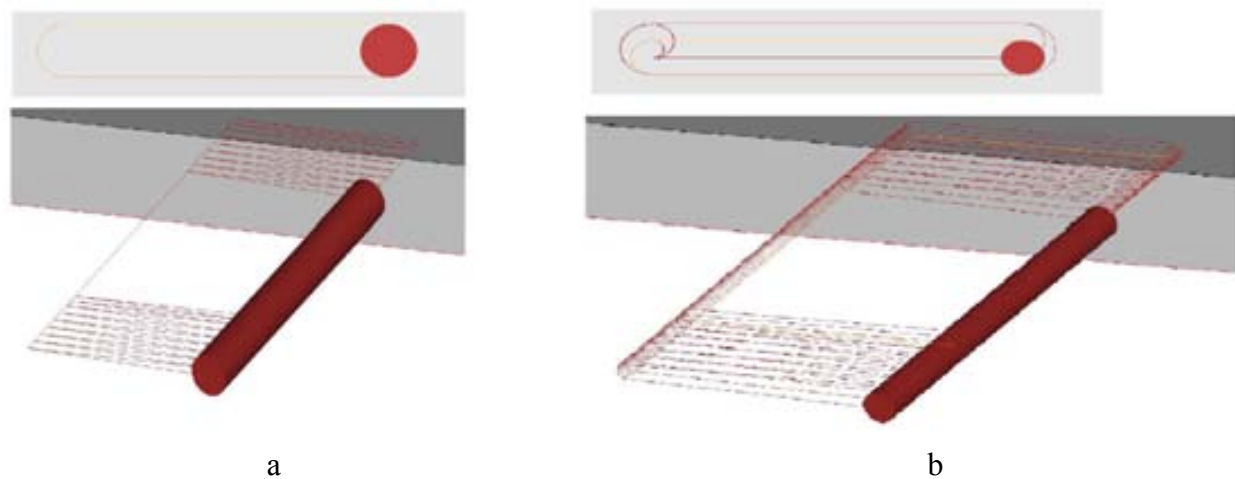


Рис. 1. Знімок екрана програмного забезпечення WoodFlash з візуалізацією траєкторії переміщення різального інструменту

- a – діаметр інструмента співпадає із заданою шириною гнізда
b – діаметр інструмента не співпадає із заданою шириною гнізда

Fig. 1. Screenshot of the WoodFlash software illustrating the cutting tool trajectory

- a – the tool diameter matches the specified mortise width
b – the tool diameter does not match the specified mortise width

Вплив траєкторії руху інструменту на виробничий час також підтверджено результатами досліджень (Narooei & Ramli, 2014; Petrovic et al., 2017), які доводять, що оптимізація траєкторії переміщення інструменту є одним із ефективних способів підвищення ефективності верстатів з ЧПК, скорочення часу обробки та зменшення енергоспоживання.

Схематично залежність виробничого часу від діаметра інструмента і траєкторії його руху представлено на рис. 2.

Ефективне використання фрез значною мірою залежить від правильного вибору їх

розмірних і геометричних параметрів та врахування швидкості різання (Cakmak et al., 2023) для конкретних умов обробки (Yaghoubi et al., 2024). Науковці (Csanády & Magoss, 2020) акцентують увагу на значному впливі діаметра фрези на швидкість різання. Підбір різального інструмента за такого методу базується на режимах обробки як головного чинника. Здавалося б, для підвищення продуктивності обробки доцільно обирати фрези більшого діаметра, проте цьому перешкоджає обернено пропорційна залежність між частотою обертання та діаметром інструмента за фіксованої швидкості різання.

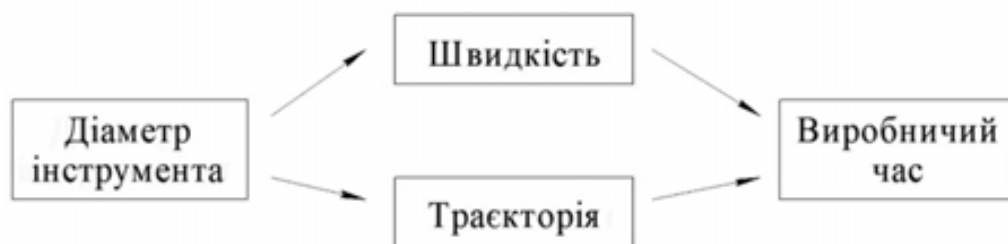


Рис. 2. Схеми впливу діаметра інструмента на виробничий час

Fig. 2. Diagram illustrating the effect of cutting tool diameter on production time

Під час вибору фрези потрібно врахувати також той аспект, що збільшення її діаметра спричиняє деяке подовження шляху врізування і перебігання, що, відповідно, знижує продуктивність обробки.

Таким чином, вибір діаметра різального інструмента зумовлює зміну траєкторії його переміщення, що в підсумку визначає тривалість виготовлення виробу та загальний виробничий час. Можливість прогнозування витрати часу для різних траєкторій переміщення інструмента

певного діаметра за різних поставлених задач матиме важливе значення для ресурсоощадності у виробництві дверних полотн.

Актуальність дослідження полягає в тому, що діаметр різального інструмента, який використовують для виготовлення гнізда в дверному полотні, має істотний вплив на витрати часу певної технологічної операції і, як наслідок, на ресурсоощадність виготовлення дверного полотна через безпосередній вплив на форму і довжину траєкторії переміщення інструменту.

Дослідження, що пов'язані з розрахунком оптимальної швидкості обертання різального інструменту, розміру подачі та глибини оброблення за прохід, описують вплив на витрати часу не повною мірою за рахунок наявності складних ділянок траєкторії переміщення, на яких досягнення сталої швидкості подачі є неможливим унаслідок технологічних обмежень обладнання. Наявність, форма та кількість ділянок траєкторії переміщення різального інструменту залежить від його діаметра не лінійно. Дослідження впливу цього фактора на прогнозування витрат часу виготовлення гнізда під замок у дверному полотні шляхом побудови математичної моделі залишається недостатньо вивченим і має суттєве практичне значення, а також впливає на ресурсоощадність технологічного процесу виготовлення дверних полотен.

Мета досліджень полягає у розробленні математичної моделі для прогнозування витрати часу на виготовлення гнізд під замок за умов різних траєкторій переміщення інструмента різного діаметра.

Об'єкти і методика досліджень (Objects and methods)

Об'єкт дослідження – процес виготовлення гнізд під замок у дверному полотні на верстаті з числовим програмним керуванням. *Предмет дослідження* – витрати часу на виготовлення гнізд під замок за умов різних траєкторій переміщення інструмента різного діаметра.

Час виготовлення гнізда під замок агрегатом 4-ої осі на верстаті з ЧПК вміщує три складові, а саме, час переміщення інструмента до місця обробки, час фрезерування гнізда та час виходу інструмента із заготовки:

$$T = T_{\Pi} + T_{\Phi} + T_{\text{В}} \quad (1)$$

де T_{Π} – час переміщення інструмента до місця обробки, с; T_{Φ} – час фрезерування гнізда, с; $T_{\text{В}}$ – час виходу інструмента з гнізда, с.

Час переміщення T_{Π} до місця фрезерування для різного обладнання є різним. На час переміщення впливає розташування агрегата в магазині, положення самого магазину (на станині, на рухомій частині верстату з ЧПК) тощо.

Час виходу інструмента з гнізда $T_{\text{В}}$ залежить від глибини гнізда. Тривалість цього етапу залежить від швидкості переміщення інструмента, яка задана програмним забезпеченням конкретного верстата з ЧПК та глибину гнізда.

Час фрезерування гнізда T_{Φ} встановлювали як відношення довжини траєкторії переміщення інструмента до швидкості його переміщення, що задана параметрами верстату:

$$T_{\Phi} = \frac{L_{\text{ТР}}}{V \cdot K_{\text{швидкості}}} \quad (2)$$

де $L_{\text{ТР}}$ – довжина траєкторії переміщення інструмента, мм; V – робоча швидкість переміщення інструмента, м/хв; $K_{\text{швидкості}}$ – коефіцієнт швидкості інструмента, який враховує нелінійність швидкості переміщення по осях приводів верстата з ЧПК, а саме, етапи розгону та гальмування приводів під час зміни напрямку руху (Калина, Миськів, 2024). Залежно від обраної швидкості подачі, цей коефіцієнт має різне значення та визначається експериментальним шляхом.

Під час фрезерування гнізда під замок переміщення інструмента відбувається за траєкторією у формі прямокутника (по периметру гнізда) з поступовим заглибленням, тобто "спіралеподібно". За кожен «виток» відбувається врізання інструмента на глибину заданого кроку (рис. 3). Такий спосіб фрезерування зменшує навантаження на агрегат та мінімізує осьові навантаження на інструмент, а також не потребує додаткових витрат часу на заглиблення інструменту. Отже, для визначення затрат часу на фрезерування гнізда під замок врахували довжину траєкторії, що визначена як добуток довжини периметра прямокутника $O_1O_2O_3O_4(P)$ та кількість таких повторювань (кроків) (n) залежно від заданої глибини гнізда під замок:

$$L_{\text{ТР}} = P \cdot n \quad (3)$$

Кількість повторень (n) – це відношення глибини пазу (H) до кроку врізання (S), але результат цього співвідношення завжди округлюють вгору до найближчого цілого числа (функція стелі):

$$n = \lceil \frac{H}{S} \rceil \quad (4)$$

$$P_{O_1O_2O_3O_4} = 2(b_T + l_T) = 2(B + L - 2D) \quad (5)$$

де b_T – ширина траєкторії переміщення, мм; l_T – довжина траєкторії переміщення, мм; B – ширина замкового гнізда, мм; L – довжина замкового гнізда, мм; D – діаметр фрези, обраної для фрезерування замкового гнізда, мм.

Отже, затрати часу на виготовлення гнізда під замок у дверному полотні визначили за наступною математичною залежністю:

$$T_{\Phi} = 0,12 \cdot \frac{(B+L-2D) \cdot \lceil \frac{H}{S} \rceil}{V \cdot K_{\text{швидкості}}}, \text{ с} \quad (6)$$

$$T = T_{\Pi} + 0,12 \cdot \frac{(B+L-2D) \cdot \lceil \frac{H}{S} \rceil}{V \cdot K_{\text{швидкості}}} + T_{\text{В}}, \text{ с} \quad (7)$$

Ця математична залежність дає змогу прогнозувати затрати часу під час виготовлення гнізда під замок у дверному полотні на обладнанні різного типу, і, як наслідок, змінювати необхідні параметри для мінімізації витрат часу.

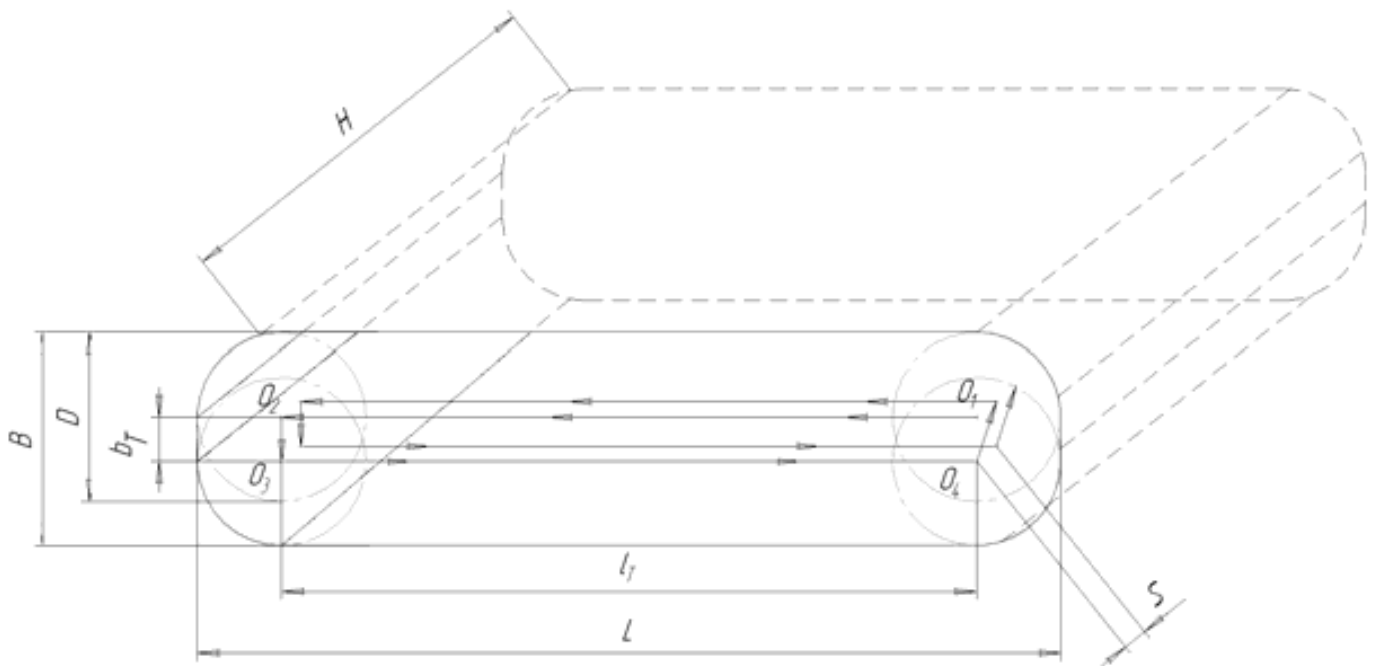


Рис. 3. Схема розрахунку траєкторії переміщення інструмента
Fig. 3. Tool movement trajectory calculation scheme

Для перевірки достовірності отриманої математичної моделі провели експериментальні дослідження у виробничих умовах. Експериментальні дослідження виконали з використанням

агрегату 4-ої осі на обробному центрі з ЧПК Format4 Profit H200. Для формування гнізд під замок у дверному полотні використали інструмент діаметром: 12; 14; 16 та 18 мм (рис. 4).



Рис. 4. Загальний вигляд ріжучого інструменту
Fig. 4. General view of the cutting tool

Повели фрезерування гнізд трьох типорозмірів завглибшки 50, 70 і 90 мм та трьох типорозмірів завдовжки 80, 100 і 120 мм, що є найбільш поширеними розмірами гнізд, про що свідчить додатковий аналіз типорозмірів дверних замків (DIN 18251:2020-04; Tobias, 2015). Ширину гнізда прийняли у 18 мм, що відповідає максимальному значенню у цих виробничих умовах. В кожному досліді провели п'ять вимірювань, на основі яких встановили

середній час виготовлення гнізда заданих розмірів при застосуванні інструмента визначеного діаметра. Сумарно виготовили більше 150 замкових гнізд для різних значень швидкості переміщення інструмента. Параметри швидкості переміщення інструмента і крок заглиблення обрали згідно допустимих характеристик використовуюваного агрегату 4-ої осі. Крок заглиблення становив 6 мм, а швидкості переміщення – 1; 2; 3; 5; 7 і 10 м/хв.

Результати (Results)

Результати експериментальних досліджень у виробничих умовах засвідчили, що затрати часу на фрезерування гнізда залежать від його геометричних розмірів, а також діаметра та швидкості подачі інструмента, що використовувався для фрезерування цього гнізда. Зі

збільшенням розмірів гнізда виробничий час збільшується, але за умови збільшення діаметра інструмента – зменшується. У випадку заміни одразу трьох параметрів (геометричні розміри, діаметр та швидкість подачі) результати експериментальних досліджень мають складну нелінійну залежність (табл. 1).

