

Національний лісотехнічний університет України
Лісівнича академія наук України

НАУКОВІ ПРАЦІ

ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Випуск 19

Започатковано у 2001 р.

Львів
Видавництво «Компанія “Манускрипт”»
2019

Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2019. – Вип. 19. – 232 с.

У збірнику наукових праць опубліковано результати наукових досліджень, в яких висвітлено наукові досягнення в царині лісівництва та лісознавства, лісових культур і фітомеліорації, лісової таксації та лісовпорядкування, наведено результати досліджень у сфері екології, відтворення та покращення стану лісових ресурсів, захисту лісів і мисливства, біології рослинних угруповань, проблеми раціонального природокористування, висвітлено нові аспекти лісової інженерії, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки.

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

Рекомендовано до друку Вченою радою НЛТУ України та Президією ЛАН України (протокол № 12 від 26.12.2019 р.).

Редакційна колегія:

<i>професор</i> Ігор Соловій,	<i>д-р ек. наук</i> – головний редактор;
<i>професор</i> Юрій Дебринюк,	<i>д-р с.-г. наук</i> – заступник головного редактора;
<i>професор</i> Норберт Вебер,	<i>д-р габілітований, Технічний університет Дрездена, Німеччина;</i>
<i>професор</i> Анджей Возняк,	<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, Київ;</i>
<i>професор</i> Микола Гузь,	<i>д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Ервін Гуссендборфер,	<i>д-р габілітований, Університет прикладних наук Вайєнштефан-Трісдорф, м. Фрайзінг, Німеччина;</i>
<i>професор</i> П'єр Л. Ібіш,	<i>д-р габілітований, Університет сталого розвитку Еберсвальде, м. Еберсвальде, Німеччина;</i>
<i>професор</i> Петро Лакида,	<i>д-р с.-г. наук, Національний ун-т біоресурсів і природокор. України, Київ;</i>
<i>професор</i> Віктор Ткач,	<i>д-р с.-г. наук, Укр. наук.-дослід. інститут лісівництва та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, Харків;</i>
<i>доцент</i> Олег Часковський,	<i>канд. с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Володимир Кучерявий,	<i>д-р с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>доцент</i> Володимир Крамарець,	<i>канд. с.-г. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Надія Олексійченко,	<i>д-р с.-г. наук, Національний ун-т біоресурсів і природокор. України, Київ;</i>
<i>професор</i> Григорій Криницький,	<i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Володимир Заїка,	<i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Мирослава Сорока,	<i>д-р біол. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Степан Стойко,	<i>д-р біол. наук, doctor honoris causa, Інститут екології Карпат, Львів;</i>
<i>професор</i> Платон Третяк,	<i>д-р біол. наук, Державний природознавчий музей НАН України, Львів;</i>
<i>професор</i> Юрій Туниця,	<i>д-р ек. наук, акад. НАН України, Національний лісотехн. ун-т України, Львів;</i>
<i>професор</i> Лідія Заднік-Штірн,	<i>д-р ек. наук, Університет м. Любляна, Словенія;</i>
<i>професор</i> Марія Нижник,	<i>д-р ек. і соц. наук, Джеймс Хаттон Інститут, м. Абердин-Данді, Великобританія;</i>
<i>професор</i> Євген Мішенін,	<i>д-р ек. наук, Сумський державний університет, Суми;</i>
<i>професор</i> Тарас Туниця,	<i>д-р ек. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Павло Бехта,	<i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Володимир Голубець,	<i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Юрій Грицюк,	<i>д-р техн. наук, Національний університет «Львівська політехніка», Львів;</i>
<i>професор</i> Ігор Озарків,	<i>д-р техн. наук, Національний лісотехнічний університет України, Львів;</i>
<i>професор</i> Ян Седлячек,	<i>д-р філософії, Технічний університет в м. Зволєн, Словаччина.</i>

Науковий редактор: **Юрій ДЕБРИНЮК**
Літературний редактор: **Анна ПАВЛИШИН**
Редактор англomовних текстів: **Ігор СОЛОВІЙ**
Технічне забезпечення видання: **Маріанна КУК**
Відповідальний секретар: **Богдана ДЕБРИНЮК**

Адреса видавництва:

Видавництво «Компанія “Манускрипт”»
вул. Руська, 16/3, м. Львів, 79008

Тел: (032) 235-30-12; E-mail: debrynyuk@gmail.com; <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 19

The journal was established in 2001

Lviv
«Company “Manuscript”»
2019

Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Collection of Research Papers. – Lviv : «Company “Manuscript”», 2019. – Vol. 19. – 232 p.

In the Collection of scientific papers the research results are published which highlight scientific advancement in the field of forestry and silviculture, forest biometry and forest management planning. As well as the results of studies in the field of forest restoration and enrichment of forest resources, biology of plant communities, and forest protection, ecological problems, environmental protection and sustainable natural resource management are analyzed. New aspects of resource saving and environmentally-friendly wood-processing technologies are considered.

The Collection is designed for researchers, faculty members of educational institutions, and a wide audience of forestry sector and timber industry professionals.

The Collection is recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian National Forestry University and the Presidium of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine (protocol number 12 dated from 26.12.2019).

Editorial board:

<i>Professor Ihor Soloviy,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ.), Chief Editor;</i>
<i>Professor Iurii Debryniuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Deputy Chief Editor;</i>
<i>Professor Norbert Weber,</i>	<i>Dr. rer. silv. habil., the Technische Universität Dresden, Germany;</i>
<i>Professor Andrzej Wozniak,</i>	<i>Dr. habil., University of Life Sciences, Lublin, Poland;</i>
<i>Professor Mykola Guz,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Anatoliy Hoychuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;</i>
<i>Professor Erwin Hussendörfer,</i>	<i>Dr. habil. the Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences, Freising, Germany;</i>
<i>Professor Pierre L. Ibisch,</i>	<i>Dr. habil., Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde, Germany;</i>
<i>Professor Petro Lakyda,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;</i>
<i>Professor Victor Tkach,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. N. Vysotsky, Kharkiv;</i>
<i>Associate professor Oleg Chaskovskyy,</i>	<i>PhD (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Volodymyr Kucheryavyy,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Associate professor Volodymyr Kramarets,</i>	<i>PhD (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Nadiia Oleksiichenko,</i>	<i>Dr. Sc. (Agr.), National Univers. of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;</i>
<i>Professor Volodymyr Zaika,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Hryhoriy Krynytskyy,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Myroslava Soroka,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Stephan Stojko,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), Dr. h.c., Institute of Ecology of the Carpathians, Lviv;</i>
<i>Professor Platon Tretyak,</i>	<i>Dr. Sc. (Biol.), State Museum of Natural Sciences of Ukraine, Lviv;</i>
<i>Professor Yuriy Tunytsya,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ.), Member of the NAS of Ukraine, Ukrain. National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Lidija Zadnik-Stirn,</i>	<i>Dr. Sc., University of Ljubljana, Slovenia;</i>
<i>Professor Maria Nijnik,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ. & Soc.), James Hutton Institute, Aberdeen, Dundee, United Kingdom;</i>
<i>Professor Evgen Mishenin,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ.), Sumy State University, Sumy;</i>
<i>Professor Taras Tunytsya,</i>	<i>Dr. Sc. (Econ.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Pavlo Bekhta,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Volodymyr Holubets,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Yuriy Hrytsyuk,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Lviv Polytechnic National University, Lviv;</i>
<i>Professor Ihor Ozarkiv,</i>	<i>Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;</i>
<i>Professor Jan Sedliačik,</i>	<i>PhD, (Tech.), Technical University in Zvolen, Slovak Republic.</i>

Scientific Editor: *Iurii DEBRYNIUK*

Literary editor: *Anna PAVLYSHYN*

Editor of English texts: *Ihor SOLOVIY*

Technical support of the publication: *Marianna KUK*

Responsible secretary: *Bogdana DEBRYNYUK*

Publishers Address:

Publishing «Company “Manuscript”»

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

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

ЗМІСТ

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

В. К. Заїка, А. В. Руденко

МОРФОФУНКЦІОНАЛЬНІ ОСОБЛИВОСТІ <i>PINUS SYLVESTRIS</i> L. У ЛІСОСТАНАХ БОРІВ МАЛОГО ПОЛІССЯ	11
--	-----------

К. Davydenko

EVALUATION OF FUNGAL ENDOPHYTES TO BIOLOGICAL CONTROL OF DOTHISTROMA NEEDLE BLIGHT ON <i>PINUS NIGRA</i> SUBSP. <i>PALLASIANA</i> (CRIMEAN PINE) (Оцінювання грибів-ендофітів для біологічного контролю дотистромозу сосни кримської (<i>Pinus nigra</i> subsp. <i>pallasiana</i>))	22
--	-----------

2. ЛІСОЗНАВСТВО ТА ЛІСІВНИЦТВО

Ю. М. Дебринюк

ВПЛИВ ФІТОЦЕНОТИЧНИХ УМОВ НА НАГРОМАДЖЕННЯ ДЕРЕВИНИ НАСАДЖЕННЯМИ ЗА УЧАСТЮ <i>PSEUDOTSUGA MENZIESII</i> (MIRB.) FRANCO У ЗАХІДНОМУ РЕГІОНІ УКРАЇНИ	33
---	-----------

Л. І. Коній, Ю. Й. Каганяк, С. Л. Коній, В. М. Сухович, М. Л. Коній, І. В. Фізик

СТРУКТУРА СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ РАЙОНУ ВИДОБУТКУ БУРШТИНУ У ПІВНІЧНО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ	50
---	-----------

В. В. Лавний, О. Р. Пелюх

ПОШИРЕННЯ ТА АНАЛІЗ СТАНУ ПОХІДНИХ ЯЛИНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ	60
--	-----------

В. П. Ткач, Е. С. Мигунова

ОТ СОЗДАНИЯ КЛАССИФИКАЦИИ ЛЕСОВ КАК ЭКОСИСТЕМ ДО ФОРМИРОВАНИЯ УКРАИНСКОЙ ШКОЛЫ ЛЕСНОЙ ТИПОЛОГИИ (К 150-ЛЕТИЮ СО ДНЯ РОЖДЕНИЯ А. А. КРЮДЕНЕРА) (Від створення класифікації лісів як екосистем до формування української школи лісової типології (до 150-річчя від дня народження А. А. Крюденера))	68
--	-----------

Ю. С. Шпарик

ПРОГНОЗ ВСИХАННЯ ЯЛИННИКІВ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ ЗА ТИПАМИ ЛІСУ	79
---	-----------

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА

М. М. Ведмідь, Ю. М. Дебринюк, В. Ю. Юхновський, С. П. Распопіна, Ю. М. Біла

ОСНОВНІ ЗАСАДИ СТРАТЕГІЇ ЛІСОРозВЕДЕННЯ В УКРАЇНІ	89
--	-----------

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, С. Н. Дырдин, И. Г. Тарасенко

ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОКАЗАТЕЛЕЙ СЕМЯН СОСНЫ КЕДРОВОЙ СИБИРСКОЙ, ПРОИЗРАСТАЮЩЕЙ В РАЗНЫХ ЛЕСОРАСТИТЕЛЬНЫХ РАЙОНАХ СИБИРИ (Мінливість показників насіння сосни кедрової сибірської, що росте у різних лісорослинних районах Сибіру)	100
--	-----

С. П. Распоіна

ПІЩАНІ ҐРУНТИ ТА СТАН ЛІСОРОЗВЕДЕННЯ У ЗОНІ ІНТЕНСИВНОЇ ДЕФЛЯЦІЇ УКРАЇНИ	108
---	-----

Р. М. Яцик, М. М. Сіщук, Ю. І. Гайда, Ю. Д. Кацуляк

СЕЛЕКЦІЙНО-НАСІННИЦЬКІ АСПЕКТИ ЗБЕРЕЖЕННЯ ТА ВІДТВОРЕННЯ ПОПУЛЯЦІЙ <i>PINUS CEMBRA</i> L. В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ	115
---	-----

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

П. І. Лакида, С. А. Ситник

ПРОДУКЦІЯ ФІТОМАСИ НАДЗЕМНОЇ ЧАСТИНИ РОБІНІЄВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ У ЛІСОВИХ КУЛЬТУРАХ ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ	124
--	-----

В. В. Миронюк

ДЕШИФРУВАННЯ ВИДОВОГО СКЛАДУ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЗА ДАНИМИ СЕЗОННИХ МОЗАІК СУПУТНИКОВИХ ЗНІМКІВ LANDSAT І ВИБІРКОВОЇ ІНВЕНТАРИЗАЦІЇ ЛІСІВ	135
--	-----

5. ЗАХИСТ ЛІСІВ І МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

V. Meshkova, Y. Koshelyaeva, M. Koliienkina

SILVER BIRCH HEALTH CONDITION IN THE PARKS OF KHARKIV NATIONAL AGRARIAN UNIVERSITY NAMED AFTER V.V. DOKUCHAEV (Санітарний стан берези повислої у дендропарку Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва)	144
---	-----

В. Г. Мазепа, Б. І. Колісник, П. Б. Хоєцький

ТРАВ'ЯНЕ ВКРИТТЯ І ЗАПАСИ ЛУЧНИХ КОРМІВ ДЛЯ УТРИМАННЯ <i>CERVUS ELAPHUS</i> L.	154
---	-----

6. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА

Klaus v. Gadow, Chris J. Cieszewski, John A. Kershaw Jr.

TO ACT OR NOT TO ACT BIAŁOWIEŻA FOREST UNDER CONFLICTING ECOLOGICAL PARADIGMS (Діяти чи не діяти. Біловезька Пуща з погляду конфліктних екологічних парадигм)	163
--	-----

І. П. Соловій, М. С. Кафлик, П. Б. Дубневич

ВИКОРИСТАННЯ ПАЛИВНОЇ ДЕРЕВИНИ У ФОКУСІ УВАГИ БІОЕНЕРГЕТИЧНОЇ ПОЛІТИКИ УКРАЇНИ	171
---	-----

7. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

І. А. Дубовіч, Х. Р. Василюшин, Т. Є. Фомічева, Ю. І. Волковська

ЕКОНОМІКО-ПРАВОВЕ РЕГУЛЮВАННЯ ОХОРОНИ ТА ЗБЕРЕЖЕННЯ БІОРИЗНОМАНІТТЯ ЕКОСИСТЕМ: ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА	178
---	------------

Л. Д. Загвойська, О. В. Блецка

МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ПЕРЕХОДУ МЕТОДОМ СИСТЕМНОЇ ДИНАМІКИ: ЕНЕРГЕТИЧНІ КООПЕРАТИВИ ЯК ІНСТРУМЕНТ ПЕРЕХОДУ ДО СТАЛОГО ВИКОРИСТАННЯ ДЕРЕВНОЇ БІОМАСИ В ЖИТЛОВОМУ СЕКТОРІ	187
---	------------

8. ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ДОВКІЛЛЯ

М. М. Борис, О. С. Мачуга, Н. В. Шевченко, Н. І. Библюк

НАУКОВО-МЕТОДИЧНІ ПІДХОДИ ДО ОБҐРУНТУВАННЯ ЕНЕРГООЩАДНИХ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛІСОВИХ МАШИН	199
--	------------

9. РЕСУРСООЩАДНІ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ

П. А. Бехта, І. І. Кусняк

ВЛАСТИВОСТІ ФАНЕРИ З ВИКОРИСТАННЯМ ЯК КЛЕЮ ТЕРМОПЛАСТИЧНОЇ ПЛІВКИ	209
--	------------

10. ХРОНІКА

В. Я. Заячук

ЗАСНОВНИК УКРАЇНСЬКОГО ПРИРОДОЗНАВСТВА, ЕТНОГРАФ, ПЕДАГОГ, ГРОМАДСЬКИЙ ДІЯЧ (ДО 100-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ СМЕРТІ ІВАНА ВЕРХРАТСЬКОГО)	223
--	------------

11. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

М. М. Барна, Л. С. Барна

ЖИТТЄВИЙ І ТВОРЧИЙ ШЛЯХ ЮРІЯ ТРЕТЯКА, ВІДОМОГО УКРАЇНСЬКОГО ВЧЕНОГО – ЛІСОЗНАВЦЯ, БОТАНІКА І ДЕНДРОЛОГА (ДО 125-РІЧЧЯ ВІД ДНЯ НАРОДЖЕННЯ)	227
--	------------

ДО УВАГИ АВТОРІВ	230
-------------------------------	------------

CONTENTS

1. BIOLOGICAL ASPECTS OF PLANT COMMUNITIES

V. Zaika, A. Rudenko

MORPHOLOGICAL AND FUNCTIONAL FEATURES OF SCOTS PINE IN PINE FOREST STANDS OF THE SMALL POLISSIA	11
--	-----------

K. Davydenko

EVALUATION OF FUNGAL ENDOPHYTES TO BIOLOGICAL CONTROL OF DOTHISTROMA NEEDLE BLIGHT ON <i>PINUS NIGRA</i> SUBSP. <i>PALLASIANA</i> (CRIMEAN PINE).....	22
--	-----------

2. FORESTRY AND SILVICULTURAL SCIENCES

Iu. Debryniuk

THE INFLUENCE OF PHYTOCOENOTIC CONDITIONS ON WOOD ACCUMULATION BY STANDS WITH THE <i>PSEUDOTSUGA MENZIESII</i> (MIRB.) FRANCO PARTICIPATION IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE	33
---	-----------

L. Kopiy, Yu. Kahaniak, S. Kopiy, V. Suhovych, M. Kopiy, I. Fyzik

STRUCTURE OF PINE STANDS IN THE AREA OF AMBER PRODUCTION AT THE NORTH-EASTERN PART OF THE WEST POLISSYA	50
--	-----------

V. Lavnyy, O. Pelukh

DISTRIBUTION AND ANALYSIS OF THE STATE OF SECONDARY SPRUCE STANDS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS	60
---	-----------

V. Tkach, E. Migunova

FROM MAKING A CLASSIFICATION OF FORESTS AS ECOSYSTEMS TO THE FOUNDATION OF THE UKRAINIAN SCHOOL OF THOUGHT IN FOREST TYPOLOGY (ON THE 150TH ANNIVERSARY OF THE BIRTH OF A. A. KRÜDENER)	68
---	-----------

Y. Shparyk

FORECAST OF THE NORWAY SPRUCE FORESTS' DECLINE AT THE UKRAINIAN CARPATHIANS ACCORDING TO FOREST TYPES	79
--	-----------

3. PLANTED FORESTS, PHITOMELIORATION, TREE BREEDING AND GENETICS

M. Vedmid, Iu. Debryniuk, V. Yukhnovskyi, S. Raspopina, Yu. Bila

MAIN FOUNDATIONS OF THE AFFORESTATION STRATEGY IN UKRAINE.....	89
---	-----------

R. Matveeva, O. Butorova, S. Dyrdin, I. Tarasenko

VARIABILITY OF PINE CEDAR SIBERIAN SEEDS, WHICH GROW IN DIFFERENT FOREST AREAS OF SIBERIA.....	100
---	------------

S. Raspopina

SANDY SOILS AND THE STATE OF AFFORESTATION IN THE ZONE OF INTENSE DEFLATION IN UKRAINE	108
---	------------

P. Yatsyk, M. Sishchuk, Yu. Hayda, Yu. Katsulyak

BREEDING AND SEED PRODUCTION ASPECTS OF CONSERVATION AND REPRODUCTION OF AUSTRIAN STONE PINE (<i>PINUS CEMBRA</i> L.) POPULATIONS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS	115
---	------------