Таблиця 1. Результати експериментальних досліджень

Table 1. Results of experimental studies

№	Діаметр фрези, мм	Параметри гнізда шириною B=18 мм		Час фрезерування гнізда T _ф , с						
		Глибина гнізда Н, мм	Довжина гнізда L, мм	Швидкість подачі агрегату 1 м/хв	Швидкість подачі агрегату 2 м/хв	Швидкість подачі агрегату 3 м/хв	Швидкість подачі агрегату 5 м/хв	Швидкість подачі агрегату 7 м/хв	Швидкість подачі агрегату 10 м/хв	
1	12	50	80	80,7	41,0	28,0	18,0	14,2	11,6	
2			100	102,2	51,8	35,2	22,4	17,3	13,7	
3			120	123,8	62,6	42,4	26,7	20,3	15,9	
4	14		80	76,4	38,9	26,6	17,2	13,5	11,0	
5			100	97,9	49,6	33,8	21,5	16,5	13,0	
6			120	119,5	57,4	40,9	25,8	19,6	15,2	
7	16		80	72,0	36,7	25,1	16,2	12,6	10,3	
8			100	93,6	47,5	32,3	20,6	15,7	12,5	
9			120	115,2	58,3	39,5	24,9	18,8	14,5	
10	18		80	67,6	34,2	23,2	14,6	11,1	8,8	
11			100	89,1	44,9	30,4	18,9	14,2	10,9	
12			120	110,7	55,7	37,6	23,2	17,3	13,1	
13	70	90	80	107,6	54,7	37,4	24,1	18,9	15,4	
14			100	136,3	69,0	47,0	29,8	23,0	18,2	
15			120	165,1	83,4	56,5	35,6	27,1	21,1	
16			14	80	101,8	51,8	35,4	22,9	18,0	14,6
17				100	130,6	66,2	45,0	28,7	22,1	17,5
18				120	159,4	84,6	54,6	34,4	26,2	20,4
19			16	80	96,1	48,9	33,5	21,7	16,9	13,6
20				100	124,8	63,3	43,1	27,4	21,0	16,5
21				120	153,6	77,7	52,7	33,2	25,1	19,4
22			18	80	90,1	45,6	30,9	19,4	14,8	11,6
23				100	118,8	59,9	40,4	25,2	18,9	14,6
24				120	147,6	74,3	50,0	30,9	23,0	17,4
25	12	80	134,5	68,4	46,7	30,1	23,7	19,2		
26		100	170,4	86,3	58,7	37,3	28,8	22,8		
27		120	206,4	104,3	70,7	44,5	33,9	26,4		
28	14	80	127,3	64,8	44,3	28,7	22,5	18,3		
29		100	163,2	82,7	56,3	35,9	27,6	21,9		
30		120	199,2	105,7	68,3	43,1	32,8	25,5		
31	16	80	120,1	61,2	41,9	27,1	21,1	16,9		
32		100	156,0	79,2	53,9	34,3	26,2	20,7		
33		120	192,0	97,1	65,9	41,5	31,4	24,3		
34	18	80	112,6	56,9	38,6	24,3	18,5	14,6		
35		100	148,5	74,9	50,6	31,5	23,6	18,3		
36		120	184,5	92,9	62,6	38,7	28,8	21,8		

З метою вдосконалення математичної моделі (6) за використання результатів досліджень у виробничих умовах здійснено розрахунки коефіцієнта швидкості ($K_{\text{швидкості}}$) для кожного результату експерименту (табл. 2).

Розрахунок значення коефіцієнта швидкості провели для кожної з наведених швидкостей

подачі. Для зручності значення коефіцієнта подали у вигляді графічної залежності від швидкості подачі агрегату для фрезерування замкових гнізд (рис. 5). Зміна коефіцієнта не є лінійною, що підтверджує складний рух переміщення інструмента під час фрезерування по заданій траєкторії.

Таблиця 2. Результати розрахунку коефіцієнта швидкості

Table 2. Results of calculating the feed rate coefficient

№	Діаметр фрези, мм	Параметри гнізда шириною В=18 мм	Розрахункові значення коефіцієнта швидкості K _{швидкості}						
		Глибина гнізда Н, мм	Довжина гнізда L,мм	Швидкість подачі агрегату 1 м/хв	Швидкість подачі агрегату 2 м/хв	Швидкість подачі агрегату 3 м/хв	Швидкість подачі агрегату 5 м/хв	Швидкість подачі агрегату 7 м/хв	Швидкість подачі агрегату 10 м/хв
1	12	50	80	0,9907	0,9744	0,95075	0,88505	0,8063	0,68837
2			100	0,99296	0,9803	0,96164	0,90846	0,84075	0,74048
3			120	0,99443	0,9837	0,96815	0,92225	0,86601	0,7758
4	14		80	0,99018	0,97297	0,94808	0,87958	0,80178	0,68852
5			100	0,99265	0,97944	0,96	0,90503	0,84003	0,74654
6			120	0,99423	1,03502	0,96703	0,91986	0,86501	0,78261
7	16		80	0,98959	0,97138	0,94624	0,87837	0,80624	0,69474
8			100	0,99199	0,97851	0,95733	0,90394	0,84406	0,74602
9			120	0,99375	0,98249	0,96583	0,92063	0,86945	0,78843
10	18		80	0,99112	0,97981	0,96373	0,91852	0,86178	0,76177
11			100	0,9936	0,98531	0,97233	0,93714	0,89157	0,81099
12			120	0,99512	0,98816	0,97764	0,95006	0,9123	0,8422
13	12	70	80	0,99033	0,9744	0,95075	0,88505	0,80459	0,69375
14			100	0,99296	0,9803	0,96082	0,90724	0,84075	0,74211
15			120	0,99419	0,98417	0,96815	0,92328	0,86473	0,77727
16	14		80	0,98979	0,97297	0,94808	0,87958	0,80178	0,69041
17			100	0,99265	0,97944	0,95915	0,90377	0,83851	0,74142
18			120	0,99398	0,93661	0,96633	0,91986	0,86369	0,77647
19	16		80	0,98918	0,97138	0,94511	0,87675	0,80433	0,70088
20			100	0,99231	0,97789	0,95822	0,90262	0,84406	0,74964
21			120	0,99375	0,98249	0,96583	0,92063	0,86945	0,7868
22	18		80	0,99112	0,97981	0,96373	0,92041	0,86411	0,76701
23			100	0,99394	0,98531	0,97329	0,93863	0,89346	0,80877
24			120	0,99539	0,98816	0,97842	0,95006	0,9123	0,8422
25	12	90	80	0,99033	0,9744	0,95075	0,88505	0,80459	0,69375
26			100	0,99296	0,9803	0,96082	0,90724	0,84075	0,74211
27			120	0,99419	0,98417	0,96815	0,92328	0,86473	0,77727
28	14		80	0,98979	0,97297	0,94808	0,87958	0,80178	0,69041
29			100	0,99265	0,97944	0,95915	0,90377	0,83851	0,74142
30			120	0,99398	0,93661	0,96633	0,91986	0,86369	0,77647
31	16		80	0,98918	0,97138	0,94511	0,87675	0,80433	0,70088
32			100	0,99231	0,97789	0,95822	0,90262	0,84406	0,74964
33			120	0,99375	0,98249	0,96583	0,92063	0,86945	0,7868
34	18		80	0,99112	0,97981	0,96373	0,92041	0,86411	0,76701
35			100	0,99394	0,98531	0,97329	0,93863	0,89346	0,80877
36			120	0,99539	0,98816	0,97842	0,95006	0,9123	0,8422

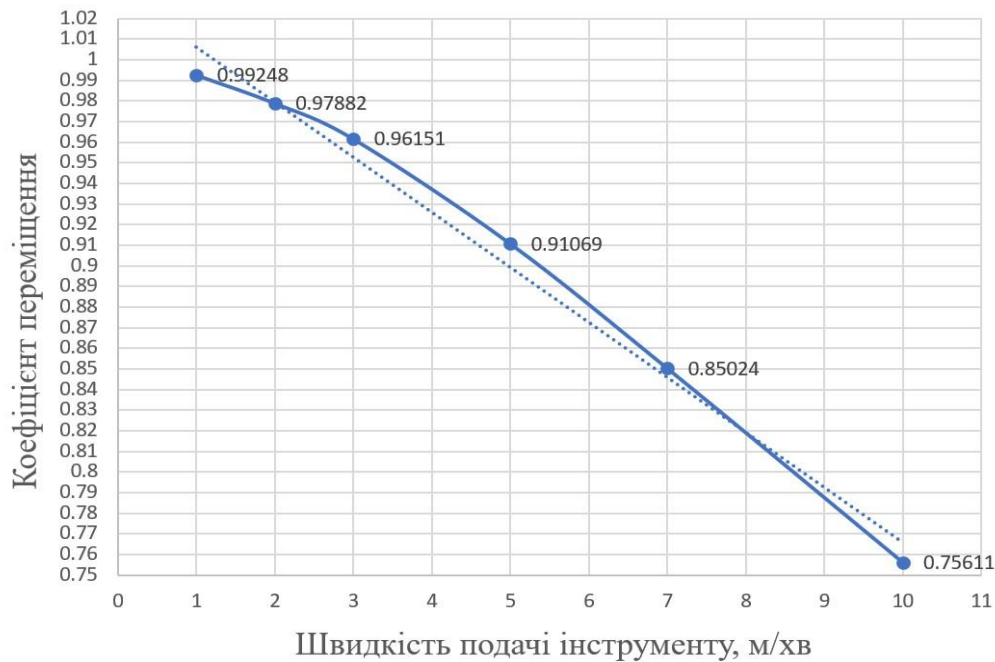


Рис. 5. Залежність коефіцієнта швидкості від швидкості подачі агрегату
 Fig. 5. Dependence of the feed rate coefficient on the feed rate of the machine unit

Аналіз результатів експериментальних досліджень засвідчує, що зі збільшенням швидкості подачі відбувається зміна коефіцієнта швидкості. Варто також звернути увагу, що за умов порівняння гнізд з однакими розмірами за довжиною для одного взятого інструмента відносна частка виробничого часу зростає, але за умов сталого значення глибини гнізда та збільшення його довжини значення виробничого часу у відношенні до часу, взятого як еталон (різальний інструмент з діаметром 18 мм) зменшується, що характеризується як менший вплив діаметра інструмента на виробничий час. Вплив діаметра ріжучого інструмента на виробничий час має менше значення під час фрезеруванні пазів більшої довжини. У випадку фрезерування довгих пазів перевага використання ріжучого інструмента більшого діаметра значно скорочується, що є наслідком збільшення довжини траєкторії в горизонтальному переміщенні (за довжиною) та нівелює значний вплив частини траєкторії для переміщення інструмента по вертикалі (за шириною).

За результатами дослідження з використанням графіка залежності, встановили значення $K_{\text{швидкості}}$ для кожної швидкості подачі агрегату з інструментом в діапазоні від 1 до 10 м/хв (табл. 3).

Здійснивши апроксимацію даних табл. 3, отримали формулу полінома 2-го степеня залежності $K_{\text{швидкості}}$ від швидкості подачі агрегату під час фрезерування замкового гнізда:

$$K_{\text{швидкості}}(V) \approx 1.01154825 - 0.01480609 \cdot V - 0.00108971 \cdot V^2 \quad (8)$$

Поєднання формули (8) з формулою (7) дало можливість розрахувати час фрезерування замкового гнізда на ЧПК верстаті з використанням агрегату. Вхідними даними для розрахунку за такою формулою є геометричні параметри самого гнізда, діаметр фрези, швидкість переміщення агрегату і крок врзання. Математична модель має такий вигляд:

$$T = T_{\Pi} + 0,12 \cdot \frac{(B+L-2D) \cdot \left[\frac{H}{S} \right]}{V (1.01154825 - 0.01480609 V - 0.00108971 V^2)} + T_B \quad (9)$$

Відхилення між значеннями, отриманими за математичною моделлю (9), і результатами експериментальних досліджень складає менше 4% для швидкостей подачі до 5 м/хв та до 8% – для швидкостей подачі до 10 м/хв. Оскільки відхилення є незначними, то розроблена математична модель для прогнозування затрат часу на виготовлення гнізда під замок є достовірною і придатною для використання у виробничих умовах. Різке збільшення відсотка відхилення на заданій швидкості подачі 10 м/хв пояснюється впливом затрат часу на розгін та гальмування на різних ділянках траєкторії переміщення інструменту. Цей аспект також можна прослідкувати і за наведеними в табл. 2 даними, де чітко виражена різка зміна коефіцієнта швидкості залежно від довжини гнізда. Тому вибір швидкостей переміщення інструменту на верстатах з ЧПК понад 10м/хв на таких коротких відстанях є недоцільним.

Таблиця 3. Значення коефіцієнта швидкості відповідно до швидкості подачі агрегату
Table 3. The value of the speed coefficient according to the feed rate of the unit

Швидкість подачі агрегату, м/хв	Коефіцієнт швидкості
1	0,99248
2	0,97882
3	0,96151
4	0,93738
5	0,91069
6	0,88122
7	0,85024
8	0,81912
9	0,78720
10	0,75611

Дискусія (Discussion).

Аналіз результатів досліджень вказує на зміну виробничого часу залежно від траєкторії переміщення інструменту, що використовується для фрезерування замкового гнізда. Зі зміною інструмента відбувається зміна траєкторії руху, а, отже, призводить до збільшення часу фрезерування гнізда. Отримані результати співпадають з результатами досліджень впливу траєкторії на виробничий час у випадку фрезерування площин заготовок на деревообробному верстаті з ЧПК (Özçelik, Koç, 2021). Тип обраної траєкторії переміщення інструмента та більший діаметр інструмента призводять до скорочення виробничого часу, що пов'язано з коротшими траєкторіями бокових переміщень.

Проте дослідження щодо застосування верстатів з ЧПК у деревообробці та меблевій промисловості, які зосереджені на оптимізації параметрів для досягнення бажаної якості поверхні деревних матеріалів, свідчать, що такі показники, як швидкість подачі та частота обертання шпинделя, мають значний вплив на кінцевий результат. Зокрема, збільшення частоти обертання шпинделя та швидкості подачі зазвичай знижують шорсткість поверхні, тоді як збільшення діаметра інструмента призводить до зростання поверхневої шорсткості (Demir, Çakıroğlu, Aydın, 2022).

Хоча в згаданих дослідженнях формування гнізда під замок виконували без урахування вимог до шорсткості його внутрішньої поверхні, у випадку створення ступінчастого гнізда з вибіркою під лицьову планку (накладку) доцільно використовувати фрезу меншого діаметра. При цьому сам технологічний процес фрезерування необхідно розділяти на етапи чорнової та чистової обробки.

Окрім того, отримані результати корелюються з висновками науковців Bal, Dumanoglu (2019), які досліджували вплив параметрів різання на якість поверхні, енергоспоживання та час

оброблення при фрезеруванні MDF панелей. У своєму дослідженні вони акцентували увагу на визначенні оптимальної швидкості подачі та швидкості обертання ріжучого інструмента для досягнення мінімальної шорсткості поверхні. Водночас було встановлено вплив зазначених технологічних параметрів на час оброблення та зазначено, що найменший час фрезерування було зафіксовано за максимальної швидкості подачі ріжучого інструмента.

Дослідження фрезерування зразків горіха волоського та ясена звичайного в роботі Çakıroğlu et al. (2022) були зосереджені на аналізі впливу швидкості подачі та швидкості обертання ріжучого інструмента на шорсткість і змочуваність поверхні, енерговитрати та час оброблення. Результати нашого дослідження подібні до результатів, отриманих Çakıroğlu et al. (2022) в тому, що мінімальний час оброблення було досягнуто за використання інструмента найбільшого діаметра та найбільшої швидкості подачі.

Висновки (Conclusions).

1. Діаметр інструменту має вплив на траєкторію його переміщення та відповідно на виробничий час при виготовленні гнізда під замок у дверному полотні на верстаті з числовим програмним керуванням.

2. Розроблена математична модель прогнозування часу виготовлення гнізда під замок у дверному полотні придатна до використання у виробничих умовах.

3. Вибір швидкостей переміщення інструмента на верстатах з ЧПК понад 10 м/хв під час виготовлення гнізд під замок незначного розміру в дверному полотні є недоцільним, оскільки на коротких дистанціях затрати часу на розгін та гальмування нівелюють встановлену швидкість.

Конфлікт інтересів (Conflicts of Interest).

Автори заявляють про відсутність у них відомих конкуруючих фінансових інтересів чи особистих зв'язків, які могли б вплинути на результати, представлені у цій статті.

Список літератури (References)

- Ashley, P. N. (2016). Innovative use of CNC technology for the manufacture of furniture in batch size of one. (A dissertation submitted in total fulfillment of the requirements of the Master of Philosophy). *School of Ecosystem and Forest Sciences, Faculty of Science, The University of Melbourne*. Melbourne. <https://hdl.handle.net/11343/118610>
- Bal, B. C., & Dumanoglu, F. (2019). Surface roughness and processing time of a medium density fiberboard cabinet door processed via CNC router, and the energy consumption of the CNC router. *BioResources*, 14(4), 9500–9508. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.9500-9508>
- Boyko, S., Eroshenko, A., & Ignatenko, P. (2018). Preparation for the production of furniture facades using modern CAM systems. *Technical Sciences and Technologies*, 1, 159–167. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/tnt_2018_1_19
- [Бойко, С., Єрошенко, А., & Ігнатенко, П. (2018). Підготовка виробництва меблевих фасадів із використанням сучасних САМ-систем. *Технічні науки та технології*, 1, 159–167] (in Ukrainian)
- Çakıroğlu, E. O., Demir, A., Aydın, İ., & Büyüksarı, Ü. (2022). Prediction of optimum CNC cutting conditions using artificial neural network models for the best wood surface quality, low energy consumption, and time savings. *BioResources*, 17(2), 2501–2524. <https://doi.org/10.15376/biores.17.2.2501-2524>
- Cakmak, A., Malkocoglu, A., & Ozsahin, S. (2023). Optimization of wood machining parameters using artificial neural network in CNC router. *Materials Science and Technology*, 39(14), 1728–1744. <https://doi.org/10.1080/02670836.2023.2180901>
- Csanády, E., & Magoss, E. (2020). *Mechanics of wood machining* (3rd ed.). Cham, Switzerland: Springer Nature Switzerland AG. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-51481-5>
- Czerwińska, K., & Grebski, M. E. (2021). An analysis and improvement of the production process of external doors. *Modern Management Review*, 26(3), 59–67. <https://doi.org/10.7862/rz.2021.mmr.17>
- Czerwińska, K., & Pacana, A. (2019). Analysis of the efficiency of machine use on the production line of interior doors. *Zarządzanie Przedsiębiorstwem*, 22(2), 2–6. <https://doi.org/10.25961/ent.manag.22.02.01>
- Demir, A., Çakıroğlu, E. O., & Aydın, İ. (2022). Effects of CNC processing parameters on surface quality of wood-based panels used in furniture industry. *Drvna Industrija*, 73(4), 363–371. <https://doi.org/10.5552/drvind.2022.2109>
- German Institute for Standardization. (2020). *DIN 18251:2020-04. Locks–Mortise locks and multipoint locks–Terms, definitions and dimensions*. Berlin, Germany: DIN. <https://doi.org/10.31030/3133998>
- Gisip, J., Lemaster, R., & Saloni, D. (2026). Enhancing tool life through innovative process control in wood-based machining. *Wood Material Science & Engineering*, 21(1), 575–585. <https://doi.org/10.1080/17480272.2024.2439058>
- Gola, A., Świć, A., & Kramar, V. (2011). A multiple-criteria approach to machine tool selection for focused flexibility manufacturing systems. *Management and Production Engineering Review*, 2(4), 21–32. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/235861051_A_MULTIPLE-CRITERIA_APPROACH_TO_MACHINE-TOOL_SELECTION_FOR_FOCUSED_FLEXIBILITY_MANUFACTURING_SYSTEMS
- Jiang, X. B., Wu, Q. H., Jing, F. M., Yang, C. M., & Luo, G. (2014). Wooden door slot cutting system of CNC machine finite element analysis. *Key Engineering Materials*, 579–580, 603–606. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KE M.579-580.603>
- Kalyna, A. A., & Myskiv, Y. M. (2024). Investigation of the Influence of Cutting Length on Feed Rate. In *Forestry education and science: current challenges and development prospects: proceedings of the International Scientific and practical Conference*, 1–5. Lviv, October 23-25. Lviv: Ukrainian National Forestry University. <https://doi.org/10.36930/conf150.5.34> [Калина, А. А., Миськів Є. М. (2024) Дослідження впливу довжини різу на швидкість подачі. *Лісотехнічна освіта і наука: виклики сьогодення та перспективи розвитку: матеріали Міжнародної науково-практичної конференції*, м. Львів, 23-25 жовтня 2024 р. Львів: Національний лісотехнічний університет України, 1–5] (in Ukrainian)
- Kwidziński, Z., Bednarz, J., Pędzik, M., Sankiewicz, Ł., Szarowski, P., Knitowski, B., & Rogoziński, T. (2021). Innovative Line for Door Production TechnoPORTA – Technological and Economic Aspects of Application of Wood-Based Materials. *Applied Sciences*, 11(10), 4502. <https://doi.org/10.3390/app11104502>

- Kwidziński, Z., Drewczyński, M., Gołabek, T., Mysza, R., Wilczyński, A., Gębczyk, K., ... Rogoziński, T. (2023). The efficiency of the formatting and milling module of the technological line for door frames production. *Annals of Warsaw University of Life Sciences SGGW Forestry and Wood Technology*, 121, 72–78. <https://doi.org/10.5604/01.3001.0053.8640>
- Lopez de Lacalle, L. N., Fernández-Larrinoa, J., Rodríguez-Ezquerro, A., Fernández-Valdivielso, A., López-Blanco, R., & Azkona-Villaverde, I. (2015). On the cutting of wood for joinery applications. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture*, 229(6), 940–952. <https://doi.org/10.1177/0954405414534431>
- Naroei, K. D., & Ramli, R. (2014). New approaches in tool path optimization of CNC machining. *Applied Mechanics and Materials*, 663, 657–661. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.663.657>
- Petrovic, A., Lukic, L., Ivanovic, S., & Pavlovic, A. (2017). Optimisation of tool path for wood machining on CNC machines. *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, 231(1), 72–87. <https://doi.org/10.1177/0954406216648715>
- Tobias, S. (2015). *Illustrated guide to door hardware: Design, specification, selection*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. Retrieved from <https://books.google.com/books?id=RzoxBwAAQBAJ>
- Yaghoubi, S., Rabiei, F., & Seidi, M. (2024). A comprehensive assessment on surface quality of machined wooden products via Box-Behnken design method. *Wood Material Science & Engineering*, 19(4), 896–905. <https://doi.org/10.1080/17480272.2023.2290212>
- Özçelik, Ö., & Koç, K. H. (2021). Evaluation of tool path strategies in CNC woodworking machines and a case study. *Wood Industry and Engineering*, 3(2), 1–11. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/download/article-file/1436564>

Influence of Tool Diameter and Feed Rate on the Machining Time of a Lock Mortise in a Door Leaf on a CNC Woodworking Machine

Y. Myskiv¹, R. Barabash², A. Kalyna³

The paper presents the results of an experimental study on the influence of cutting tool diameter and feed rate on the time required to machine a lock mortise in a door leaf. The study also considers the influence of toolpath geometry, as well as the mortise length and depth. Particular attention is focused on investigating the nonlinear effect of the cutting tool feed rate on lock mortise milling time caused by the presence of acceleration and deceleration sections along the toolpath. A graphical representation of the relationship covering a feed rate range from 1 to 10 m/min is presented. The obtained experimental results were approximated using a second-order polynomial. A mathematical model was developed for calculating the machining time

time required for lock mortise production, taking into account the geometrical parameters of the mortise, cutting tool diameter, and tool feed rate.

As the feed rate increases, the machining time required to produce the lock mortise decreases nonlinearly. The value of the feed rate coefficient varies from 0.992 at a feed rate of 1 m/min to 0.756 at a feed rate of 10 m/min. This is explained by the fact that increasing the feed rate of the cutting tool increases the length of the toolpath sections where acceleration and deceleration occur.

A significant influence of the cutting tool diameter on the feed rate coefficient was observed. In the case where the tool diameter matches the width of the mortise, the feed rate coefficient rea-

¹ Yevstakhii Myskiv – PhD in Technical Sciences, Senior teacher at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: myskivs@i.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-1762-4728>

² Ruslan Barabash – PhD Student at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: barabash.r@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-5533-6889>

³ Artem Kalyna – PhD Student at the Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: kalyna.a@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8191-9800>

ches its highest values. When the tool diameter is smaller than the mortise width, the coefficient values decrease but exhibit little dependence on the specific tool diameter used. This confirms the feasibility of using a cutting tool whose diameter is equal to the width of the lock mortise, provided that the CNC equipment is technologically capable of applying such a tool diameter.

In addition, the influence of mortise length on the feed rate coefficient was established. The coefficient increases with increasing mortise length. This is attributed to the relative increase in the length of toolpath sections at the specified feed rate compared to the length of the acceleration and deceleration sections. The magnitude of this effect is insignificant at low feed rates but increases considerably as the feed rate rises.

The influence of mortise depth on the feed rate coefficient is the smallest and does not allow clear patterns of variation to be identified due to its minor magnitude. This is explained by the fact that increasing mortise depth increases the number of repeated toolpath segments resembling spiral turns. However, the ratio between the length and number of constant-

feed toolpath sections and acceleration/deceleration sections remains almost unchanged.

The scientific novelty of the study lies in the development of a mathematical model for predicting the machining time required to produce a lock mortise in a door leaf, taking into account the feed rate coefficient, the values of which were obtained experimentally and approximated by a second-order polynomial.

The practical significance of the study consists in the potential application of the developed mathematical model for planning the technological process of door leaf manufacturing and for analyzing the influence of the applied cutting tool, feed rate, as well as mortise depth and length on milling time. The obtained results may be applied under industrial production conditions for predicting and controlling the machining time required for producing lock mortises on CNC woodworking machines.

Key words: Resource efficiency; manufacturing process; door leaf; mortise milling; lock mortice; tool diameter; machining time; feed rate coefficient; process optimization; interior doors



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412621>
Article received 2025.09.25
Article revised 2026.03.09
Article accepted 2026.03.19
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Shchupakivskyi
shchupakivskyi.y@nltu.lviv.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 674-049

Реологічні властивості термічно модифікованої деревини ялини європейської *Picea abies* (L.) Karst. у середовищі азоту

Я.Б. Щупаківський¹, Й.В. Андрашек², Р.Б. Щупаківський³, О.В. Савчак⁴

Подолання деяких недоліків деревини, як конструкційного матеріалу, зі збереженням показників екологічності на рівні звичайної деревини досягається шляхом її термічного модифікування. Термічно модифікована деревина (ТМД), зберігаючи безперечні переваги звичайної деревини, дає змогу суттєво підвищити біологічну стійкість і забезпечити стабільність форми і розмірів виробів в процесі експлуатації.

Об'єктом дослідження були радіальні зразки прямокутного перерізу розміром $35 \times 12 \times 0,6$ мм, виготовлені з термічно модифікованої деревини ялини європейської при температурі 180 і 210°C у середовищі азоту.

Дослідження в'язкопружної поведінки (повзучості) деревини під дією статичних навантажень проводили з використанням динамічного механічного аналізатора Gabo Eplexor 25N DMA та програмного модуля на основі моделі Бюргерса. Програмне керування експериментом і первинне опрацювання даних виконували за допомогою програмного комплексу GABO. Експериментальні дослідження в'язкопружних властивостей деревини здійснювалось в режимі розтягу з

¹ Щупаківський Ярослав Богданович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: shchupakivskyi.y@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1434-8302>

² Андрашек Йосип Володимирович – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: joseph.andrashek@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1011-0089>

³ Щупаківський Роман Богданович – 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: roman.shchupakivskyi@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>

⁴ Савчак Орест Володимирович – аспірант кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: orest.savchak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4970-9459>

використанням програмних модулів “Time Sweep” та “Temperature Sweep” за квазістатичної частоти навантаження ($f = 0 \dots 0.01 \text{ Гц}$).

Встановлено вплив температури термічного оброблення деревини ялини європейської в середовищі вуглекислого газу на зміну в'язкопружних характеристик та модуля повзучості. Виконаний аналіз кінетики деформації під навантаженням дає підставу стверджувати, що термічна модифікація суттєво змінює механічну стійкість матеріалу, причому цей вплив має чітко виражений градаційний характер від температури модифікування.

Отримано графічні залежності зміни деформацій для термічно модифікованої і немодифікованої деревини ялини європейської, які дають змогу оцінити вплив температури на реологічні властивості матеріалу.

Ключові слова: модуль пружності; деформації; повзучість; інертне середовище; статичні навантаження; релаксація напружень; термічне модифікування.

Вступ (Introduction).

Деревина ялини європейської або смереки (*Picea abies* [L.] Karst.) є одним із найпоширеніших та промислово значущих ресурсів у лісовому секторі Європи та, зокрема, Карпатського регіону України. Завдяки своїй доступності, високому коефіцієнту конструктивної якості та легкості в обробленні, її широко використовують у будівництві, виробництві меблів та столярних виробів.

Проте як природний гігроскопічний матеріал, немодифікована деревина має суттєві недоліки: розмірну нестабільність, схильність до біологічної деструкції та низьку гідрофобність (Esteves, & Pereira, 2009; Militz, & Altgen, 2014). Ці фактори обмежують її використання у зовнішніх конструкціях в умовах змінної температури та вологості (Sandberg et al., 2013; Wang et al., 2018; Wu et al., 2019).

Сучасна парадигма матеріалознавства спрямована на покращення експлуатаційних характеристик деревини без використання токсичних хімічних реагентів (біоцидів). У цьому контексті термічне модифікування (ТМ) виступає як найбільш перспективний екологічно чистий метод (Gérardin, 2016). Під час ТМ відбуваються глибокі структурні зміни компонентів клітинної стінки під дією температур у діапазоні 160-240°C (Bekhta & Niemz, 2003; Hill et al., 2021; Navi & Stangerlin, 2006; Windeisen et al., 2007). Критичним фактором, який визначає якість кінцевого продукту, є середовище, в якому відбувається процес (Alén et al., 2002; Sandberg et al., 2017). Використання інертного газу, зокрема азоту, дає змогу уникнути окислювальних процесів, які виникають під час термічної модифікації в середовищі кисню, та відрізняється за механізмом гідролізу від оброблення в середовищі перегрітої пари (Metsä-Kortelainen et al., 2006). У контексті реології деревину ялини європейської розглядають як природний капілярно-пористий матеріал з яскраво вираженими в'язкопружними властивостями (Engelund & Salmén, 2012). Целюлозні

мікрофібрили виконують роль армуючого елемента, що забезпечує пружність, тоді як аморфні полімери (лігнін та геміцелюлози) відповідають за в'язку складову деформації. У науковій літературі (Engelund & Svensson, 2011; Hering & Niemz, 2012; Montero et al., 2012; Navi & Stangerlin, 2006; Qin et al., 2018; Wang et al., 2022) зазначається, що саме стан аморфної матриці є найбільш чутливим до термічного впливу. Дослідження свідчать, що реологічна стабільність ялини європейської низька в умовах змінної вологості (Armstrong & Kingston, 1960; Hering & Niemz, 2012; Navi & Stanzl-Tschegg, 2009). Явище механосорбційної повзучості проявляється у ній дуже інтенсивно через високу проникність ранньої деревини для вологи. Швидке зволоження та висихання поверхневих шарів зумовлює значні внутрішні напруження. Якщо ці напруження не встигають “релаксувати” через жорсткість структури, виникають тріщини. Крім того, необроблена деревина ялини європейської має низьку температуру розм'якшення лігніну у вологому стані (70-90°C), що робить її податливою до пластичних деформацій у процесі нагрівання (Placet, Passard, & Perré, 2008).