4. FOREST BIOMETRY AND FOREST MANAGEMENT PLANNING

P. Lakyda, S. Sytnyk

LIVE BIOMASS PRODUCTION OF THE ABOVEGROUND PARTS OF BLACK LOCUST STANDS IN FOREST CULTURES OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE.....	124
--	------------

V. Myroniuk

MAPPING TREE SPECIES COMPOSITION OF FOREST STANDS USING LANDSAT SEASONAL MOSAICS AND SAMPLE-BASED FOREST INVENTORY	135
---	------------

5. FOREST PROTECTION AND WILDLIFE RESOURCE MANAGEMENT

V. Meshkova, Y. Koshelyaeva, M. Kolienkina

SILVER BIRCH HEALTH CONDITION IN THE PARKS OF KHARKIV NATIONAL AGRARIAN UNIVERSITY NAMED AFTER V.V. DOKUCHAEV	144
--	------------

V. Mazepa, B. Kolisnyk, P. Khoetskyi

GRASS COVER AND MEADOW FORAGE RESERVE IN THE <i>CERVUS ELAPHUS</i> L. BREEDING	154
---	------------

6. ECOLOGY AND NATURE PROTECTED AREAS MANAGEMENT

Klaus v. Gadow, Chris J. Cieszewski, John A. Kershaw Jr.

TO ACT OR NOT TO ACT BIAŁOWIEŻA FOREST UNDER CONFLICTING ECOLOGICAL PARADIGMS	163
--	------------

I. Soloviy, M. Kaflyk, P. Dubnevych

FUEL WOOD USAGE IN A FOCUS OF BIOENERGY POLICY OF UKRAINE	171
--	------------

7. NATURAL RESOURCE ECONOMICS AND MANAGEMENT

I. Dubovich, Kh. Vasylyshyn, T. Fomicheva, Yu. Volkovska

ECONOMIC AND LEGAL REGULATION OF ECOSYSTEM BIODIVERSITY PROTECTION AND CONSERVATION: THEORY AND PRACTICE	178
---	------------

L. Zahvoyska, O. Bletska

MODELLING ENERGY TRANSITION PROCESS USING SYSTEM DYNAMICS: ENERGY COOPERATIVES AS A TOOL FOR TRANSITION TO SUSTAINABLE USE OF WOOD BIOMASS IN THE RESIDENTIAL SECTOR	187
---	------------

8. FOREST ENGINEERING: EQUIPMENT, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT

M. Borys, O. Machuga, N. Shevchenko, N. Byblyuk

SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL APPROACHES TO THE SUBSTANTIATION OF THE FOREST MACHINES ENERGY-SAVING AND ENVIRONMENTALLY FRIENDLY PARAMETERS	199
--	------------

9. RESOURCE SAVING AND ENVIRONMENTALLY SAFE WOOD PROCESSING TECHNOLOGIES

P. Bekhta, I. Kusniak

THE PROPERTIES OF PLYWOOD WITH THERMOPLASTIC FILM USING AS GLUE.....	209
---	------------

10. CHRONICLES

V. Zayachuk

FOUNDER OF UKRAINIAN NATURAL SCIENCE, ETHNOGRAPHY, EDUCATOR, AND SOCIAL ACTIVIST (TO THE 100TH ANNIVERSARY OF THE DEATH OF IVAN VERKHRATSKYI)	223
---	------------

11. MEMORY PAGES

M. Barna, L. Barna

THE LIFE AND CREATIVE WAY OF YURIY TRETYAK, A FAMOUS UKRAINIAN SCIENTIST – FORESTER, BOTANIST AND DENROLOGIST (ON THE OCCASION OF HIS 125TH BIRTHDAY)	227
---	------------

INFORMATION FOR AUTHORS	230
--------------------------------------	------------

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411923>
Article received 2019.05.21
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Zaika
vkzaika@ukr.net

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК [630*165.5 : 630*174.754] 477.83)

Морфофункціональні особливості *Pinus sylvestris* L. у лісостанах борів Малого Полісся

В. К. Заїка¹, А. В. Руденко²

Досліджували формування та морфофізіологічні особливості функціонування 27-145-річних соснових деревостанів природного насінного походження, які ростуть в сухих, свіжих, вологих, сирих і мокрих борах Малого Полісся. Встановлено, що *Pinus sylvestris* L. в борах Малого Полісся росте за V-I класами бонітету. Переважно тут формуються чисті соснові деревостани. Однак у складі близько половини деревостанів трапляється також *Betula pendula* Roth., частка якої коливається від поодиноких екземплярів до 10%. Вона характеризується істотним відставанням за ростом від сосни, яке за висотою становить 22,1-78,9%, а за діаметром – 17,4-70,1%. Повнота деревостанів природного походження, не залежно від віку, коливається в межах 0,50-0,93.

Найкращі умови для росту і функціонування *P. sylvestris* серед бурових типів складаються в свіжих і вологих борах. У цих умовах сосна характеризується найвищою продуктивністю. Вона формує хвою, яка за морфолого-анатомічними показниками та вмістом пластидних пігментів найбільшою мірою наближена до генетично-зумовленого рівня. В сирих борах виявлено істотне погіршення стану *P. sylvestris*, яке проявляється у зниженні інтенсивності росту дерев, зменшенні морфолого-анатомічних показників хвої та біосинтезу зелених і жовтих пігментів. Встановлено, що серед молодняків істотно вищими середньоденними показниками біоелектричних потенціалів характеризується сосна в сухих і свіжих борах. У середньовікових і пристиглих деревостанах виявлено істотне зниження біоелектричної активності сосни в сухих і свіжих борах та зростання – у вологих, сирих і мокрих. У молодняків, середньовікових і пристиглих деревостанів простежується достатньо чітке зростання показників імпедансу і зменшення поляризаційної ємності зі збільшенням вологості ґрунту. Найменш сприятливі умови для життєдіяльності *P. sylvestris* складаються в мокрому борі. Найбільш чутливими до зміни умов зволоження в борах виявились довжина, площа перетину і поверхні хвої, вміст хлорофілів і діелектричні показники.

Ключові слова: морфолого-анатомічні показники; пластидні пігменти; хлорофіли; каротиноїди; біоелектричні потенціали; діелектричні показники; деревостани; ріст; хвоя; лісорослинні умови.

¹ Заїка Володимир Костянтинович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-258-42-80, +38-067-148-06-26. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6784-023>

² Руденко Анатолій Вікторович – викладач, Березнівський лісотехнічний коледж, вул. Чорновола, 23, м. Березне Рівненської обл., 34600, Україна. Тел.: 03653-5-52-66; +38-098-356-99-59. E-mail: maydanec-84@ukr.net

Вступ. Мале Полісся характеризується значним розмаїттям лісорослинних умов. Тут переважають сугруди (61,8%) і субори (32,6%) (Gensiruk, Nyzhnyuk, & Koriy, 1998). Бори трапляються на площі 3,2%, у складі яких переважають свіжі і вологі гігروتони. У них формуються унікальні малопоширені для цього регіону рослинні угруповання, деревний ярус в яких представлений в основному *Pinus sylvestris* L. з незначною домішкою *Betula pendula* Roth. низької продуктивності (Gensiruk, Nyzhnyuk, & Koriy, 1998, Petrova, Petrov, & Patsura, 2008). Особливо малопоширеними тут є сухі, сирі і мокрі бори (Debryniuk, 2003).

У деревостанах природного походження за декілька поколінь за відсутності перехресного запилення формуються морфологічні адаптивні механізми пристосування до конкретних умов середовища. Так, у рівнинних лісорослинних умовах індекс фенологічної ізоляції між суходільними і болотними популяціями сосни становить 51-73% (Sannikov, & Petrova, 2003). Автори вказують також на деякі відмінності у проходженні фаз фенологічного розвитку репродуктивних процесів у різних типах лісу.

Морфолого-анатомічні показники сосни звичайної досліджували у зв'язку з вивченням їхньої зміни у межах ареалу (Pobedinsky, 1979, Pravdin, 1964, Mamaev, 1973, Sannikov & Petrova, 2003), здійсненням селекційного відбору високопродуктивних форм і успадкування їхніх ознак потомством (Zaika, 1995, Krynytsky, 1993), впливом чинників довкілля та умов фітоценозу (Margailik, 1965, Krynytsky, Zaika, Shlonchak, & Shlonchak, 1994, Zaika, Krynytsky, & Ivanytsky, 2013). Pravdin (1964), Sannikov & Petrova (2003) встановили закономірності зміни морфолого-анатомічних показників хвої сосни в межах ареалу та природних зон. Patlay (1984) довів, що морфолого-анатомічні ознаки хвої з різних частин її ареалу є генетично детермінованими і успадковуються та зберігаються в процесі росту географічних культур.

Під час дослідження взаємодії рослин з умовами середовища використовують також показники біосинтезу пластидних пігментів (Zaika, 1995, Zaika, Krynytsky, & Ivanytsky, 2013). Вони чутливо реагують на умови світлового і ґрунтового живлення (Nesterovich, Margailik, 1969), дію різних біотичних та абіотичних чинників (Rybak, 2012, Zaika, Krynytsky, & Ivanytsky, 2013). Інтенсивність процесів життєдіяльності характеризують електрофізіологічні показники – біоелектричні потенціали, імпеданс і поляризаційна ємність (Rutkovsky, 1965, Krynytsky, 1984, Mac Dougall, Thompson, & Piene, 1987, Mac Dougall, Maclean, & Thompson, 1988, Krynytsky, 1993, Zaika, 1995, Zaika, Krynytsky, & Ivanytsky, 2013). Використання морфологічних методів дає можливість з'ясувати інтенсивність життєдіяльності сосни в конкретних умовах середовища і таким чином показати формування і успадкування адаптивних ознак рослинного організму. Для проведення дослідження передбачалось вивчити: а) лісівничо-таксаційні показники дерево-

станів; б) морфолого-анатомічні показники хвої; в) вміст пластидних пігментів; г) біоелектричні потенціали і діелектричні (імпеданс і поляризаційну ємність) показники дерев сосни.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єктом дослідження слугували 27-145-річні природного насінного походження соснові лісостани, які ростуть в сухих, свіжих, вологих, сирих і мокрих соснових борах Мале Полісся. Предмет дослідження – лісівничо-таксаційні та морфологічні особливості формування соснових лісостанів в борах Мале Полісся.