За результатами досліджень (Engelund & Salmén, 2012; Kutnar et al., 2008; Wang et al., 2022; Xing et al., 2016, 2021), термічна модифікація призводить до суттєвих змін у реологічній поведінці деревини шпилькових порід, зокрема, зниження повзучості – модифікована деревина стає менш схильною до деформацій у часі. Це пояснюється деградацією геміцелюлоз (які відповідають за в'язкість) та утворенням тривимірної сітки зшитого лігніну. Матеріал стає пружнішим і менш в'язким (Montero et al., 2012). Дослідження щодо впливу азотного середовища модифікування на повзучість деревини ялини носять фрагментарний характер. Більшість результатів фокусуються на міцності на статичний згин. Недостатньо вивченим є питання щодо того, як саме відсутність окислення лігніну в азоті

впливає на довготривалу релаксацію напружень, і чи зберігає “азотна” модифікація більше пластичності порівняно з термічною модифікацією іншими способами (сухим, вологим чи у вакуумі).

Відтак, розуміння реології модифікованої в азоті деревини ялини є ключовим для прогнозування довговічності навантажених конструкцій. Хоча фізико-механічні властивості (міцність на розтяг та статичний згин, твердість) термічно модифікованої деревини вивчені доволі ґрунтовно (Bekhta & Niemz, 2003; Navi & Stangerlin, 2006; Peura et al., 2007; Wang et al., 2019), питання зміни її реологічних властивостей – здатності матеріалу деформуватися у часі під навантаженням (повзучість) та “релаксувати” напруження – залишається недостатньо висвітленим, що й зумовлює *актуальність* цієї роботи.

Метою роботи є встановлення закономірностей зміни деяких реологічних властивостей деревини ялини європейської внаслідок термічного модифікування у інертному середовищі для оптимізації режимів оброблення та прогнозування експлуатаційної поведінки виробів.

Об’єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об’єкт дослідження – процес термічного модифікування деревини *Picea abies* у середовищі азоту. *Предмет дослідження* – закономірності зміни реологічних (деформаційних) властивостей деревини *Picea abies* залежно від температури термічної модифікації і тривалості оброблення.

Для мінімізації впливу природної мінливості ялинової деревини на результати експерименту зразки виготовляли з одного стовбура та одного пиломатеріалу заболонної зони, заготовленого в лісовому господарстві Львівщини. Розкроюванню передував етап камерного конвективного сушіння заготовок. Перед початком випробувань зразки проходили стадію кондиціювання впродовж щонайменше 14 діб у кліматичній камері за наступних умов: температура повітря – 20°C, відносна вологість – 60% для досягнення кінцевої вологості деревини $12 \pm 1\%$. Для проведення експериментів підготовлено серії радіальних зразків прямокутного перерізу розміром $35 \times 12 \times 0,6$ мм. Вибір розмірів зразків зумовлений технічними характеристиками обладнання (максимальне навантаження 25Н для випробовувань на розтяг) та необхідністю забезпечення репрезентативності для заданого елементарного об’єму матеріалу. Вибірка становила 22

зразки для кожного типорозміру та кожного окремого експерименту.

Для опису в’язкопружної поведінки деревини, зокрема процесу її повзучості під дією постійного навантаження використано Модель Бюргерса:

$$J(t) = \frac{1}{E_1} + \frac{t}{\eta_1} + \frac{1}{E_2} (1 - e^{-t/\tau}), \quad (1)$$

де $J(t)$ – податливість повзучості від часу навантаження, E – модуль пружності (Па), η – коефіцієнт в’язкості пластичної повзучості (Па·с), τ – час релаксації (с).

Дослідження в’язкопружної поведінки (повзучості) під дією постійних навантажень проводили з використанням динамічного механічного аналізатора Gabo Eplexor 25N DMA (рис. 1) з використанням програмного модуля на основі моделі Бюргерса. Прилад забезпечує високошвидкісний збір даних та дає можливість здійснювати прецизійний контроль параметрів середовища (температури та відносної вологості) у вимірювальній камері.

Кріплення зразків здійснювали у затискачах для випробувань на розтяг. Для забезпечення надійної фіксації та запобігання пошкодженню структури деревини силу затискання регулювали за допомогою гвинтів із контрольованим крутним моментом (рис. 2). Програмне керування експериментом та первинне опрацювання даних виконували за допомогою програмного комплексу GABO.

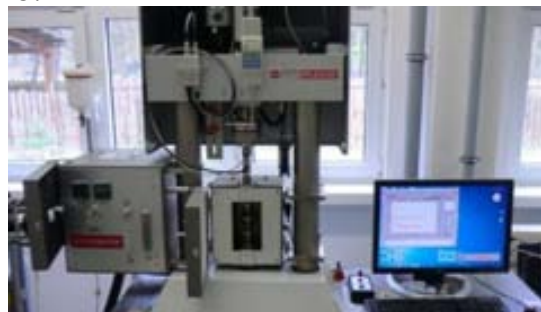


Рис. 1. Загальний вигляд експериментальної установки

Fig. 1. General view of the experimental setup

Експериментальні дослідження в’язкопружних властивостей деревини проводили в режимі розтягу з використанням програмних модулів “Time Sweep” та “Temperature Sweep” за квазістатичної частоти навантаження ($f = 0-0.01$ Гц). Протокол випробувань передбачав швидке прикладання заданого навантаження впродовж 1-5 с із наступною стабілізацією системи (час витримки) тривалістю 300 с. Безпосередньо вимірювальний цикл складався з етапу повзучості, під час якого здійснювали реєстрацію деформації зразка під дією постійного навантаження впродовж трьох

годин, та етапу відновлення, який тривав шість годин після повного розвантаження.

З метою отримання даних для побудови узагальнених кривих в роботі реалізовано серію ізотермічних експериментів у температурному діапазоні від +160 до +210°C. Термічне модифікування здійснювали в інертному середовищі азоту. Час витримки за заданої температури не варіювався і становив 10 хв. (для досягнення рівномірності температурного градієнту кожного зразка).

Перехід між температурними рівнями здійснювався зі швидкістю нагрівання 5°C / год за відсутності механічного впливу. В процесі проведення випробувань час температурної рівноваги на кожному етапі становив п'ять хвилин. Для забезпечення проведення досліджень у межах області лінійної в'язкопружності рівні напружень обирали в діапазоні 20-25% від короточасної граничної міцності матеріалу, що відповідало значенням навантаження від 5 до 20Н із кроком 5Н. Допустиме відхилення статичного навантаження в процесі випробувань не перевищувало 0.1-0.2Н, а всі параметри експерименту задавали за допомогою спеціалізованого шаблону "CREEP 25N©" у середовищі програмного забезпечення GABO.



Рис. 2. Система кріплення зразків для вимірювань повзучості

Fig. 2. Specimen mounting system for creep measurements

Результати (Results).

За результатами серії короточасних випробувань отримано масив експериментальних даних, який включає криві повзучості під час розтягу термічно модифікованої деревини ялини вздовж волокон та часові залежності модуля повзучості для різних рівнів механічних навантажень і температурних режимів. На рис. 3 наведено характерну діаграму кінетики деформації повзучості для випробування тривалістю 180 хв., проведеного за температури 160°C під навантаженням 20Н.

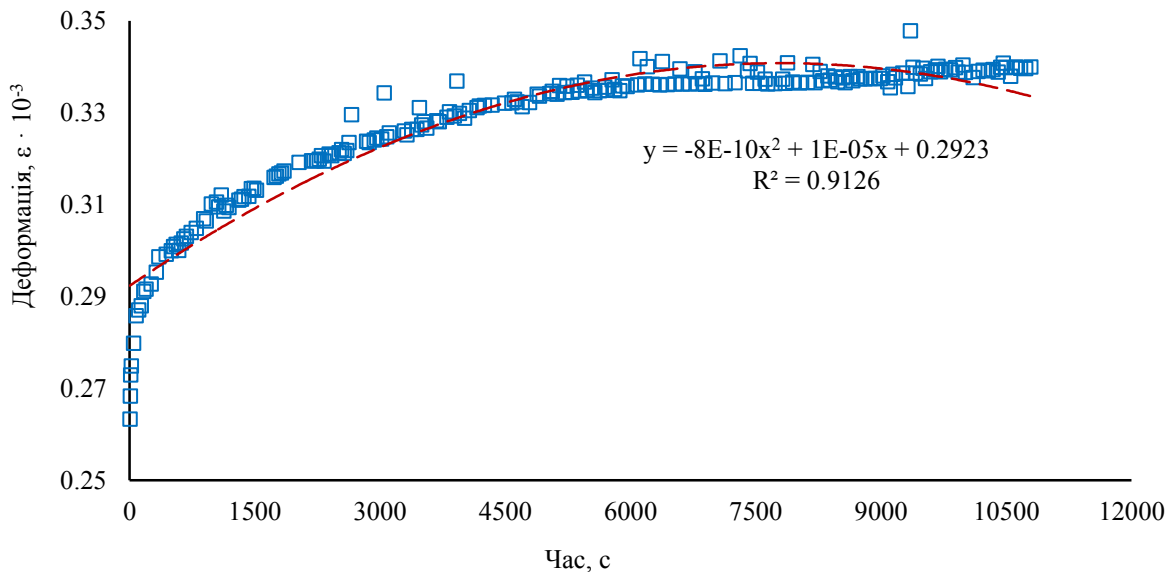


Рис. 3. Криві повзучості термічно модифікованої деревини *Picea abies* у середовищі азоту (температура модифікування 160°C, навантаження 20Н)

Fig. 3. Creep curves of thermally modified Norway spruce wood in a nitrogen atmosphere (modification temperature 160°C, load 20 N)

Представлена графічна залежність (див. рис. 3) ілюструє кінетику деформаційних процесів ялинової деревини в часі, відображаючи класичну реологічну поведінку в'язкопружного матеріалу в умовах тривалого статичного навантаження. На діаграмі розсіювання,

побудованій у координатах *час – відносна деформація*, простежено нелінійне зростання величини деформації, яке можна поділити на стадію несталої повзучості з високим градієнтом зростання в інтервалі 0-1000 с та стадію сталої повзучості з подальшою стабілізацією в інтервалі

1000-10500 с. Експериментальні дані свідчать, що після початкового стрибка до 26% швидкість деформування поступово згасає, і в діапазоні 6000-10500 с крива асимптотично наближається до значення 34%, що відповідає межі тривалої деформації для цього режиму навантаження. Математична апроксимація процесу виконана за допомогою поліноміальної функції другого

ступеня. Тут від'ємний коефіцієнт в старшому члені рівняння вказує на опуклість кривої вгору та затухаючий характер швидкості зміни деформації, а вільний член (0,2923) характеризує усереднене значення пружної складової деформації на початковому етапі, підтверджуючи кореляцію між розрахунковою моделлю та емпіричними даними у фазі стабілізації.

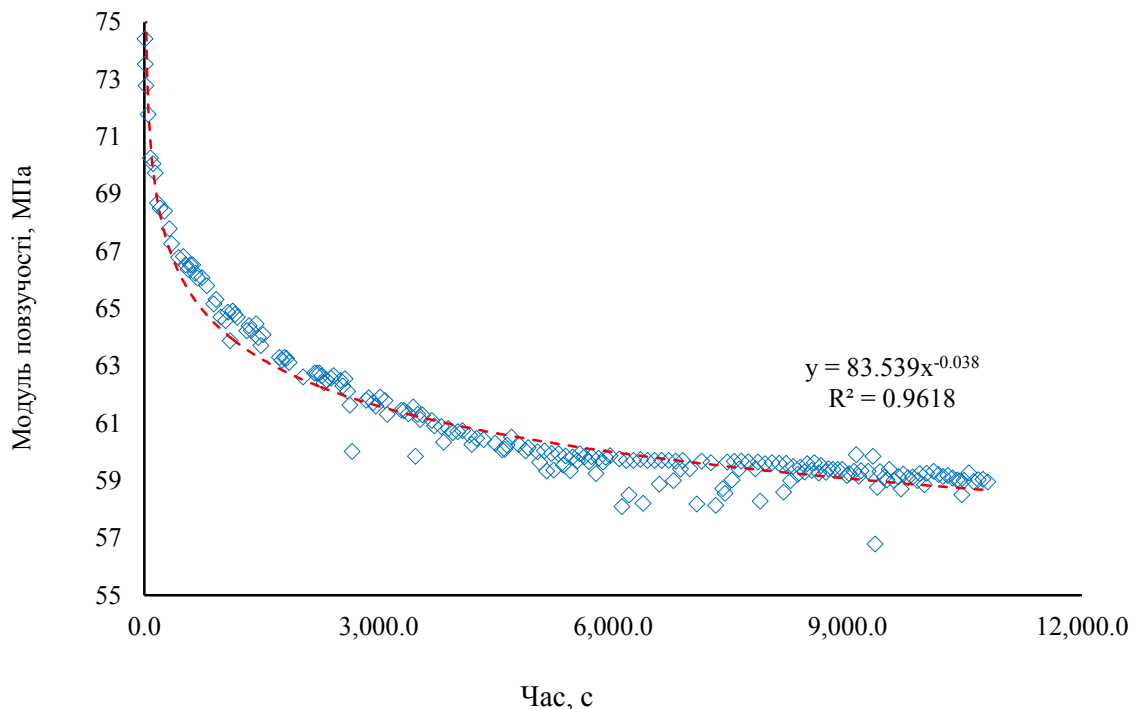


Рис. 4. Модуль повзучості термічно модифікованої деревини *Picea abies* у часі (температура модифікування 180°C, навантаження 25Н)

Fig. 4. Creep modulus of thermally modified Norway spruce wood over time (modification temperature 180°C, load 25 N)

Представлена графічна залежність (рис. 4) відображає кінетику зміни модуля повзучості деревини ялини європейської, після термічної модифікації за температури 180°C, в умовах дії постійного навантаження 20Н. Загальний характер кривої демонструє класичну для в'язкопружних анізотропних матеріалів тенденцію до нелінійного спадання модуля в часі, що зумовлено зростанням деформацій повзучості під дією статичного навантаження.

За результатами математичного опрацювання експериментальних даних встановлено, що досліджуваний процес із високою достовірністю (коефіцієнт детермінації $R^2 = 0,963$) описується емпіричним рівнянням степеневого виду. У цій моделі коефіцієнт 83,539 характеризує початкову умовну жорсткість матеріалу, тоді як від'ємний показник степеня (-0,038) визначає інтенсивність релаксаційних процесів. Низьке абсолютне значення степеневого показника свідчить про відносно

високу реологічну стабільність модифікованої деревини ялини європейської та повільне проходження деформаційних процесів після початкового навантаження.

Аналіз динаміки зміни модуля дає змогу умовно виділити три характерні стадії процесу. На початковому етапі (0-1500 с) спостерігається зона несталої повзучості з максимальною швидкістю падіння модуля від значення 75МПа до 64МПа, що пов'язано з реалізацією пружних та пружно-еластичних деформацій структури. Наступний перехідний етап (1500-6000 с) характеризується суттєвим уповільненням швидкості деградації модуля повзучості. На заключній стадії (6000-11000 с) крива асимптотично наближається до умовно сталого значення в діапазоні 59-60 Па, що свідчить про перехід у фазу усталеної повзучості. Наявність певного розкиду експериментальних точок на цьому етапі можна пояснити неоднорідністю внутрішньої будови деревини або ж похибками

вимірювання на тривалому проміжку часу, проте загальний тренд залишається незмінним.

Отримані результати дають підставу стверджувати, що термічна модифікація за температури 180°C, ймовірно через часткову деструкцію геміцелюлоз та зниження гігроскопічності, забезпечує матеріалу підвищений опір повзучості, оскільки після перших 20-30 хв. навантаження модуль стабілізується, втративши близько 18% від початкового значення.

Встановлено тісну залежність реологічних властивостей деревини ялини від температури її термічного оброблення з демонстрацією кінетики деформації під навантаженням у часі (рис. 5). Аналіз кривих дає підставу стверджувати, що

термічна модифікація суттєво змінює механічну стійкість матеріалу, причому цей вплив має чітко виражений градаційний характер.

Група зразків, що модифікувались за температури 210°C, демонструє найвищий рівень деформації впродовж усього періоду спостереження. Така поведінка пояснюється глибокими структурними змінами на рівні клітинних стінок, спричиненими термодеструкцією. Внаслідок цього матеріал втрачає свою первинну жорсткість (знижується модуль пружності), і під дією прикладеного навантаження відбувається значне зміщення структурних елементів, що на графіку відображається як стрімке зростання кривої деформації.

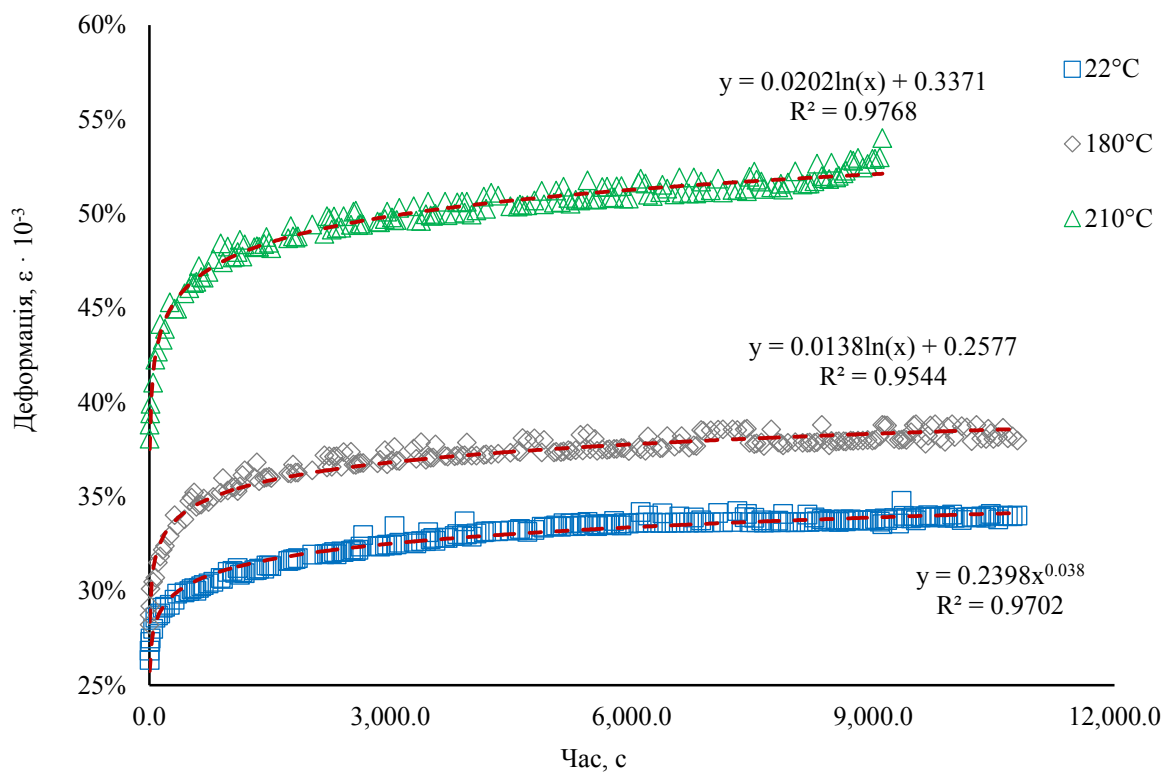


Рис. 5. Кінетика деформаційних процесів термічно модифікованої і немодифікованої деревини *Picea abies* у часі (криві повзучості за змінних температурах модифікування)

Fig. 5. Time-dependent deformation processes of thermally modified and unmodified Norway spruce wood (creep curves at varying modification temperatures)

Графічна залежність для модифікованої деревини за температури 180°C засвідчує, що за цієї температури починається процес термічного розкладання компонентів деревини, проте їх інтенсивність значно менша порівняно з показниками термічно модифікованої деревини ялини за температури 210°C. У цьому випадку деформаційні процеси відбуваються не так виражено, що вказує на те, що каркас клітинних стінок, хоча й зазнав певних трансформацій, все ще зберігає частину своєї механічної опірності,

переважаючи за цим показником високотемпературно модифіковану деревину, але поступаючись необробленій деревині.

Найменшу деформацію та, відповідно, найвищу стабільність форми під навантаженням виявляє контрольна група немодифікованої деревини (22°C). Це пояснюється збереженням природної, неушкодженої структури полімерних компонентів – целюлози, геміцелюлоз та лігніну. Відсутність термічної деградації забезпечує максимальну жорсткість матеріалу, що дає йому

змогу ефективно протистояти механічним навантаженням з мінімальними змінами геометричних параметрів у часі (рис. 6).

Характер наростання деформації для всіх трьох груп зразків має подібну динаміку. Спостережено фазу швидкого початкового деформування (пружна та первинна в'язко-пружна реакція), яка з часом уповільнюється, переходячи у стадію усталеної повзучості. Проте суттєва відмінність у кінцевих значеннях деформації (де різниця між немодифікованою та модифікованою деревиною за температури 210°C сягає майже двократно) однозначно підтверджує зниження механічної жорсткості деревини ялини внаслідок високотемпературного оброблення.

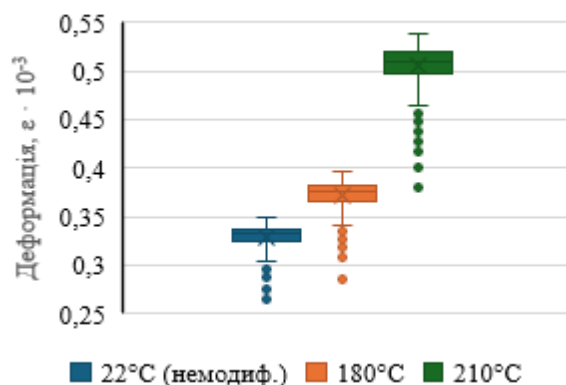


Рис. 6. Діаграма зміни деформацій деревини *Picea abies* (розподіл в межах усієї вибірки)

Fig. 6. Strain variation diagram of Norway spruce wood (distribution across the entire sample set)

Діаграма розмаху (див. рис. 6) ілюструє статистичний розподіл значень деформації деревини ялини, даючи змогу кількісно оцінити вплив температури на реологічні властивості матеріалу. Аналіз медіанних значень демонструє нелінійну динаміку зростання податливості: порівняно з контрольною групою (22°C), термічне оброблення за температури 180°C призводить до помірного підвищення деформативності в межах 13-15%, що відображає початкову стадію змін у структурі деревини.

Натомість застосування жорсткішого режиму модифікації за температури 210°C провокує критичне зниження жорсткості, внаслідок чого медіанний показник деформації зростає на 50-55% відносно немодифікованої деревини. Варто також зазначити, що різниця між двома модифікованими групами (180°C та 210°C) також є значною і становить близько 35%, що підтверджує інтенсифікацію процесів термодеструкції та суттєву втрату опірності навантаженням саме в цьому температурному інтервалі, незважаючи на наявність широкого

діапазону варіабельності даних для високотемпературної групи.

Дискусія (Discussion).

Результати експериментальних досліджень, апроксимовані за допомогою моделі Бюргерса, підтверджують результати, отримані Xing et al., (2021), що термічне модифікування деревини в інертному середовищі має суттєвий вплив на її реологічні властивості, зокрема на кінетику деформації повзучості під дією тривалого статичного навантаження. Результати з використанням таких моделей корелюються з результатами представленими в інших роботах (Engelund & Svensson, 2011; Navi & Stanzl-Tschegg, 2009; Wang et al., 2019) щодо використання феноменологічних моделей для опису в'язкопружності деревини. Встановлено, що зміна деформаційних характеристик матеріалу носить чітко виражений градаційний характер, який прямо корелює з температурним режимом оброблення. Всі досліджені зразки продемонстрували класичну реологічну поведінку в'язкопружного матеріалу з переходом від стадії несталості до усталеної повзучості, що фрагментарно підтверджує результати, отримані Montero et al. (2012).

Отримані нами експериментальні результати реологічних показників узгоджуються з класичними концепціями термомодифікування деревини шпилькових порід (Esteves & Pereira, 2009; Militz & Altgen, 2014), але частково відрізняються від даних, одержаних Hering & Niemz (2012), які вказують на стабільність або підвищення жорсткості за помірних температур. У наукових працях (Engelund, & Salmen, 2012; Hering, & Niemz, 2012) зазначається, що термічна модифікація зазвичай призводить до зниження повзучості деревини шпилькових порід у часі. Це традиційно пояснюють деградацією геміцелюлоз (які відповідають за в'язку складову) та утворенням тривимірної сітки зшитого лігніну, що робить матеріал більш пружним і стабільним. Емпіричні дані цього дослідження демонструють протилежну поведінку при випробовуваннях на розтяг: контрольна група (немодифікована деревина, 22°C) виявила найменшу деформацію та найвищу жорсткість. Модифікація за 180°C підвищила деформативність на 13-15%, а жорсткий режим за 210°C призвів до критичного зростання деформації (на 50-55% порівняно з немодифікованими зразками). Ця розбіжність є ключовим елементом наукової новизни даної роботи. Більшість класичних досліджень (Bekhta, & Niemz, 2003; Navi, & Stangerlin, 2006) фокусуються на статичному згині, стисненні або стабільності розмірів. Проте за умов чистого розтягу вздовж волокон деструкція геміцелюлоз та ослаблення зв'язків у матриці клітинної стінки призводять до втрати мікроструктурної

цілісності, що підтверджено проведеним дослідженням у рамках цієї роботи. Це також підтверджує гіпотезу, яка згадується у праці Placet et al. (2008) щодо суттєвого впливу стану аморфної матриці на термодеградацію механічних властивостей.

Дослідження хімізму процесу модифікування іншими авторами (Alén et al., 2002; Hill et al., 2009, 2021; Windeisen et al., 2007) чітко розмежовують температурні режими. До 180°C зміни мають переважно помірний характер (початок деградації геміцелюлоз), тоді як вище 200°C процеси термохімічного розпаду полімерів деревини стають деструктивними. Отримані за результатами цієї роботи дані повністю корелюють із цією градацією. Перехід від 180°C до 210°C зумовлює значну зміну деформативності (на ~35% між модифікованими групами). Отриманий результат підтверджує, що для ялини європейської модифікування за температури 180°C, з погляду можливості її використання у будівельних конструкціях, є оптимальним режимом (каркас клітинних стінок зберігає частину опірності), тоді як 210°C є критичною точкою, де інтенсифікується деструкція супутніх компонентів целюлози.

Теоретичне значення дослідження полягає у розмежуванні впливу деградації геміцелюлоз та перебудови лігніну на реологію деревини за відсутності кисневого чинника. З прикладного погляду доведено, що режим ТМ в азоті за 180°C є оптимальним для конструкційних елементів, оскільки забезпечує стабільність форми за мінімальної втрати жорсткості. Режим 210°C через втрату механічної опірності понад 50% повинен бути повністю виключений для деталей, які працюють в умовах навантаженого стану. Отримані залежності дають змогу прогнозувати довготривалі деформації виробів із модифікованої деревини ялини європейської. Обмеженнями роботи є масштабний ефект (використання дрібних бездефектних зразків заболоні), короткий час витримки (10 хв.) та перманентні температурно-вологістні фактори під час проведення експерименту, що унеможливило аналіз механосорбційної повзучості.

Перспективи подальших експериментальних досліджень в цьому напрямі полягають у проведенні тривалих реологічних

випробувань повнорозмірних промислових елементів деревини в умовах циклічних коливань вологості і температури навколишнього середовища, що дасть змогу змоделювати реальну експлуатаційну поведінку конструкцій з термічно модифікованої деревини ялини європейської.

Висновки (Conclusions).

1. Досліджено вплив захисного інертного середовища, яке, на відміну від технологій модифікування в середовищі перегрітої пари, дає змогу уникнути окислювальних процесів та змістити механізм деструкції в бік м'якого піролізу і дегідратації, на зміну реологічних властивостей деревини від температури модифікування.

2. Встановлено нелінійну динаміку змін в'язкопружних характеристик деревини ялини європейської залежно від температурних режимів.

3. Модифікування деревини за помірних температур на рівні 180°C призводить до відносно незначного підвищення деформативності матеріалу в межах 13-15% порівняно з контрольною групою (не модифікована деревина), що свідчить про початкову стадію структурних трансформацій, де деградація геміцелюлоз не призводить до суттєвої втрати жорсткості.

4. Підвищення температури оброблення до 210°C зумовлює різку зміну реологічної поведінки та призводить до зниження механічної жорсткості термічно модифікованої деревини ялини європейської, внаслідок чого показник деформації зростає на 52-57%, а різниця у кінцевих значеннях деформації між немодифікованою та термічно модифікованою деревиною за високих температур становить 45-47%.

5. Термічне модифікування деревини за температури 210°C, попри покращення показників біостійкості та розмірної стабільності, призводить до суттєвого зниження опору тривалому навантаженню. Інтенсифікація процесів повзучості та зростання залишкових деформацій обмежують використання такої деревини в несучих будівельних конструкціях. Рекомендовано оптимізувати параметри термооброблення або враховувати фактичне зниження модулів пружності в процесі проектування конструкційних елементів.

Список літератури (References)

Alén, R., Kotilainen, R., & Zaman, A. (2002). Thermochemical behavior of Norway spruce (*Picea abies*) at 180–225 °C. *Wood Science and Technology*, 36, 163–171. <https://doi.org/10.1007/s00226-001-0133-1>

Armstrong, L. D., & Kingston, R. S. T. (1960). Effect of moisture changes on creep in wood. *Nature*, 185, 862–863. <https://doi.org/10.1038/185862c0>

Bekhta, P., & Niemz, P. (2003). Effect of high temperature on the change in color, dimensional stability and mechanical properties of spruce