Мета дослідження полягала у встановленні морфологічних особливостей життєдіяльності сосни звичайної в різних гігروتоніях борів Мале Полісся.

Для дослідження морфологічних показників у дослідних деревостанах підбирали по 20 модельних дерев різної інтенсивності росту (швидко-, середньо- і повільнорослі). Хвою для проведення морфолого-анатомічних досліджень та визначення вмісту пластидних пігментів відбирали з однорічних пагонів верхньої частини південної сторони крони дерева після завершення її росту.

Анатомічну будову хвої досліджували за допомогою мікроскопа МБС-10. Поперечні зрізи робили в середній частині хвоїнок. Площу їхнього поперечного перетину і поверхні визначали за відповідними формулами (Geographic cultures..., 1983).

Вміст пластидних пігментів вивчали спектрофотометричним методом (Small workshop on plant physiology, 1982). З рослинного матеріалу їх екстругували 80% ацетоном. Оптичну густину визначали на спектрофотометрі КФК-3.

Для вимірювання біоелектричних потенціалів використовували високоомний біопотенціалметр і не поляризаційні хлорсрібні електроди. Вимірювання БЕР у дерев сосни проводили на рівні кореневої шийки відносно землі в денній динаміці – з 8 до 18 год. (Krynytsky, 1992). Діелектричні показники (імпеданс і поляризаційну ємність) прикамбіальних тканин лубу дерев визначали приладом Ф4320 (Krynytsky, 1984). Вимірювання здійснювали на частоті 1 кГц. Електроди вводили в луб дерев на висоті стовбура 1,3 м.

Результати та обговорення. Дослідженнями встановлено, що на ріст і формування деревостанів у борах Мале Полісся значною мірою впливають умови довкілля. Переважно тут формуються чисті соснові або мішані з незначною домішкою берези повислої деревостани (табл. 1).

Частка сосни звичайної у складі дослідних деревостанів становить 9-10 одиниць. Сосна звичайна в борах Мале Полісся росте переважно за IV-I класами бонітету і тільки на ділянці 16 характеризується п'ятим класом бонітету. В молодняках віком 27-33 роки (пр. пл. 1-4) середня висота *P. sylvestris* становить 7,2-13,3 м, а діаметра 10,2-14,5 см (див. табл. 1). В середньовікових деревостанах (пр. пл. 5-8) ці показники виявились на рівні 10,3-21,4 м і 13,3-31,0 см, в пристиглих

(пр. пл. 9-12) – 14,3-22,5 м і 23,8-34,4 см та в стиглих (пр. пл. 13-16) – 11,8-26,2 м і 18,4-30,3 см. Найбільшу інтенсивність росту сосни за висотою і діаметром спостережено в свіжих і вологих борах. Найгірші умови для її росту складаються в умовах мокрих борів, де її середні показники висоти і діаметра виявились найнижчими. *B. pendula* у складі деревостанів трапляється майже на половині до-

слідних ділянок. Тільки на ділянці №3 в умовах вологого бору в 33-річному деревостані береза росте за висотою і діаметром на рівні сосни. На інших ділянках відставання берези від сосни за висотою становить 22,1-78,9, а за діаметром – 17,4-70,1 %. Загалом існує тенденція до збільшення відставання берези від сосни за біометричними показниками з віком деревостанів.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів в борах Малого Полісся

№ пр.пл.	Індекс ТЛУ	Склад деревостану	Індекс деревного виду	Вік, років	Середні		Бонітет	Повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
					d, см	h, м			
1	A ₁	10Сз	Сз	27	10,2	7,8	III	0,93	172
2	A ₂	10Сз	Сз	28	13,9	13,3	I	0,50	114
3	A ₃	9Сз1Бп	Сз Бп	33	14,5 13,7	10,0 9,2	III	0,76	181 10
4	A ₅	10Сз+Бп	Сз Бп	31	10,5 7,1	7,2 5,6	IV	0,86	129 3
5	A ₁	10Сз	Сз	53	22,8	15,4	II	0,89	260
6	A ₂	10Сз	Сз	56	31,0	21,4	I	0,67	295
7	A ₃	9Сз1Бп	Сз Бп	55	23,1 18,0	15,5 12,8	III	0,62	236 17
8	A ₅	10Сз	Сз	45	13,3	10,3	III	0,62	208
9	A ₁	10Сз+Бп	Сз Бп	63	30,8 8,0	19,0 9,8	II	0,60	209 1
10	A ₂	10Сз	Сз	64	34,4	22,5	I	0,61	288
11	A ₃	9Сз1Бп	Сз Бп	75	24,8 15,9	19,3 14,3	III	0,50	178 21
12	A ₄	10Сз+Бп	Сз Бп	75	23,8 7,8	15,1 8,0	IV	0,53	244 1
13	A ₁	10Сз	Сз	81	26,4	20,0	III	0,52	249
14	A ₂	10Сз+Бп	Сз Бп	90	29,4 6,2	23,4 7,0	II	0,60	275 2
15	A ₃	10Сз+Бп	Сз Бп	96	30,3 11,3	26,2 13,5	II	0,73	348 1
16	A ₅	10Сз	Сз	145	18,4	11,8	Va	0,87	221

B. pendula загалом вважається сильним і найпоширенішим конкурентом сосни у різних типах лісорослинних умов. Так, у молодняках природного походження в умовах сугрудів береза істотно перевищує сосну за біометричними показниками і за частки більше 30% у складі деревостанів пригнічує ріст сосни (Zaika, Krynytsky, & Ivanytsky, 2013). Однак її конкурентний потенціал знижується зі зменшенням трофності лісорослинних умов. В суборах Західного Полісся береза росте подібно до сосни або відстає від неї за біометричними показниками (Gonchar, Koriy, Klyumenko, Koriy, 2018).

Повнота деревостанів природного походження у борах коливається в межах 0,50-0,93. Низькою пов-

нотою (0,50-0,60) характеризуються деревостани на ділянках № 2, 9, 11, 12, 13, 14. Високоповнотні деревостани (повнота більше 0,8) сформувались на ділянках № 1, 4, 5 і 16. Саме з біометричними показниками дерев та повнотами тісно пов'язане формування запасу деревостанів. У молодняках він становить 114-191, у середньовікових деревостанах – 208-295, у пристиглих – 199-288 і в стиглих – 221-349 м³·га⁻¹. Найменші відмінності за показниками запасу виявлено між середньовіковими і пристиглими деревостанами.

Особливості життєдіяльності сосни звичайної в різних гігروتпах борів проявляються на морфологічно-фізіологічному рівні. Аналіз морфолого-анатомічних

показників хвої сосни частково наведений у нашій попередній роботі (Zaika, Rudenko, 2012). Однак, для встановлення впливу вологості ґрунту на формування хвоїнок сосною нами здійснено детальніший аналіз та математичне опрацювання отриманих результатів. За результатами досліджень, довжина хвоїнок у дерев сосни звичайної в умовах борів різних гігروتопів коливається в межах 52,2-88,0 мм, ширина – 1,49-1,84 мм, товщина – 0,74-0,88 мм, площа поперечного перетину – 0,84-1,26 мм² і площа поверхні – 151,9-294,3 мм² (табл. 2).

У дерев різних вікових категорій по-різному спостерігаються зміни розмірів морфологічних елементів хвої залежно від гігروتопу. Так, у пристиглих і стиглих деревостанах виявлено переважно істотне зменшення (на 2,3-36,9%; $t_{\phi} = 0,89-10,5$; $t_{05} = 2,02$) морфологічних показників хвоїнок у напрямку від сухих до мокрих борів. У середньовікових деревостанах вологих борів морфологічні

показники хвої виявились істотно (на 10,3-29,2%; $t_{\phi} = 3,06-3,58$) вищими, ніж в умовах сухих борів. У свіжих борах сосна формує хвою за морфологічними показниками близьку до сухих борів. У мокрих борах тільки окремі морфологічні показники хвоїнок (довжина, площа поверхні) дерев сосни характеризувались істотно меншими показниками ($t_{\phi} = 4,12-5,05$), ніж у сухих умовах. У молодняках сосни свіжих і вологих борів морфологічні показники хвої виявились подібними до таких у сухих борах, а в мокрих борах вони істотно зменшились ($t_{\phi} = 5,66-8,83$).

Значного впливу ступеня зволоження ґрунтів на формування смоляних каналів нами не встановлено (табл. 3). Їхня кількість на поперечному перетині хвоїнок дерев сосни у борах Малого Полісся становить 12,7-16,6 штук. Деяке зростання кількості смоляних каналів спостережено в пристиглих дерев сирого (16,6 шт.) і сухого (15,3 шт.) бору.