- wood. *Holzforschung*, 57(5), 539–546. <https://doi.org/10.1515/HF.2003.080>
- Engelund, E. T., & Salmén, L. (2012). Tensile creep and recovery of Norway spruce influenced by temperature and moisture. *Holzforschung*, 66(2), 259–265. <https://doi.org/10.1515/hf-2011-0172>
- Engelund, E. T., & Svensson, S. (2011) Modelling time-dependent mechanical behaviour of softwood using deformation kinetics. *Holzforschung*, 65, 231–237. <https://doi.org/10.1515/HF.2011.011>
- Esteves, B., & Pereira, H. (2009). Wood modification by heat treatment: A review. *BioResources*, 4(1), 370–404. <https://doi.org/10.15376/biores.4.1.370-404>
- Gérardin, P. (2016). New alternatives for wood preservation based on thermal and chemical modification of wood – a review. *Annals of Forest Science*, 73(3), 559–570. <https://doi.org/10.1007/s13595-015-0531-4>
- Hering, S., & Niemz, P. (2012). Creep of thermally modified wood under alternating climates. *Wood Material Science & Engineering*, 7(2), 74–79. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119899>
- Hill, C. A. S., Altgen, M., & Rautkari, L. (2021). Thermal modification of wood – a review: chemical changes and hygroscopicity. *Journal of Materials Science*, 56(11), 6581–6614. <https://doi.org/10.1007/s10853-020-05722-z>
- Hill, C., Norton, A., & Newman, G. (2009). The Water Vapor Sorption Behavior of Natural Fibers. *Journal of Applied Polymer Science*, 112, 1524–1537. <https://doi.org/10.1002/app.29725>
- Kutnar, A., Kamke, F., & Sernek, M. (2008). Density profile and morphology of viscoelastic thermal compressed wood. *Wood Science and Technology*, 43, 57–68. <https://doi.org/10.1007/s00226-008-0198-1>
- Metsä-Kortelainen, S., Antikainen, T., & Viitaniemi, P. (2006). The water absorption of sapwood and heartwood of Scots pine and Norway spruce heat-treated at 170°C, 190°C, 210°C and 230°C. *Holz als Roh- und Werkstoff*, 64(1), 37–44. <https://doi.org/10.1007/s00107-005-0063-y>
- Militz, H., & Altgen, M. (2014). Processes and Properties of Thermally Modified Wood Manufactured in Europe. *Deterioration and Protection of Sustainable Biomaterials*, 1158, 269–285. <https://doi.org/10.1021/bk-2014-1158.ch016>
- Montero, C., Clair, B., Almeras, T., Lee, A., & Gril, J. (2012). Relationship between wood elastic strain under bending and cellulose crystal strain. *Composites Science and Technology*, 72(2), 175–181. <https://doi.org/10.1016/j.compscitech.2011.10.014>
- Navi, P., & Stangerlin, D. M. (2006). The machining of heat-treated wood. In Proceedings of the 2nd International Conference on Environmentally-Compatible Forest Products (ECOWOOD), Fernando-Pessoa University, Porto, Portugal. <https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-031-99418-0>
- Navi, P., & Stanzl-Tschegg, S. (2009) Micromechanics of creep and relaxation of wood. A review COST Action E35 2004–2008: wood machining – micromechanics and fracture. *Holzforschung*, 63, 186–195. <https://doi.org/10.1515/HF.2009.013>
- Peura, M., Kölln, K., Grotkopp, I., Saranpää, P., Müller, M., & Serimaa, R. (2007). The effect of axial strain on crystalline cellulose in Norway spruce. *Wood Science and Technology*, 41, 565–583. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0141-x>
- Placet, V., Passard, J., & Perré, P. (2008). Viscoelastic properties of wood across the grain measured under water-saturated conditions up to 135°C: Evidence of thermal degradation. *Journal of Materials Science*, 43, 3210–3217. <https://doi.org/10.1007/s10853-008-2546-9>
- Qin, L., Lin, L., Fu, F., & Fan, M. (2018). Micromechanical properties of wood cell wall and interface compound middle lamella using quasi-static nanoindentation and dynamic modulus mapping. *Journal of Materials Science*, 53, 549–558. <https://doi.org/10.1007/s10853-017-1185-4>
- Sandberg, B., Haller, P., & Navi P. (2013) Thermo-hydro and thermo-hydro-mechanical wood processing: An opportunity for future environmentally friendly wood products. *Wood Material Science & Engineering*, 8(1), 64–88. <https://doi.org/10.1080/17480272.2012.751935>
- Sandberg, D., Kutnar, A., & Mantanis, G. (2017). Wood modification technologies: A review. *iForest – Biogeosciences and Forestry*, 10(6), 895–908. <https://doi.org/10.3832/for2380-010>
- Wang, X., Chen, X., Xie, X., Wu, Y., Zhao, L., & Li, Y. (2018). Effects of thermal modification on the physical, chemical and micromechanical properties of Masson pine wood (*Pinus massoniana* Lamb.). *Holzforschung*, 72(12). <https://doi.org/10.1515/hf-2017-0205>
- Wang, D., Elin, X., & Feng F. (2022). The differences of viscoelastic properties between the secondary wall S2 layer and compound middle lamella of thermally treated wood. *Wood Science and Technology*, 56, 1509–1525. <https://doi.org/10.1007/s00226-022-01409-7>
- Wang, D., Fu, F. & Lin, L. (2022). Molecular-level characterization of changes in the mechanical properties of wood in response to thermal

- treatment. *Cellulose*, 29, 3131–3142. <https://doi.org/10.1007/s10570-022-04471-3>
- Wang, D., Lin, L., & Fu, F. (2019) The difference of creep compliance for wood cell wall CML and secondary S2 layer by nanoindentation. *Mechanics of Time-Dependent Materials*, 9, 1–12. <https://doi.org/10.1007/s11043-019-09436-x>
- Windeisen, E., Strobel, C., & Wegener, G. (2007). Chemical changes during the production of thermo-treated beech wood. *Wood Science and Technology*, 41(6), 523–536. <https://doi.org/10.1007/s00226-007-0146-5>
- Wu, Y., Zhang, H., & Zhang, Y. (2019). Effects of thermal treatment on the mechanical properties of larch (*Larix gmelinii*) and red oak (*Quercus rubra*) wood cell walls via nanoindentation. *BioResources*, 14(4), 8048–8057. <https://doi.org/10.15376/biores.14.4.8048-8057>
- Xing, D., Li, J., & Wang, X. (2016). In situ measurement of heat-treated wood cell wall at elevated temperature by nanoindentation. *Industrial Crops and Products*, 87, 142–149. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.04.017>
- Xing, D., Wang, X., & Wang, S. (2021). Temperature-Dependent Creep Behavior and Quasi-Static Mechanical Properties of Heat-Treated Wood. *Forests*, 12, 968. <https://doi.org/10.3390/f12080968>

Rheological properties of thermally modified spruce wood under a nitrogen atmosphere

Ya. Shchupakivskyy¹, Y. Andrashek², R. Shchupakivskyy³, O. Savchak⁴

Currently, wood remains a primary material for construction and finishing applications due to its inherent advantages, including accessibility, environmental sustainability, ease of processing, and renewability. However, the structural application of wood is constrained by several limitations: low resistance to mechanical, atmospheric, thermal, and biological stressors; susceptibility to degradation; and the aesthetic disparity between affordable and premium species. To mitigate these disadvantages while maintaining environmental integrity, thermal modification is employed. This process enhances biological durability and ensures the dimensional stability of wood products during operational cycles. The study utilized radial samples of spruce wood with a rectangular cross-section $35 \times 12 \times 0.6$ mm.

These samples underwent thermal modification at temperatures of 180°C and 210°C within a nitrogen-controlled environment. The viscoelastic behavior (creep) under constant loading was analyzed using a Gabo Eplexor 25N Dynamic Mechanical Analyzer (DMA). The experimental protocol was governed by a software module based on the Burgers model. Primary data acquisition and processing were conducted via the GABO software suite. Viscoelastic characteristics were evaluated in tensile mode using "Time Sweep" and "Temperature Sweep" modules at a quasi-static load frequency ($f = 0...0.01$ Hz). The investigation established the correlation between thermal modification temperature in nitrogen, medium and the resulting changes in viscoelastic

¹ Yaroslav Shchupakivskyy – PhD Student at the Department of environmental and wood protection technologies, and life safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: shchupakivskyy.y@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1434-8302>

² Yosyp Andrashek – PhD, associate professor at the Department of environmental and wood protection technologies, and life safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: joseph.andrashek@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-1011-0089>

³ Roman Shchupakivskyy – PhD, associate professor at the Department of sawmilling, joinery and wooden building products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: roman.shchupakivskyy@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5242-1267>

⁴ Orest Savchak – PhG Student at the Department of environmental and wood protection technologies, and life safety. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: orest.savchak@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-4970-9459>

characteristics and creep modulus.

Analysis of deformation kinetics under load indicates that thermal modification significantly alters the mechanical stability of the material. This effect demonstrates a distinct gradational dependence on the treatment temperature. The comparative analysis of deformation ranges between modified and unmodified spruce wood provides a quantitative basis for evaluating the impact of thermal treatment on the material's rheological properties. It has been demonstrated that modification at a moderate temperature of 180°C results in a relatively minor increase in the material's deformability, within the range of 13-15% compared to the control group. This indicates the initial stage of structural transformations, where the degradation of hemicelluloses does not lead to a substantial loss of stiffness. Increasing the treatment temperature to 210°C induces a sharp shift in rheological behavior and leads to a reduction in the mechanical stiffness of the thermally modified European spruce. Consequently, the deformation rate increases by 52-57%, and the difference in ultimate deformation values between the unmodified and

high-temperature thermally modified wood reaches 45-47%. It has been established that the thermal modification of wood at 210°C, despite improving biological durability and dimensional stability, leads to a significant reduction in resistance to sustained loading. The intensification of creep processes and the increase in residual deformations restrict the application of such wood in load-bearing building structures. It is recommended to either optimize the thermal treatment parameters or account for the actual decrease in the modulus of elasticity when designing structural elements.

The findings offer a quantitative assessment of how temperature influences the structural integrity of spruce wood. Based on the established viscoelastic profiles, practical recommendations are proposed for the industrial application of thermally modified spruce wood in environments requiring high dimensional and mechanical stability.

Key words: modulus of elasticity; young's modulus; strains; deformations; creep performance; inert medium.



<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.36930/412622>
Article received 2025.10.02
Article revised 2025.02.25
Article accepted 2026.04.16
Article published 2026.05.22

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Larysa Yaremchuk
l.yaremchuk@nltu.edu.ua
103 General Chuprynka St.,
Lviv, 79057, Ukraine

This article is an open access article distributed under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution 4.0 (CC BY 4.0) license (<https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>)



УДК 684:674.059

Особливості змочування деревинної підкладки модифікованою лляною олією

Л.А. Яремчук¹, Л.В. Чорнобай²

Досліджено фізичні основи утворення захисно-декоративних покриттів на основі модифікованої лляної олії. Вивчено змочування лляною олією підкладки деревини, порівняно з алкідним лаком як таким, що найбільше використовується для створення захисно-декоративних покриттів столярно-будівельних виробів.

Для дослідження використовували модифіковану каніфоллю лляну олію. Вміст каніфолі змінювали від 1,0 до 3,0 масових частин (м.ч.). Попередніми дослідженнями встановлено, що каніфоль покращує якісні характеристики покриттів, створених на основі олійних матеріалів. Модифікована каніфоллю олія підвищує твердість плівки та зменшує здатність олії дифундувати у деревинну підкладку, а, відповідно, збільшується товщина захисно-декоративної плівки.

Змочування та розтікання лакофарбового матеріалу по поверхні деревини – необхідна умова утворення рівномірного покриття. Від того, наскільки добре лакофарбовий матеріал змочує підкладку і розтікається на ній, значною мірою залежать зовнішній вигляд, міцність, адгезія і захисна здатність покриттів. Визначення поверхневого натягу проводили за допомогою приладу академіка Ребіндера методом найбільшого тиску відриву бульбашки повітря у досліджуваному матеріалі.

Дослідження модифікованої каніфоллю лляної олії засвідчують, що введення каніфолі, як модифікатора, до трьох масових частин суттєво не підвищує поверхневого натягу композиції порівняно з алкідним лаком. Результати досліджень проникності модифікованої олії у підкладку деревини показали, що із збільшенням вмісту каніфолі в лляній олії глибина проникнення зменшується.

Ключові слова: *деревина; кут змочування; каніфоль; алкідний лак; поверхневий натяг; опорядження деревини.*

¹ Яремчук Лариса Анатоліївна – доктор технічних наук, професор кафедри технології меблів та виробів з деревини. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: l.yaremchuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1056-8882>

² Чорнобай Любов Василівна – аспірант, асистент кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів, заступник директора з виховної роботи. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: chornobai_liubov@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8745-6408>

Вступ (Introduction).

На сьогодні дуже актуальною проблемою створення захисно-декоративних покриттів є використання технологій і матеріалів, які мінімально впливають на довкілля. До сучасних екологічно чистих оздоблювальних матеріалів відносять олії. Відомо, що низка провідних фірм з виробництва лакофарбових матеріалів (ЛФМ) пропонують виробникам продукції з деревини оздоблювальні матеріали на основі модифікованих олій. Для опорядження столярно-будівельних виробів, що зазнають найбільшого атмосферного впливу, покриття на основі олійних лакофарбових матеріалів можуть бути ефективною альтернативою органорозчинним матеріалам (Prieto & Kiene, 2018; Krendlinger & Wolfmeier, 2022).

У технології створення захисно-декоративних покриттів питання збереження довкілля є особливо актуальним, оскільки більшість ЛФМ у своєму складі містять леткі органічні сполуки (ЛОС), які забруднюють навколишнє середовище. Більшість світових виробників і споживачів ЛФМ на сьогодні починають використовувати опоряджувальні матеріали з мінімальним вмістом ЛОС (Vidholdová & Slabejová, 2018). Однак тепер на ринку лакофарбової продукції використання таких матеріалів є доволі обмеженим через їхнє імпорتنе походження та високу вартість. Проте Україна має достатньо сировинних ресурсів для виготовлення власної екологічно безпечної лакофарбової продукції, одним із видів якої можуть бути висихаючі олії (Яремчук, Хмарик, 2013).

Отже, дослідження композицій на основі висихаючих олій для опорядження виробів із деревини є актуальним і необхідним завданням з метою розроблення технологічного процесу формування покриттів на деревині.

Каніфоль розчиняється в органічних розчинниках (спирті, ефірі, хлороформі, бензолі), але не розчиняється у воді. Температури розм'якшення і плавлення залежать від складу (джерела) і змінюються в межах 50-70°C та 100-120°C відповідно. У складі каніфолі переважають смоляні кислоти (80-95%), основним компонентом яких є абієтинова кислота (ДСТУ EN ISO 19334:2022).

Окрім смоляних кислот, каніфоль містить незначну кількість вуглеводнів загального складу $C_{20}H_{32}$, вищих жирних карбонових кислот та складних ефірів вищих жирних і карбонових кислот. Завдяки значній полярності карбоксильної групи (COOH), смоляні кислоти мають більшу адгезію до поверхні деревини, ніж жирні кислоти лляного масла, карбоксильна група яких задіяна на утворення складноефірного зв'язку з гліцеринном. Натомість низька полярність вугле-

водневої частини молекул смоляних кислот зумовлює їхню високу розчинність у рослинних оліях. Отже, додавання каніфолі до рослинної олії повинно зумовити збільшення адгезії утвореної суміші до деревини (Яцимарський, 2007; Волошинець, 2017; Яремчук, Поберейко, 2015).

Проте введення каніфолі може підвищувати в'язкість олійної системи, а, отже, погіршувати здатність до змочування поверхні деревини, тобто здатність до розтікання олійної системи на деревній підкладці (Яремчук, Хмарик, 2013; Yaremchuk et al., 2023). Тому напрям досліджень, пов'язаний зі створенням захисно-декоративних покриттів із модифікованих олій, є дуже актуальним з технологічного погляду, насамперед – через сприяння впровадження екологобезпечних технологій у деревообробній і меблевій галузях.

Змочування та розтікання лакофарбового матеріалу по поверхні деревини є необхідною умовою для утворення рівномірного покриття. Відомо, що від того, наскільки добре лакофарбовий матеріал змочує підкладку і розтікається на ній, значною мірою залежать зовнішній вигляд, міцність, адгезійна і захисна здатність покриттів (Birdi, 2016; Da Silva, 2012). Змочування залежить від виду підкладки, лакофарбового матеріалу та їхнього стану, а також від умов довкілля (Brock et al., 2015).

Мета роботи полягає у дослідженні здатності олійними екологічно-безпечними матеріалами змочувати деревинну підкладку порівняно з алкідними лаками.

Об'єкти і методика дослідження (Objects and methods).

Об'єкт дослідження – здатність модифікованою каніфоллю лляної олії змочувати деревинну підкладку під час формування захисно-декоративних покриттів деревини. *Предмет дослідження* – залежність поверхневого натягу, крайового кута змочування від вмісту каніфолі у лляній олії.

Для дослідження використовували такі матеріали: зразки деревини дуба, бука та ясеня (40 × 30 × 8 мм) (ДСТУ 7016:2018; ДСТУ EN 1316-1:2019; ДСТУ EN 1316-2:2005); алкідний лак ПФ-231 (ДСТУ EN 927-1:2019), лляну натуральну оліфу (ДСТУ EN ISO 150:2022), лляну олію (ДСТУ EN ISO 150:2022), каніфоль (ДСТУ EN ISO 19334:2022), сикатив свинцево-марганцевий СШ-7-78.

Під час експериментальних досліджень проводили вимірювання крайового кута змочування із алкідного лаку (ПФ-231), лляної олії, оліфи (полімеризована лляна олія) та модифікованої каніфоллю олії на зразках із деревини

дуба, бука та ясена. Вимірювання виконували у приміщенні лабораторії опорядження за температури $20 \pm 2^\circ\text{C}$ і відносній вологості 70% (Волошинець, 2017; Коваленко та ін., 2015; Чумак та ін., 2017).

Для визначення товщини лакофарбових та олійних покриттів на зразки деревини наносили лак та олійні композиції за допомогою аплікатора. Витрата на одношарове покриття лаку ПФ-231 становила 60-65 г/м², витрата олійних матеріалів на одношарове покриття – 30-35 г/м².

Вміст сикативу (каталізатора) у лляній олії для всіх робочих сумішах складав 2,0 масових частин. Вміст каніфолі (модифікатора) змінювався для кожної окремої суміші: на 100 м.ч. лляної олії вводили 1,0; 2,0; 3,0 м.ч. каніфолі (Яремчук, Хмарик, 2013; Яремчук та ін., 2015).

Для оцінювання крайового кута змочування досліджувані матеріали наносили на зразки деревини у вигляді краплі, яку проєктували на екран за допомогою проєкційного ліхтаря. На проєкції вимірювали висоту (h) і радіус (r) краплі лакофарбового матеріалу.

Косинус крайового кута змочування визначали за формулою:

$$\cos \theta = \frac{(r^2 - h^2)}{(r^2 + h^2)}. \quad (1)$$

За таблицею тригонометричних функцій знаходили кут θ . Для кожного матеріалу косинус визначали як середнє арифметичне не менше ніж за трьома вимірами (Kúdela et al., 2023; Брускова та ін., 2020; Самойленко та ін., 2020).

Визначення поверхневого натягу проводили за методикою Ребіндера – найбільшого тиску відриву бульбашки повітря в досліджуваному матеріалі (Коваленко та ін., 2015; Яцков та ін., 2016). Для оцінювання величини поверхневого натягу, як структурованої (бінгамівської) рідини, його зіставляли зі значенням дистильованої води як неструктурованою ньютонівською рідиною.

Тиск відриву бульбашки повітря пропорційний до поверхневого натягу рідини:

$$\sigma = k \cdot p, \quad (2)$$

де σ – поверхневий натяг лакофарбового матеріалу, Н/м; k – коефіцієнт, що залежить від радіусу капіляра; p – тиск відриву бульбашки повітря, Н/м.

Для визначення коефіцієнта k користуються рідиною з відомим поверхневим натягом (дистильована вода):

$$K = \sigma_{p-g} / P_b \quad (3)$$

де σ_{p-g} – поверхневий натяг дистильованої води за температури проведення експерименту, Н/м. Показник σ_b визначали за формулою:

$$\sigma_{p-g} = [72,75 + 0,15/(20 - T)] \cdot 10^3, \text{ Н/м} \quad (4)$$

де P_b – тиск, що визначається мікроманометром в момент відриву бульбашки повітря у дистильованій воді, Н/м.

Для встановлення поверхневого натягу лакофарбових матеріалів використовували вираз:

$$\sigma_{p-g\text{лфм}} = \sigma_b \cdot n_b / n_{\text{лфм}} \quad (5)$$

де $n_{\text{лфм}}$ – висота стовпчика рідини за шкалою мікроманометра в момент відриву бульбашки повітря у лакофарбовому матеріалі, що досліджується; n_b – висота стовпчика рідини за шкалою мікроманометра в момент відриву бульбашки повітря у дистильованій воді (Kúdela et al., 2023; Wake, 2012; Некрасов, Веретенченко, 2018).

Результати (Results).

Досліджували фізичні основи утворення захисно-декоративних покриттів на основі модифікованої лляної олії. Встановлювали змочування лляною олією підкладки деревини порівняно з алкідним лаком, який найчастіше використовують для створення захисно-декоративних покриттів столярно-будівельних виробів. Для проведення експерименту лляну олію модифікували каніфоллю в кількості від 1,0 до 3,0 м.ч. Для визначення поверхневого натягу досліджуваних композицій використана установка акад. Ребіндера.

За отриманими результатами, збільшення вмісту каніфолі у лляній олії призводить до підвищення поверхневого натягу композиції, що може погіршити змочування деревної підкладки (рис. 1). Модифікована олія з вмістом каніфолі в кількості 3,0 м.ч. має більший поверхневий натяг, ніж у лляної олії, але менший, ніж в алкідного лаку. Отже каніфоль, як модифікатор, не погіршує поверхневий натяг лляних олій, якщо її вміст у композиції не перевищує 3,0 масових часток.

Для визначення крайового кута змочування матеріали наносили на підкладки різних сортів деревини. Дерев'яні підкладки перед нанесенням на них досліджуваних композицій шліфували та висушували. Шорсткість поверхні за ДСТУ 7016:2018 становила $Rz_{\max} \leq 16$ мкм. Краплі ЛКМ наносили однакові за обсягом та вимірювали через однаковий проміжок часу. За отриманими даними побудовано відповідні діаграми (рис. 2). За результатами досліджень, на деревних підкладках дуба та ясеня модифікована олія з кількістю 1,0-3,0 масових часток каніфолі погіршує змочування, проте кут змочування не є критичним і таку лакофарбову композицію

можна використовувати для формування захисно-декоративних покриттів деревини. Порівнюючи крайові кути змочування алкідного лаку і лляної оліфи з модифікованою каніфоллю олією, можна відзначити, що змочування деревних підкладок модифікованою каніфоллю олією є найкращим. На всіх підкладках кут змочування для алкідного лаку має максимальне значення, тобто більше від максимального значення кута змочування за вмісту каніфолі у лляній олії до 3,0 масових часток (див. рис. 2). Введення каніфолі до лляної олії знижує

проникність (дифузію) композиції у деревинну підкладку та збільшує товщину захисно-декоративної плівки. З метою підтвердження факту стосовно зменшення проникності модифікованої композиції у деревинну підкладку, були здійснені дослідження щодо визначення товщини плівки та глибини проникнення композиції від вмісту каніфолі.

Для визначення глибини проникнення опоряджувальних матеріалів (лак ПФ-231, лляна натуральна оліфа, лляна натуральна олія, модифікована лляна олія з вмістом каніфолі від

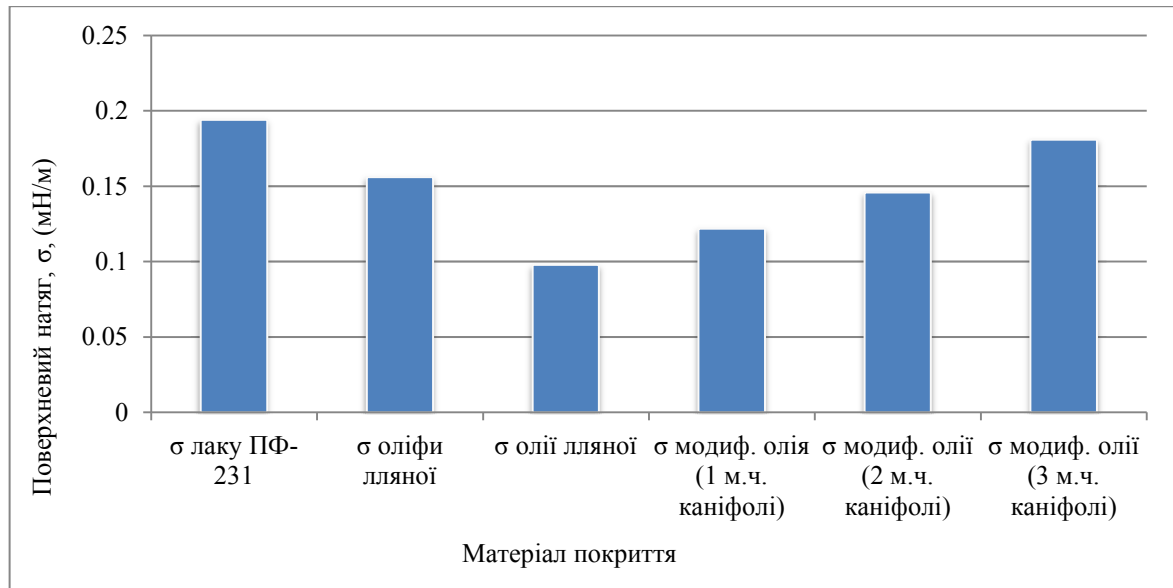


Рис. 1. Поверхневий натяг лакофарбових матеріалів
Fig. 1. Surface tension paint-and-varnish coating materials

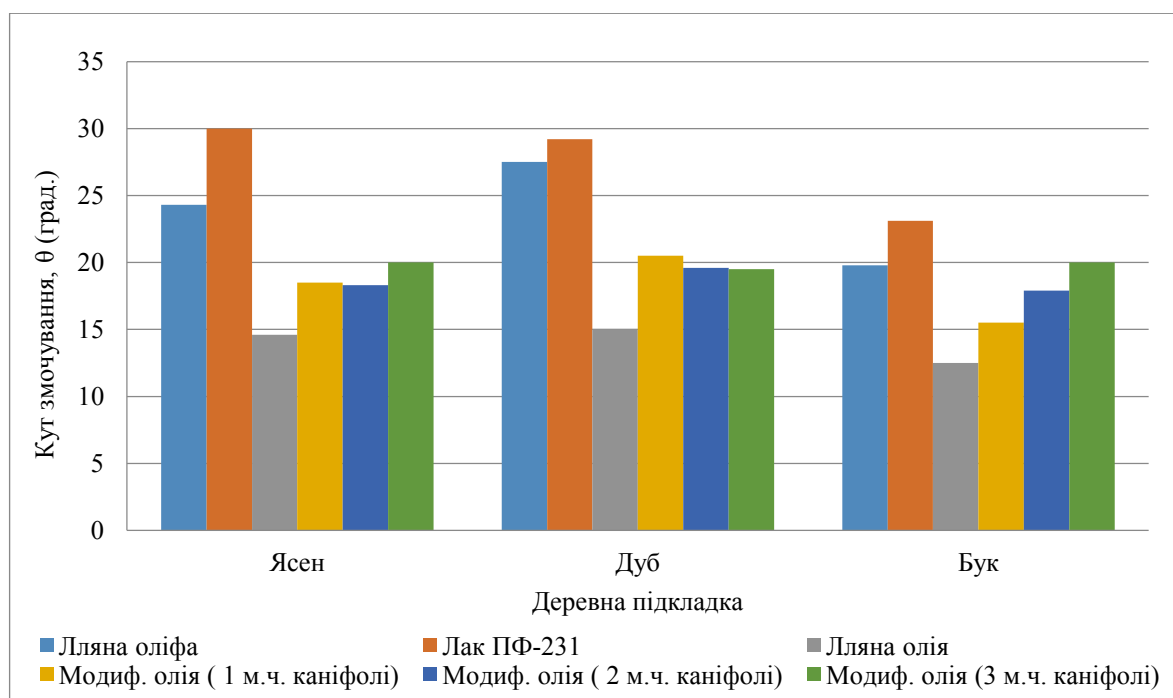


Рис. 2. Зміна кута змочування олійних композицій на різних деревних підкладках
Fig. 2. Change in the contact angle of oil-based compositions on different wood substrates

1 до 3 м.ч. та 2,0 м.ч. сикативу), використовували зразки деревних підкладок дуба. За допомогою мікроскопа МІС-11 визначали товщину покриття і глибину проникнення опоряджувального матеріалу в пори дубової підкладки. Вимірювання проводили після кожного нанесення композицій у кількості 60-70 г/м² за

один прохід. Загальна витрата композиції на поверхню підкладки складала приблизно 120 г/м². Сушіння опоряджувальних матеріалів проводили за температури 18-20°С у приміщенні лабораторії. Визначення товщини і глибини проникнення вимірювали після двох нанесень опоряджувальних матеріалів (табл.).

Таблиця. Результати визначення товщини покриття і глибини проникнення опоряджувального матеріалу у деревинну підкладку

Table. Results of determining the coating thickness and penetration depth of the finishing material into the wood substrate

Вид опоряджувального матеріалу	Товщина покриття, мкм	Глибина проникнення в пори, мкм	Товщина зовні, мкм
Олія ляна	86,13	57,90	28,23
Оліфа ляна	81,23	44,65	36,58
Лак ПФ231	88,13	15,02	73,13
Модиф. олія (1,0 м.ч. каніф)	91,60	49,26	42,35
Модиф. олія (2,0 м.ч. каніф)	93,93	48,11	45,80
Модиф. олія (3,0 м.ч. каніф)	91,92	45,51	46,38

Дослідження показали, що залежно від загальної товщини опоряджувальної плівки, найбільшу проникаючу здатність має ляна олія та ляна оліфа. Із збільшенням вмісту каніфолі у ляній олії глибина проникнення зменшується. Порівняно із алкідним лаком, в якого глибина проникнення складає лише 9% від загальної товщини плівки, модифікована олія за вмісту каніфолі у кількості 2,0 м.ч. зменшує проникність у деревинну підкладку на 16% порівняно із натуральною ляною олією.

Дискусія (Discussion).

Досліджено дію лакофарбових композицій, модифікованих каніфоллю в кількості від 1,0 до 3,0 м.ч. на основу ляної олії. З метою визначення можливості створювати рівномірне лакофарбове покриття і при цьому зменшувати здатність просочення олійної композиції у деревину, було визначено красві кути змочування, які відповідають за здатність матеріалу розлитися по поверхні підкладки. Крім того, для кращої наочності та порівняльного аналізу з існуючими матеріалами для опорядження виробів із деревини красві кути змочування порівнювали із чистою ляною композицією та алкідним лаком, який використовують для опорядження меблів і столярно-будівельних конструкцій (Cirule et al., 2024). За результатами досліджень, модифікована каніфоллю олія підвищує твердість плівки та зменшує здатність олії дифундувати у деревинну підкладку, що забезпечує збільшення товщини захисно-

декоративної плівки (ДСТУ EN ISO 150:2022). За результатами попередніх досліджень (Cirule et al., 2024, Sharan et al., 2025; Яремчук, Хмарик, 2013; Яремчук та ін., 2015) було встановлено, що каніфоль покращує якісні характеристики покриттів, створених на основі олійних матеріалів.

Модифікована олія краще змочує деревину порівняно з алкідними лаками. При цьому введення каніфолі від 1,0 до 3,0 масових частин суттєво не підвищує поверхневий натяг. Також варто відзначити, що вміст каніфолі у ляній олії зменшує її проникність у деревинну підкладку, і, відповідно, збільшується загальна товщина захисно декоративного покриття.

Отримані дані (Яремчук та ін., 2015) підтверджують результати досліджень іноземних науковців у тій частині, що натуральні олії мають надмірну проникну здатність у деревину (Arminger et al., 2020; Žlahtić et al., 2017). Проте за результатами досліджень цієї роботи модифікована каніфоллю ляна олія дає змогу збалансувати цей показник.

Дослідники, які вивчають процеси змочування деревинних підкладок, часто використовують синтетичні добавки для регулювання змочуваності (Miklečić, 2022; Redzuan et al., 2019; Yu et al., 2023). Наші дослідження засвідчують, що використання каніфолі (природної смоли) дає змогу досягнути подібних або кращих показників розтікання без втрати екологічності (Яремчук, Хмарик, 2013, Яремчук, Поберейко, 2015).

Висновки (Conclusions).

1. Введення каніфолі як модифікатора в кількості від 1,0 до 3,0 масових частин суттєво не впливає на поверхневий натяг композиції. При цьому модифікована лляна олія демонструє кращі показники змочування дерев'яних підкладок порівняно з алкідним лаком, що забезпечує формування якісного та рівномірного покриття.