Таблиця 2

Морфологічні показники хвої дерев *Pinus sylvestris* в борах Малого Полісся

№ пр. пл. (ТЛУ)	Довжина, мм		Ширина, мм		Товщина, мм		Площа поперечного перетину, мм ²		Площа поверхні, мм ²	
	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %
1 (A ₁)	78,2±2,46	14,1	1,81±0,03	7,6	0,88±0,02	8,6	1,26±0,04	14,7	263,1±10,39	17,7
2 (A ₂)	76,8±2,47	14,7	1,75±0,04	11,0	0,84±0,02	12,5	1,17±0,06	22,4	250,2±11,30	20,7
3 (A ₃)	81,8±2,06	11,5	1,78±0,05	13,5	0,85±0,02	13,2	1,21±0,07	25,1	269,7±11,45	19,5
4 (A ₅)	52,2±1,69	16,5	1,57±0,03	9,8	0,74±0,01	8,3	0,92±0,03	17,8	151,9±7,07	23,7
5 (A ₁)	70,9±1,83	11,5	1,64±0,02	6,4	0,78±0,01	6,8	1,00±0,03	12,2	213,8±6,56	13,7
6 (A ₂)	74,7±2,43	14,2	1,59±0,05	13,6	0,77±0,02	13,3	0,97±0,06	27,7	221,2±12,90	25,4
7 (A ₃)	81,1±2,80	14,2	1,84±0,06	13,1	0,86±0,02	11,8	1,26±0,07	23,5	276,2±16,16	24,1
8 (A ₅)	57,3±2,01	15,7	1,61±0,03	7,7	0,78±0,01	8,2	0,99±0,03	15,2	171,1±8,04	21,0
9(A ₁)	73,3±1,97	12,6	1,82±0,03	8,6	0,88±0,02	10,1	1,26±0,05	18,1	248,0±9,53	18,0
10(A ₂)	67,1±1,72	11,5	1,71±0,05	13,5	0,83±0,02	11,7	1,09±0,06	26,0	206,2±8,82	19,1
11(A ₃)	67,4±1,76	11,4	1,62±0,03	9,3	0,78±0,02	10,2	1,00±0,04	18,1	201,8±7,54	16,3
12(A ₄)	70,9±1,81	10,8	1,68±0,03	8,6	0,79±0,01	7,7	1,04±0,04	15,5	218,3±7,63	14,8
13(A ₁)	88,0±2,36	11,7	1,80±0,04	10,8	0,86±0,02	10,0	1,23±0,05	19,1	294,3±12,59	18,7
14(A ₂)	66,3±2,54	16,2	1,49±0,03	8,0	0,75±0,01	7,4	0,88±0,03	14,9	186,2±9,26	21,1
15(A ₃)	71,6±1,79	11,2	1,57±0,04	11,4	0,77±0,02	9,6	0,96±0,04	20,0	209,9±7,96	17,0
16(A ₅)	57,7±1,55	11,7	1,74±0,03	6,3	0,84±0,01	4,0	0,84±0,01	4,0	185,7±4,93	11,6

Ширина і товщина центральної провідної системи (ЦПС) хвоїнок *P. sylvestris* більшою мірою залежить від гідрологічних умов ґрунтів, ніж кількість смоляних каналів (див. табл. 3). У дерев сосни різного віку середня ширина ЦПС становить 0,91-1,15 мм, а товщина – 0,33-0,41 мм. В пристиглих і стиглих деревостанах борів зі збільшенням вологості ґрунту ширина і товщина ЦПС хвої відносно типу *A₁* зменшилась на 4,4-21,1%. Зазвичай, тут переважають істотні відмінності

($t_{\phi} = 1,12-5,37$; $t_{05} = 2,02$). У молодняках і середньовікових деревостанах, які ростуть в свіжих і сирих борах, ширина і товщина ЦПС хвоїнок переважно не відрізняється від таких у сухих борах ($t_{\phi} = 0,00-4,00$). Особливо вагоме зменшення розмірів ЦПС (майже на 18%; $t_{\phi} = 4,95-7,07$) виявлено у молодняках мокрих борів. Водночас, ширина і товщина ЦПС хвої сосни у середньовікових деревостанах в умовах *A₅* слабо відрізняється від розмірів ЦПС у сухих борах.

Інтенсивність транспіраційних процесів значною мірою визначається густотою продихів. Їхня кількість на 1 мм ряду в сосни різного віку змінюється слабо і становить 11,5-12,4 шт. Проте більшою мінливістю дослідні ділянки характеризуються за густотою рядів продихів та загальною густотою продихів на 1 мм². Ці показники, відповідно, змінюються в межах 7,5-9,8 шт.·мм⁻¹ і 86,3-118,5 шт.·мм².

У межах вікових груп різних гігروتопів закономірності формування продихів проявляються

по-різному. В середньовікових, пристиглих і стиглих деревостанах встановлено чітке зменшення кількості рядів продихів і загальної їхньої густоти за збільшення вологості ґрунту. Так, у середньовікових деревостанах сосни кількість рядів продихів на 1 мм в умовах A_2 - A_5 зменшилась порівняно з сухими борами на 1,1-7,6% ($t_{\phi} = 0,35$ -2,47), в пристиглих – на 3,1-8,3% ($t_{\phi} = 0,71$ -1,89) і в стиглих – на 6,5-19,4% ($t_{\phi} = 1,66$ -4,99).

Таблиця 3

Анатомічні показники хвої дерев *Pinus sylvestris* в борах Малого Полісся

№ пр. пл. (ТЛУ)	К-сть смоляних каналів, шт.		Ширина ЦПС, мм		Товщина ЦПС, мм		К-сть продихів на 1 мм ряду, шт.		К-сть рядів продихів на 1 мм, шт.		К-сть продихів на 1 мм ² , шт.	
	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %
1 (A_1)	13,2±0,51	17,2	1,11±0,02	9,4	0,40±0,01	10,0	11,9±0,20	7,5	9,3±0,17	8,4	110,8±3,21	12,9
2 (A_2)	13,0±0,84	29,7	1,10±0,03	14,4	0,39±0,01	11,4	12,0±0,14	5,2	9,4±0,20	9,6	112,8±2,98	12,1
3 (A_3)	13,9±0,74	24,3	1,14±0,04	17,3	0,40±0,01	16,7	12,1±0,15	5,6	9,8±0,21	9,8	118,5±3,34	12,9
4 (A_5)	13,1±0,35	13,8	0,91±0,02	12,0	0,33±0,01	11,1	11,8±0,15	6,5	8,5±0,15	9,3	99,8±2,55	13,0
5 (A_1)	12,7±0,49	17,3	1,01±0,02	9,0	0,36±0,00	5,9	12,4±0,20	7,3	9,2±0,19	9,2	113,7±3,52	13,8
6 (A_2)	13,1±0,42	13,9	1,01±0,04	16,0	0,35±0,01	16,7	12,0±0,17	6,3	9,1±0,21	10,1	108,5±3,08	12,4
7 (A_3)	14,6±0,70	19,7	1,17±0,04	15,3	0,40±0,01	12,0	11,8±0,16	5,6	8,6±0,34	16,2	101,5±4,24	17,2
8 (A_5)	13,6±0,57	18,8	0,95±0,03	12,0	0,35±0,01	9,9	11,6±0,16	6,1	8,5±0,16	8,4	97,5±2,22	10,2
9 (A_1)	15,3±0,63	19,3	1,15±0,03	11,0	0,41±0,01	12,3	11,7±0,17	6,9	9,6±0,25	12,2	111,8±2,55	10,7
10 (A_2)	14,8±0,66	20,1	1,07±0,04	17,9	0,38±0,01	14,6	12,0±0,16	5,9	9,3±0,25	12,0	111,9±3,35	13,4
11 (A_3)	14,3±0,59	18,0	1,00±0,03	12,9	0,35±0,01	10,1	12,0±0,21	7,7	8,8±0,31	15,1	106,1±5,06	20,8
12 (A_4)	16,6±0,70	17,9	1,02±0,02	9,9	0,35±0,01	8,6	11,9±0,16	5,9	8,9±0,29	13,6	106,1±3,97	15,9
13 (A_1)	15,0±0,74	21,5	1,14±0,04	13,6	0,39±0,01	11,0	12,0±0,17	6,0	9,3±0,28	13,2	111,3±4,07	16,0
14 (A_2)	14,8±0,68	19,5	0,90±0,02	10,5	0,33±0,01	6,9	11,9±0,16	5,8	8,7±0,17	8,3	103,0±2,55	10,5
15 (A_3)	14,7±0,69	21,0	0,95±0,03	14,2	0,35±0,01	10,2	12,0±0,15	5,6	8,5±0,17	9,2	101,5±2,38	10,5
16 (A_5)	14,3±0,55	16,6	1,09±0,02	7,0	0,37±0,00	4,8	11,5±0,24	9,2	7,5±0,15	8,7	86,3±2,73	13,8

Примітка. ЦПС – центральна провідна система.

Густота продихів (шт.·мм²) зі збільшенням вологості ґрунту в середньовікових деревостанах зменшується на 4,6-14,2% ($t_{\phi} = 1,11$ -3,92), у стиглих – на 7,5-22,5% ($t_{\phi} = 1,71$ -5,09). У пристиглих деревостанах ці зміни виявились найменшими. В умовах свіжого бору густота продихів виявилась подібною до такої у сосни в сухих борах. У вологих і сирих борах цей показник зменшився на 5,1% ($t_{\phi} = 1,00$ -1,19). У молодняках свіжих і вологих борів показники, які характеризують формування продигової системи, зросли на 0,8-6,9% ($t_{\phi} = 0,35$ -1,68), а в мокрих – знизилась на 0,8-9,9% ($t_{\phi} = 0,35$ -2,83). При цьому встановлено істотне зменшення густоти рядів і загальної кількості продихів.

Результати кластерного аналізу морфолого-анатомічних показників хвої і дослідних ділянок наведено на рис. 1.

Отже, найбільше на зміну вологості ґрунту в борах реагують довжина (1), а також площа поперечного перетину (4) і поверхні (5) хвої, а найменше – кількість смоляних каналів на поперечному перетині хвоїнок (6) (див. рис. 1А). Ці показники хвої використали для аналізу реакції сосни звичайної на умови росту в борах (див. рис. 1Б). За здійсненим аналізом, дослідні ділянки поділились на три групи. Ділянки мокрих борів (№ 4, 8 і 16) увійшли до другої групи. До цієї групи також потрапив деревостан ділянки № 14, яка знаходиться в умовах свіжого бору. До I і III кластерів потрапили ділянки борів різних гігروتопів – від A_1 до A_4 .

Варіабельність дерев в деревостанах борів Малого Полісся за морфолого-анатомічними показниками хвої змінюється від слабкої до сильної ($V = 4,0$ -29,7%). Слабкий ступінь мінливості де-

рев переважає за густотою продохів в рядах та за густотою рядів продохів. Найбільшою мінливістю в деревостанах характеризуються дерева сосни за площею поперечного перетину і поверхні хвоїнок та кількістю смоляних каналів. Загалом впливу ступеня вологості ґрунтів на динаміку мінливості морфолого-анатомічних показників хвої дерев сосни у деревостанах Малого Полісся нами не ви-

явлено. Спостережено лише тенденцію до зменшення варіабельності дерев сосни за морфолого-анатомічними показниками хвої в мокрих борах.

Ще одним важливим показником, який характеризує реакцію рослин на умови росту, є пластидні пігменти. Результати дослідження вмісту зелених і жовтих пігментів в однорічній хвої наведено в табл. 4.

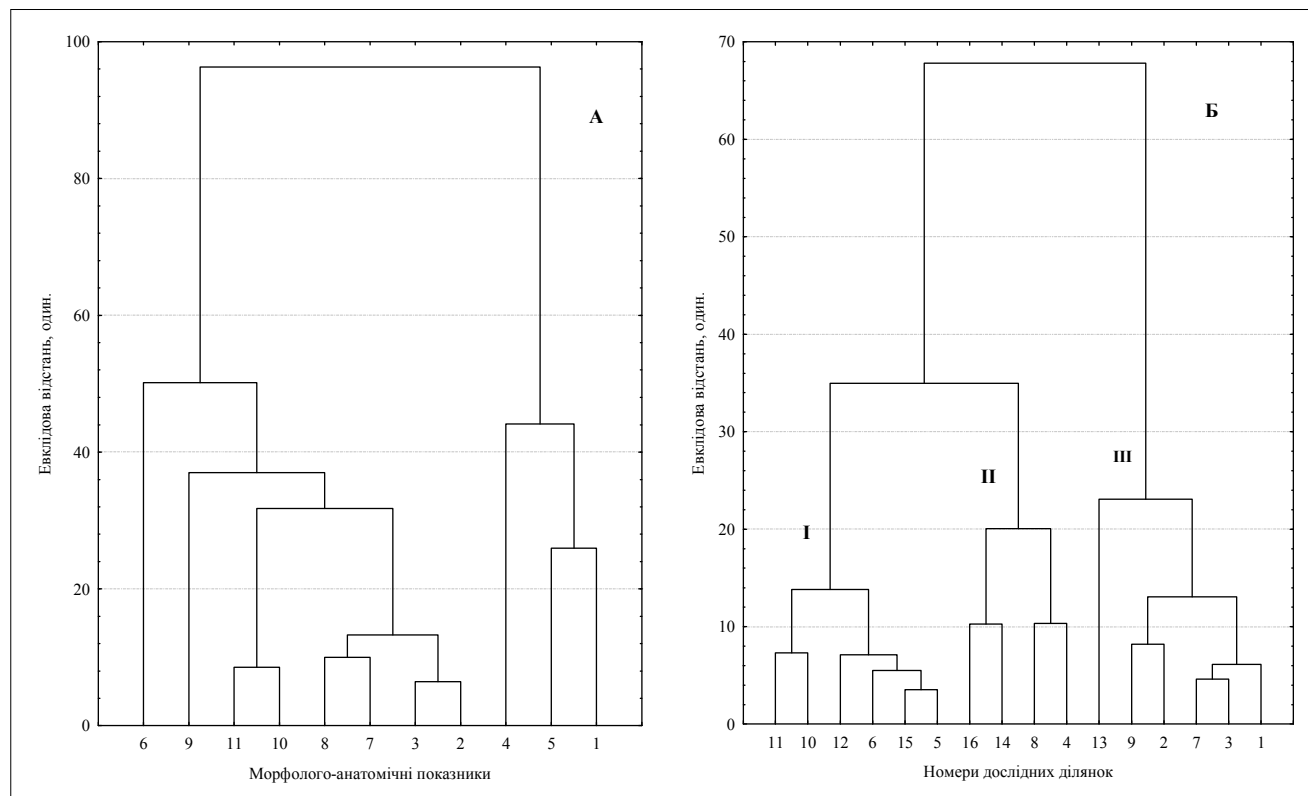


Рис. 1. Дендрограма зв'язків морфолого-анатомічних показників хвої і дерев *P. sylvestris* на дослідних ділянках за її морфолого-анатомічними показниками: А – морфолого-анатомічні показники хвої: 1) довжина; 2) ширина; 3) товщина; 4) площа поперечного перетину; 5) площа поверхні; 6) кількість смоляних каналів; 7) ширина ЦПС; 8) товщина ЦПС; 9) кількість продохів на 1 мм ряду; 10) кількість рядів продохів на 1 мм; 11) кількість продохів на 1 мм². Б – дослідні ділянки (1-16 номери дослідних ділянок)

Таблиця 4

Вміст пластидних пігментів в однорічній хвої дерев *Pinus sylvestris* в борах Малого Полісся, мг · г⁻¹ абс. сух. маси

№ пр. пл. (ТЛУ)	Хлорофіли		Каротиноїди		Відношення			
	<i>a+b</i>		«с»		<i>a/b</i>		<i>a+b/c</i>	
	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1 (A ₁)	2,22±0,06	12,4	0,24±0,01	6,8	3,0±0,1	7,2	9,2±0,2	11,1
2 (A ₂)	2,28±0,06	11,9	0,26±0,01	6,1	3,6±0,1	7,4	8,8±0,2	9,7
3 (A ₃)	2,35±0,07	13,8	0,25±0,01	8,1	3,4±0,1	7,3	9,4±0,2	9,6
4 (A ₃)	1,53±0,05	15,5	0,18±0,01	14,5	2,8±0,1	18,2	8,6±0,2	11,8
5 (A ₁)	2,22±0,05	9,8	0,28±0,01	4,2	3,6±0,1	7,6	7,9±0,1	8,0
6 (A ₂)	2,62±0,06	10,1	0,28±0,01	5,2	2,9±0,1	7,6	9,3±0,2	10,3
7 (A ₃)	2,66±0,05	7,3	0,34±0,01	8,6	3,6±0,1	8,3	7,3±0,3	14,6

Продовж. табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9
8 (A ₅)	1,97±0,03	7,1	0,23±0,01	15,0	3,0±0,1	2,6	8,6±0,3	20,0
9 (A ₁)	2,46±0,07	12,7	0,31±0,01	16,0	3,8±0,1	11,4	8,1±0,2	12,3
10 (A ₂)	2,80±0,06	9,2	0,30±0,01	4,5	3,4±0,1	5,7	9,3±0,2	8,3
11 (A ₃)	2,44±0,08	14,6	0,29±0,01	6,1	3,2±0,1	7,4	8,5±0,3	12,9
12 (A ₄)	1,85±0,05	13,5	0,24±0,01	11,2	3,1±0,1	22,8	7,7±0,2	13,7
13 (A ₁)	2,47±0,09	15,6	0,30±0,01	9,7	3,4±0,1	14,6	8,4±0,4	18,1
14 (A ₂)	2,51±0,05	9,6	0,26±0,01	6,2	2,9±0,1	8,7	9,6±0,3	12,8
15 (A ₃)	2,22±0,05	9,0	0,24±0,01	6,9	3,1±0,1	5,9	9,4±0,2	8,1
16 (A ₅)	2,16±0,07	14,1	0,25±0,01	14,4	3,3±0,1	7,4	8,8±0,4	21,0

За результатами досліджень, хвоя сосни на дослідних ділянках характеризується значною мінливістю вмісту хлорофілів і каротиноїдів. Так, концентрація зелених пігментів у хвої дерев дослідних деревостанів змінюється в межах 1,53-2,80, а каротиноїдів – 0,18-0,34 мг · г⁻¹ абс. сух. маси. Низьким вмістом хлорофілів характеризується хвоя сосни на ділянках № 4, 8, 12 і 16 в умовах мокрих борів, а каротиноїдів – на ділянках № 1, 4, 8, 12 і 15, які знаходяться в сухих, вологих, сирих і мокрих борах. Високий вміст хлорофілів виявлено у хвої сосни на ділянках № 6, 7, 9, 10, 11, 13 і 14, які ростуть у сухих, свіжих і вологих борах. Аналогічним зростанням біосинтезу каротиноїдів характеризується хвоя сосни на ділянках № 6, 7, 10. В умовах сухого, свіжого

і вологого бору сосна звичайна синтезує хлорофіли і каротиноїди на генетично зумовленому рівні. Їхня концентрація відповідає кількості, яка характерна для сосни регіону дослідження (Krynytsky, 1993, Dankevych, Zaika, & Krynytsky, 2014). Зниження вмісту пластидних пігментів спостережено у дерев сосни, які ростуть в сирих і особливо – в мокрих борах.

Таким чином, встановлено зниження біосинтезу пластидних пігментів деревами сосни в умовах мокрих борів та зростання – в умовах свіжих і вологих борів.

Для вивчення особливостей життєдіяльності дерев сосни звичайної застосували електрофізіологічні показники (табл. 5).