2. Модифікація лляної олії каніфоллю дає змогу зменшити її проникність у структуру

деревини. Такий захід сприяє збільшенню загальної товщини захисно-декоративної плівки на поверхні підкладки, що позитивно впливає на фізико-механічні та експлуатаційні властивості покриття.

3. Завдяки зменшенню проникності у деревинну підкладку формується щільніша плівка захисно-декоративного покриття, що покращує декоративні властивості виробів та забезпечує надійний захист деревини.

Список літератури (References)

- Arminger, B., Jaxel, J., Bacher, M., Gindl-Altmutter, W., & Hansmann, C. (2020). On the drying behavior of natural oils used for solid wood finishing. *Progress in Organic Coatings*, 148, 105831. <https://doi.org/10.1016/j.porgcoat.2020.105831>
- Birdi K., (2016) Introduction to Surface and Colloid Chemistry: Recent Advances and General Remarks. <https://doi.org/10.1201/b18633-2>
- Brock, T., Groteclaus, M., & Mischke, P. (2015). *European guide to paints and coatings*. Paint-Media. <https://www.european-coatings.com/product/european-coatings-handbook/>
- Bruskova, D.-M. Ya., Kushchevska, N. F., & Malyshev, V. V. (2020). *Physical and Colloid Chemistry*. Kyiv: Open International University of Human Development "Ukraine". <https://ru.scribd.com/document/732665493>
- [Брускова, Д.-М. Я., Кушевська, Н. Ф., Малишев, В. В. (2020). *Фізична та колоїдна хімія*. Київ: відкритий міжнародний університет розвитку людини «Україна». 530 с.] (in Ukrainian)
- Chumak, V. L., Ivanov, S. V., & Maksymiuk, M. R. (2017). *Colloidal chemistry*. Kyiv: National Aviation University. [Чумак, В. Л., Іванов, С. В., Максимюк, М. Р. *Колоїдна хімія*. Київ: НАУ. 456 с.] (in Ukrainian)
- Da Silva, L. F. M., Dillard, D. A., Blackman, B., & Adams, R. D. (2012). Testing adhesive joints: Best practices. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons. <https://doi.org/10.1002/9783527647026>
- Cirule, D., Andersone, I., Kuka, E., & Andersons, B. (2024). Recent Research on Linseed Oil Use in Wood Protection – A Review. *Sci*, 6(3), 54. <https://doi.org/10.3390/sci6030054>
- DSTU 7016:2018 Wood products and wood-based materials. Surface roughness parameters (2018). Effective from January 01, 2019. Official edition. Kyiv: SE "Ukrmetrteststandart". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=80087 [ДСТУ 7016:2018
- Вироби з деревини та деревних матеріалів. Параметри шорсткості поверхні. Чинний від 2019-01-01. Вид. офіційне. Київ: ДП "Укрметртестстандарт"] (in Ukrainian)
- DSTU EN 1316-1:2019 (EN 1316-1:2012, IDT) (2019). Round timber. Qualitative classification. Part 1: Oak and beech. Effective from January 01, 2020. Official edition. Kyiv: SE "Ukrmetrteststandart". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=88040 [ДСТУ EN 1316-1:2019 Лісоматеріали круглі. Класифікація за якістю. Частина 1. Дуб та бук. Чинний від 2020-01-01. Вид. офіційне. Київ: ДП "Укрметртестстандарт"] (in Ukrainian)
- DSTU EN 1316-2:2005 (EN 1316-2:1997, IDT) (2005). Round timber. Qualitative classification. Part 2: Ash, and maple and sycamore. Effective from July 01, 2006. Official edition. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine. Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=52450 [ДСТУ EN 1316-2:2005 Лісоматеріали круглі. Класифікація за якістю. Частина 2. Ясен, клен та явір. Чинний від 2006-07-01. Вид. офіційне. Київ: Держспоживстандарт України] (in Ukrainian)
- DSTU EN ISO 150:2022 (EN ISO 150:2018, IDT; ISO 150:2018, IDT) (2022). Raw, refined and boiled linseed oil for paints and varnishes. Specifications and methods of test. Effective from December 01, 2022. Official edition. Kyiv: SE "UkrNDNC". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=105977 [ДСТУ EN ISO 150:2022 Олія лляна сира, рафінована і полімеризована для фарб і лаків. Специфікації та методи випробувань. Чинний від 2022-12-01. Вид. офіційне. Київ: ДП "УкрНДНЦ"] (in Ukrainian)
- DSTU EN ISO 19334:2022 (EN ISO 19334:2011, IDT; ISO 19334:2010, IDT) (2022). Binders for paints and varnishes. Gum rosin. Gas-chromatographic analysis. Effective from January 01, 2023. Official edition. Kyiv: SE "UkrNDNC". Retrieved from

- https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=115192 [ДСТУ EN ISO 19334:2022 Плівкоутворювачі для фарб і лаків. Живична каніфоль. Газохроматографічний аналіз. Чинний від 2023-01-01. Вид. офіційне. Київ: ДП "УкрНДНЦ"] (in Ukrainian)
- DSTU EN 927-1:2019 Paints and varnishes. Coating materials and coating systems for exterior wood. Part 1. Classification and selection (2019). Effective from January 01, 2020. Official edition. Kyiv: SE "UkrNDNC". Retrieved from https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=84931 [ДСТУ EN 927-1:2019 Фарби та лаки. Лакофарбові матеріали та системи покриттів для дерев'яних поверхонь зовнішнього застосування. Частина 1. Класифікація та вибір (EN 927-1:2013, IDT)] (in Ukrainian)
- Kovalenko, V. S., Pliasovska, K. A., Stets, O. S., & Tarasova, L. P. (2015). *Study guide for the course "Colloidal chemistry"*. Dnipropetrovsk: Oles Honchar Dnipro National University. [Коваленко, В. С., Плясовська, К. А., Стець, О. С., Тарасова, Л. П. (2015). *Посібник до вивчення дисципліни «Колоїдна хімія»*. Дніпропетровськ: РВВ ДНУ. 48 с.] (in Ukrainian)
- Krendlinger, E. J., & Wolfmeier, U. H. (2022). Natural and synthetic waxes: Origin, production, technology, and applications. Wiley-VCH. <https://doi.org/10.1002/9783527807758>
- Kúdela, J., Sikora, A., & Gondáš, L. (2023). Wood Surface Finishing with Transparent Lacquers Intended for Indoor Use, and the Colour Resistance of These Surfaces during Accelerated Aging. *Polymers*, 15(3), 747. <https://doi.org/10.3390/polym15030747>
- Miklečić, J., Lončarić, A., Veseličić, N., & Jirouš-Rajković, V. (2022). Influence of wood surface preparation on roughness, wettability and coating adhesion of unmodified and thermally modified wood. *Drvna industrija*, 73(3), 261–269. <https://doi.org/10.5552/drvind.2022.0016>
- Nekrasov, O. P., & Veretenchenko, B. A. (2018). *Surface Phenomena and Disperse Systems*. Kharkiv: NTU "KhPI" [Некрасов, О. П., Веретенченко, Б. А. (2018). *Поверхневі явища і дисперсні системи*. Харків: НТУ "ХПІ". 125 с.] (in Ukrainian)
- Prieto, J., & Kiene, J. (2018). *Wood coatings*. Hanover: Vincentz Network (European Coatings Library). <https://doi.org/10.1515/9783748600381>
- Redzuan, M. S. J., Paridah, M. T., Anwar, U. M. K., Juliana, A. H., Lee, S. H., & Norwahyuni, M. Y. (2019). Effects of surface pretreatment on wettability of Acacia mangium wood. *Journal of Tropical Forest Science*, 31(2), 249–258. <https://doi.org/10.26525/jtfs2019.31.2.249258>
- Samoilenko, S. O., Otroshko, N. O., Aksonova, O. F., & Dobrovolska, V. O. (2020). *Physical and Colloid Chemistry*. Kharkiv: Svit Knyh [Самойленко, С. О., Отрошко, Н. О., Аксьонова, О. Ф., Добровольська, В. О. (2020). *Фізична та колоїдна хімія*. Харків: Світ книг. 340 с.] (in Ukrainian)
- Sharan, P., Shoaie, A. S., Wittmann, M., & Simmchen, J. (2025). Diffusion of colloids at liquid–liquid interfaces. *Colloid and Polymer Science*, 304, 727–734. <https://doi.org/10.1007/s00396-025-05474-9>
- Vidholdová, Z., & Slabejová, G. (2018). Ecological assessment of selected transparent wood coatings from the viewpoint of fungal resistance. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 60(1), 75–83. <https://doi.org/10.17423/afx.2018.60.1.08>
- Voloshynets, V. A. (2017). *Physical and Colloid Chemistry. Physical Chemistry of Disperse Systems and Polymers*. Lviv: Lviv Polytechnic Publishing House. [Волошинець, В. А. (2017). *Фізична та колоїдна хімія. Фізико-хімія дисперсних систем та полімерів*. Львів: Львівська політехніка. 200 с.] (in Ukrainian)
- Wake, W. C. (Ed.). (2012). *Textile reinforcement of elastomers*. Dordrecht: Springer Netherlands. <https://doi.org/10.1007/978-94-011-9746-5>
- Yaremchuk, L. A., & Khmaryk, L. V. (2013). Investigation of physical and mechanical properties of protective and decorative coatings based on modified oils. *Scientific Edition of the Kharkiv National Technical University of Agriculture named after Petro Vasylenko*, 143, 119–125. <https://repo.btu.kharkiv.ua/server/api/core/bitstreams/6d9865f8-39b3-4fd8-9f6c-ec3c8167afe0/content> [Яремчук, Л. А., Хмарик, Л. В. (2013). Дослідження фізико-механічних властивостей захисно-декоративних покриттів на основі модифікованих олій. *Наукові видання ХНТУ СГ ім. Василенка*, 143, 119–125] (in Ukrainian)
- Yaremchuk, L. A., & Pobereiko, B. P. (2015). Mathematical model of adhesion of oil compositions on wood. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 25(10), 269–274. <https://doi.org/10.15421/40251041> [Яремчук

- Л. А., Поберейко, Б. П. (2015). Математична модель роботи адгезії олійних композицій на деревині. *Науковий вісник НЛТУ України*, 25(10), 269–274] (in Ukrainian)
- Yaremchuk, L., Hogaboam, L., Sedliačik, J., & Slabejová, G. (2023). Comparative analysis of the quality properties of oil-based and alkyd paint and varnish materials. *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen*, 65(1), 63–71. <https://doi.org/10.17423/afx.2023.65.1.06>
- Yaremchuk, L. A., Bilei, P. V., & Maksymiv, V. M. (2015). Physical characteristics of diffusion of linseed oil-based compositions in wood. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 229, 367–373. [Яремчук, Л. А., Білей, П. В., Максимів, В. М. (2015). Фізичні особливості дифузії композицій на основі лляної олії в деревину. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 229, 367–373.
- Yatsymarskyi, V. (2007). *Physical Chemistry*. Kyiv: Perun. [Яцимарський, В. (2007). *Фізична хімія*. Київ: Перун. 512 с.] (in Ukrainian)
- Yu, Q., Pan, X., Yang, Z., Zhang, L., & Cao, J. (2023). Effects of the surface roughness of six wood species on wettability and bonding quality of coating. *Forests*, 14(5), 96. <https://doi.org/10.3390/f14050996>
- Yatskov, M. V., Budenkova, N. M., & Mysina, O. I. (2016). *Physical and Colloid Chemistry*. Rivne: The National University of Water and Environmental Engineering. [Яцков, М. В., Буденкова, Н. М., Мисина, О. І. (2016). *Фізична та колоїдна хімія*. Рівне: Національний університет водного господарства та природокористування. 164 с.] (in Ukrainian)
- Žlahtić, M., Mikas, U., Serša, I., Merela, M., & Humar, M. (2017). Distribution and penetration of tung oil in wood studied by magnetic resonance microscopy. *Industrial Crops and Products*, 96, 149–157. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2016.11.049>

Features of creating edge corners by wetting a wooden substrate with modified linseed oil

L. Yaremchuk¹, L. Chornobai²

The physical principles underlying the formation of protective and decorative coatings based on modified linseed oil have been investigated. The wetting behavior of wood substrates with linseed oil was investigated in comparison with that of an alkyd varnish. The latter is widely used to create protective and decorative coatings for joinery.

Linseed oil modified with rosin was used in the study. Previous studies have demonstrated that rosin improves the performance characteristics of coatings made from oil-based materials. The investigations showed that rosin-modified oil increases the film hardness and reduces the ability of the oil to diffuse into the wood substrate. Consequently, the thickness of the protective and decorative film increases.

The wetting and spreading of a coating material over the wood surface is a prerequisite for the

formation of a uniform coating. It is well known that the ability of coating materials to wet wood substrates and spread evenly over their surfaces plays a crucial role in determining the appearance, mechanical strength, adhesion, and protective properties of protective and decorative coatings.

The surface tension was determined using a Rebinder apparatus. It is based on the maximum bubble pressure method, the maximum pressure required to detach an air bubble from the test material. For a comparative evaluation of the surface tension of rosin-modified linseed oil with varying rosin contents and alkyd varnish as structured (Bingham) fluids, their surface tension values were compared with that of distilled water as an (unstructured) Newtonian fluid. The surface

¹ Larysa Yaremchuk – Doctor of Technical Sciences, Professor at the Department of Furniture Production Techniques and Wood Products Technology Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: l.yaremchuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1056-8882>

² Liubov Chornobai – PhD Student, Assistant Lecturer at the Department of Technologies for Sawmilling, Carpentry and Wooden Construction Products, Deputy Director for Educational Work Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka St., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: chornobai_liubov@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-8745-6408>

tension value also significantly affects the ability of coating compositions to spread across the substrate surface.

In order to conduct experiments aimed at determining the surface tension of oil compositions and alkyd varnish, the contact angle, and the penetration depth of the aforementioned materials into the wood substrate of English oak, European beech, and European ash, linseed oil was modified with rosin in amounts ranging from 1.0 to 3.0 parts by weight. The studies were carried out at a temperature of $(20 \pm 2)^{\circ}\text{C}$ and a relative humidity of 70%.

According to the results of the study, rosin-modified linseed oil can be used for the formation of protective and decorative wood coatings. The introduction of rosin as a modifier in amounts up to 3.0 parts by weight does not significantly increase the surface tension of the composition. However, when determining the surface tension, the lowest values were demonstrated by the modified linseed oil within the range of 1.0-2.0 parts by weight,

which is a positive aspect. The wetting behavior of wood substrates with coating and oil compositions is influenced to a greater extent by the type of wood substrate than by the surface tension of the coating material. In the study of wetting wood substrates with modified oil compositions and alkyd varnish, the best indicators of the coating material's ability to spread over the substrate surface were found for European beech. Rosin-modified linseed oil provides better wetting of wood substrates compared to alkyd varnish. The results of the study on the penetration of rosin-modified linseed oil into wood substrates indicated that increasing the rosin content decreases the penetration depth while correspondingly increasing the thickness of the resulting coating. The penetration depth of the modified oil exhibits a 16% lower penetrating capability compared to natural oil.

Key words: protective and decorative coatings; wood finishing; rosin; alkyd varnish; surface tension; diffusion; contact angle.

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У збірнику «Наукові праці 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, ресурсощадних 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 і 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 виносіці 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 складає 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 круглих 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 англійськомовну 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 подаються 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 в кінці таблиці. Потрібно розрізняти символи «—», «-» та «-». Перший із них у рукописі статті не використовують.

Необхідно звернути увагу на правильність вживанням 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.

Представлені 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 формулюють чітко, лаконічно і зрозуміло, вони повинні впливати 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 «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.

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: <https://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

Збірник наукових праць
Наукові праці Лісівничої академії наук України

Випуск 30
2026 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 29.05.2026 р. Формат 60×84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 38,82. Обл.-вид. арк. 44,75.
Наклад 300 прим. Зам. № 3174

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-kadriv-vishoyi-kvalifikaciyi/naukovi-fahovi-vidannya>