Таблиця 5

Електрофізіологічні показники дерев *Pinus sylvestris* різного віку в борах Малого Полісся

№ пр. пл.	Індекс типу лісу	Середньоденні БЕП, мВ		Імпеданс, кОм		Поляризаційна ємність, нФ	
		M±m	V, %	M±m	V, %	M±m	V, %
1	A ₁ C	-77,5±1,8	15,0	15,9±0,8	39,5	1,45±0,04	23,4
2	A ₂ C	-72,9±2,2	19,7	18,0±1,3	56,4	1,35±0,05	31,5
3	A ₃ C	-36,9±1,3	25,1	17,1±0,9	45,0	1,38±0,04	28,6
4	A ₅ C	-59,8±1,6	17,4	28,1±1,2	44,9	0,73±0,02	25,7
5	A ₁ C	-42,4±1,8	26,5	13,2±0,5	35,1	1,38±0,03	18,4
6	A ₂ C	-21,5±1,1	28,2	13,9±0,6	34,5	1,41±0,03	17,7
7	A ₃ C	-52,0±1,5	18,4	21,0±0,8	38,0	1,21±0,03	26,9
8	A ₅ C	-58,1±1,6	17,2	30,5±1,1	38,1	0,70±0,02	26,1
9	A ₁ C	-35,2±2,9	46,8	9,5±0,1	13,2	1,72±0,03	14,9
10	A ₂ C	-18,3±1,1	33,4	12,7±0,5	28,4	1,43±0,03	17,5
11	A ₃ C	-44,0±1,1	16,5	22,1±0,8	31,4	1,14±0,03	21,8
12	A ₄ C	-51,8±1,5	18,3	15,1±0,6	35,0	1,26±0,02	17,0
13	A ₁ C	-60,7±1,4	15,0	17,9±0,7	30,2	1,17±0,04	29,4
14	A ₂ C	-41,0±1,8	28,0	22,1±0,7	30,7	0,97±0,03	26,9
15	A ₃ C	-52,1±2,5	30,2	20,1±0,6	38,9	1,05±0,02	24,6
16	A ₅ C	-47,1±1,4	16,5	19,9±0,5	21,9	0,94±0,02	20,2

За наведеними даними, середньоденні показники біопотенціалів кореневої шийки у молодняків соснового бору різних гігروتопів коливаються в межах -36,9...-77,5, у середньовікових деревостанів – -21,5...-58,1, у пристиглих – -18,3...-51,8 і в стиглих – -41,0...60,7 мВ. Загалом, спостерігається тенденція до зниження біоелектричної активності сосни зі збільшенням її віку.

Однак, закономірності зміни біопотенціалів у зв'язку зі зміною гігروتопу у сосни різних вікових груп проявляються по-різному. Так, серед молодняків найвищими абсолютними показниками БЕП характеризується сосна в сухих і свіжих борах (-72,9...-77,5 мВ). У вологому борі цей показник знизився у два рази, а в мокрому – на 18-23 %. Водночас, у середньовікових і пристиглих деревостанах встановлено істотне зниження біоелектричної активності сосни в сухих і свіжих борах та зростання – у вологих, сирих і мокрих. У деревостанів стиглого віку найвищі абсолютні середньоденні показники БЕП виявлено в сосни сухого бору, а найменші – у свіжого (див. табл. 5).

Як показують результати досліджень, чіткої залежності між показниками БЕП сосни і гігروتопом у борах Малого Полісся не виявлено. Очевидно, на процеси життєдіяльності сосни звичайної впливає низка чинників, серед яких ступінь зволоження ґрунту не завжди є визначальною. Важливе значення мають також генетично детерміновані особливості рослин, які сформувались у процесі природного добору в конкретних умовах середовища.

Діелектричні показники не мають чітко вираженої денної динаміки, однак вони тісно пов'язані зі станом рослин та інтенсивністю процесів життєдіяльності. Вони характеризуються добре вираженою сезонною динамікою (Zaika, 1995). У період вегетації показники імпедансу досягають мінімальних значень, а поляризаційної ємності – максимальних. Результати досліджень показують, що в борах Малого Полісся імпеданс в середині вегетаційного періоду у молодняків сосни звичайної становить 15,9-28,1 кОм, а поляризаційна ємність – 0,73-1,45 нФ (див. табл. 5). У середньовікових деревостанах ці показники, відповідно, змінюються в межах 13,2-30,5 і 0,70-1,41, у пристиглих – 9,5-22,1 і 1,14-1,72 та в стиглих – 17,9-22,1 кОм і 0,94-1,05 нФ. У молодняках, середньовікових і пристиглих деревостанах простежується достатньо чітко зростання показників імпедансу і зменшення поляризаційної ємності зі збільшенням вологості ґрунту. Ними встановлено, що найвищим життєвим потенціалом характеризується сосна в сухих і свіжих борах. Особливо несприятливі умови для її росту і життєдіяльності складаються в мокрих борах. В цих умовах показники імпедансу прикамбальних тканин лубу в деревостанах сосни зросли до 28,1-30,5 кОм, а поляризаційної ємності зменшились до 0,70-0,73 нФ. У стиглих деревостанах відмінності між деревостанами сосни різних гігروتопів за показниками імпедансу і поляризаційної ємності виявились незначними. Це зумовлено низьким рів-

нем фізіолого-біохімічних та ростових процесів у зв'язку з віковими змінами.

Варіабельність електрофізіологічних показників у деревостанах сосни звичайної становила 13,2-56,4% (див. табл. 5). На більшості ділянок переважає середній і сильний ступінь мінливості показників біоелектричних потенціалів ($V = 15,0-46,8\%$) і поляризаційної ємності ($V = 17,0-31,5\%$) та сильний – імпедансу ($V = 13,2-56,4\%$). Зв'язку між варіабельністю електрофізіологічних показників та зміною вологості ґрунту не виявлено.

Висновки. Найкращі умови для росту і функціонування сосни звичайної складаються у свіжих і вологих борах. У цих умовах сосна звичайна характеризується найвищою продуктивністю. Вона формує хвою, яка за морфолого-анатомічними показниками та вмістом пластидних пігментів найбільшою мірою наближена до генетично-зумовленого рівня. В сирих борах виявлено істотне погіршення стану сосни звичайної, яке проявляється у зниженні інтенсивності росту дерев, зменшенні морфолого-анатомічних показників хвої та біосинтезу зелених і жовтих пігментів. У свіжих борах Малого Полісся найвищим життєвим потенціалом характеризується сосна звичайна в 50-70-річному віці.

Серед молодняків істотно вищими середньоденними показниками БЕП характеризується сосна в сухих і свіжих борах. У середньовікових і пристиглих деревостанах встановлено істотне зниження біоелектричної активності сосни в сухих і свіжих борах та зростання – у вологих, сирих і мокрих. У молодняках, середньовікових і пристиглих деревостанах простежується достатньо чітко зростання показників імпедансу і зменшення поляризаційної ємності зі збільшенням вологості ґрунту. Найменш сприятливі умови для життєдіяльності сосни звичайної складаються в умовах мокрого бору.

References

- Dankevych, S., Zaika, V., & Krynytsky, H. (2014). Biosynthesis of plastidic pigments of needles in Scots pine trees of different breeding categories in the reserve Lopatynsky. *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society: Ecological Collection «Contemporary Issues of Research and Conservation of Biodiversity»*, XXXIX, 204-209 (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2003). *Forest-cultural zoning of the Western Forest-Steppe of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Gensiruk, S. A., Nyzhnyk, M. S., & Kopyi, L. I. (1998). *Forests of the Western region of Ukraine*. Lviv: World (in Ukrainian).
- Gerushinsky, Z. Yu., Krinitsky, G. T., Gut, R. T., & Bozhok, A. A. (1983). *Geographic cultures of Scots pine at the Lviv Roztochia*. Lviv: World (in Russian).
- Gonchar, V. M., Kopyi, L. I., Klymenko, O. M., & Kopyi, S. L. (2018). *Features of formation of high-productivity birch-pine stands in Western Polissia*. Rivne: NSULDP (in Ukrainian).

- Krynytsky, G. T. (1984). On determining the viability of woody plants by the bioelectric method. *Forest Journal*, 4, 22-25 (in Russian).
- Krynytsky, H. T. (1992). About the method of using electrophysiological indicators for determining the viability of woody plants. *Forestry, Forest, Paper and Woodworking Industry*, 23, 3-10 (in Ukrainian).
- Krynytsky, H. T. (1993). Morphophysiological basis of tree breeding (Author's abstract doctoral dissertation, Ukrainian Agricultural Academy, Kyiv, Ukraine). (in Ukrainian).
- Krynytsky, H. T., & Zaika, V. K. (1991). Features of the anatomical and morphophysiological structure of pine needles in trees of different growth energies and their semi-sibling offspring. In *Proceedings of the 40th scientific and technical Conference*, 83-85. Lviv, Ukraine: Lviv Forestry Engineering Institute (in Russian).
- Krynytsky, H. T., Zaika, V. K., Shlonchak, H. A., & Shlonchak, H. V. (1994). Morphological and anatomical parameters of the needles of the offspring of irradiated pine stands. In *Proceedings of the 46th scientific and technical Conference*, 120-112. Lviv, Ukraine: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian).
- Mac Dougall, R., Maclean, D. A., & Thompson, R. G. (1988). The use of electrical capacitance to determine growth and vigor of spruce and fir trees and stands in New Brunswick. *Can. J. Forest Res*, 5, 587-594.
- Mac Dougall, R., Thompson, R. G., & Piene, H. (1987). Stem electrical capacitance and resistance measurements as related to total foliar biomass of balsam fir trees. *Can. J. Forest Res*, 17 (9), 1070-1074.
- Mamaev, S. A. (1973). *Forms of intraspecific variability of woody plants (case study of the Pinaceae family in the Urals)*. Moscow: Science (in Russian).
- Margailik, G. I. (1965). The effect of illumination on the development of Scots pine needles. *Ecology of woody plants*, 13, 100-107 (in Russian).
- Nesterovich, N. D., & Margailik, G. I. (1969). *The effect of light on woody plants*. Minsk: Science and technology (in Russian).
- Patlay, I. N. (1984). Study of the anatomical structure of Scots pine needles of various climatypes. *Forestry and Land and Forest Reclamation*, 69, 44-48 (in Russian).
- Petrova, L. M., Petrov, S. V., & Patsura, I. M. (2008). Structural diversity of the Small Polissia forests. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 18.8: 80-87. Available at: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_8/index.htm (in Ukrainian).
- Pobedinsky, A. V. (1979). *Pine*. Moscow: Forest industry (in Russian).
- Pravdin, L. F. (1964). *Scots pine*. Moscow: Science (in Russian).
- Rutkovsky, I. V. (1965). Electrophysiological method for determining the condition of woody plants. *Bulletin of Agricultural Science*, 4, 35-38 (in Russian).
- Rybak, Yu. L. (2012). Physiological and biochemical parameters of Scots pine trees in the conditions of infection by mottle butt rot. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22.11, 60-65. Available at: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_11/index.htm (in Ukrainian).
- Sannikov, S. N., & Petrova, I. V. (2003). *Differentiation of Scots pine populations*. Yekaterinburg: UrO RAS (in Russian).
- Small workshop on plant physiology* (1982). Moscow: Publishing House of Moscow State University (in Russian).
- Zaika, V. K., & Rudenko, A. V. (2012). Morphophysiological features of Scots pine trees in the pine forests of Small Polissia. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22.9, 9-14 (in Ukrainian). Available at: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_9/index.htm
- Zaika, V. K. (1995). Breeding and ecological features of the formation of semi-sibling offspring of Scots pine in the conditions of the Lviv Roztochia (Author's abstract doctoral dissertation, Lviv Forestry Engineering Institute, Lviv, Ukraine) (in Ukrainian).
- Zaika, V. K., Krynytsky, H. T., & Ivanytsky, R. S. (2013). Natural afforestation and forest-ecological and morphophysiological features of forest stands formation in abandoned agricultural lands of North-Western Podillya. *Scientific Papers of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 11, 41-50 (in Ukrainian).

Морфофункциональные особенности *Pinus sylvestris* L. в боровых древостоях Малого Полесья

В. К. Заика¹, А. В. Рудэнко²

Исследовали формирование и морфофизиологические особенности функционирования 27-145-летних сосновых древостоев естественного семенного происхождения, произрастающие в сухих, свежих, влажных, сырых и мокрых борах Малого Полесья. Установлено, что сосна обыкновенная в борах Малого Полесья растет по V-I классам бонитета. Преимущественно здесь формируются чистые сосновые древостои. Однако в составе около половины исследованных древостоев встречается также *Betula pendula* Roth., учас-

¹ Заика Владимир Константинович – академик Лесной академии наук Украины, доктор биологических наук, профессор кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-258-42-80, +38-067-148-06-26. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6784-023>

² Рудэнко Анатолий Викторович – преподаватель, Березновский лесотехнический колледж, ул. Черновола, 23, г. Бэрэзнэ Ровненской обл., 34600, Украина. Тел.: 03603-5-52-66; +38-098-356-99-59. E-mail: maydanec-84@ukr.net

тие которой колеблется от единичных экземпляров до 10%. Установлено существенное отставание березы от сосны по показателям роста, которое составляет по высоте 22,1-78,9, по диаметру – 17,4-70,1%. Полнота древостоев естественного происхождения, независимо от возраста, колеблется в пределах 0,50-0,93.

Среди боровых типов лучшие условия для роста и функционирования *P. sylvestris* сформировались в свежих и влажных борах. В этих условиях сосна характеризуется высокой производительностью. Она формирует хвою, которая по морфолого-анатомическим показателям и содержанием пластидных пигментов в наибольшей степени приближена к генетически обусловленному уровню. В сырых и особенно в мокрых борах выявлено существенное ухудшение состояния *P. sylvestris*, которое проявляется в снижении интенсивности роста деревьев, уменьшении морфолого-анатомических показателей хвои и биосинтеза зеленых и желтых пигментов. Среди морфолого-анатомических показателей наиболее чувствительными к изменению условий увлажнения в борах оказались длина, площадь сечения и поверхности хвои, а наименьшей реакцией на увеличение влажности почвы характеризуется количество смоляных каналов на поперечном сечении хвоинок.

В целом, наблюдается тенденция к снижению биоэлектрической активности *P. sylvestris* с увеличением ее возраста. Однако, закономерности изменения биопотенциалов в связи с изменением гигротопы у сосны различных возрастных групп проявляются по-разному. Установлено, что среднедневные показатели биопотенциалов на корневой шейке в молодняках соснового бора в различных гигротопках колеблются в пределах -36,9...-77,5, в средневозрастных древостоях – -21,5...-58,1, в приспевающих – -18,3...-51,8 и в спелых – -41,0...-60,7 мВ. В молодняках высокими абсолютными показателями БЭП характеризуется сосна в сухих и свежих борах. В средневозрастных и приспевающих древостоях установлено существенное снижение биоэлектрической активности сосны в сухих и свежих борах, и роста – во влажных, сырых и мокрых. В древостоях спелого возраста высокие абсолютные среднедневные показатели БЭП выявлены у сосны сухого бора, а наименьшие – в условиях свежего бора.

Показатели импеданса в середине вегетационного периода в молодняках *P. sylvestris* составляют 15,9-28,1 кОм, поляризационной емкости – 0,73-1,45 нФ. В средневозрастных древостоях эти показатели, соответственно, колеблются в пределах 13,2-30,5 и 0,70-1,41, в приспевающих – 9,5-22,1 и 1,14-1,72, в спелых – 17,9-22,1 кОм и 0,94-1,05 нФ. В молодняках, средневозрастных и приспевающих древостоях установлены закономерный рост показателей импеданса и уменьшение поляризационной емкости с увеличением влажности почвы.

Высоким жизненным потенциалом характеризуется *P. sylvestris* в сухих и свежих борах. Наименее благоприятные условия для ее роста и жизнедеятельности формируются в мокрых борах.

Ключевые слова: морфолого-анатомические показатели; пластидные пигменты; хлорофиллы; каротиноиды; биоэлектрические потенциалы; диэлектрические показатели; древостой; рост; хвоя; лесорастительные условия.

Morphological and functional features of Scots pine in pine forest stands of the Small Polissia

V. Zaika¹, A. Rudenko²

The paper examines the formation and morphophysiological features of functioning of 27-145-year-old pine forest stands of natural seed origin which grow in dry, fresh, moist, wet, and very wet pine forests of Small Polissia. It was found that Scots pine in the pine forests of Small Polissia grows on the V-I site classes. Mostly pure pine stands are formed here. However, in the composition of about half of the stands, weeping birch also occurs, the share of which ranges from single trees to 10%. It is characterized by a significant lagging behind pine in growth, which is 22.1 to 78.9% in height and 17.4 to 70.1% in diameter. The density of stands of natural origin, regardless of age, ranges from 0.50 to 0.93.

The best conditions for the growth and functioning of pine trees are in fresh and moist infertile pine site types. Under these conditions, pine is characterized by high productivity. It forms needles that are most closely related to the genetically determined level in terms of morphological and anatomical parameters and the content of plastid pigments. In wet, and especially in very wet pine forests, a significant deterioration in the condition of Scots pine was revealed, which appears itself in stunted growth of trees, a decrease in the morphological and anatomical parameters of needles and the biosynthesis of green and yellow pigments. Among the morphological and anatomical indicators, the length, cross sectional area and surface area of the needles turned out to be the most sensitive to changes in moisture conditions in the pine forests, while the number of resin channels in the cross-section of

¹ Volodymyr Zaika – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor of the Department of Forestry, Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-258-42-80, + 38-067-148-06-26. E-mail: vkzaika@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6784-023>

² Anatoliy Rudenko – Lecturer, Bereznivskiy Forestry College, Chornovola st., 23, Berezne, Rivne region, 34600, Ukraine. Tel: 03653-5-52-66; +38-098-356-99-59. E-mail: maydanec-84@ukr.net

the needles is the least dependent on changes in soil moisture.

In general, there is a tendency to a decrease in the bioelectric activity of pine with an increase in its age. However, the patterns of change in bioelectric potentials (BEP) in pines of different age groups due to the change of the hygrotape manifest themselves in different ways. It is established that the average daily indexes of bioelectric potentials of root collar in young pine forests of different hygrotapes fluctuate between -36.9 and -77.5, in middle-aged stands – -21.5 and -58.1, in maturing stands – -18.3 and -51.8, and in mature stands – -41.0 to -60.7 mV. Among young stands, it is pine in dry and fresh pine forests that is characterized by high absolute BEP. At the same time, in middle-aged and maturing stands, a significant decrease in the bioelectrical activity of pine trees is observed in dry and fresh pine forests, and an increase in moist, wet and very wet stands. In mature stands, the highest absolute average daily BEP values were found in pine of dry pine forest, and the lowest – in fresh pine forest.

It is revealed that the impedance indices in the middle of the growing season in young stands of Scots pines are 15.9-28.1 kOhm, and the polarization capacity is 0.73-1.45 nF. In the middle-aged stands, these figures fluctuate respectively in the range from 13.2 to 30.5 and from 0.70 to 1.41, in the maturing – from 9.5 to 22.1 and from 1.14 to 1.72, and in the mature – from 17.9 to 22.1 kOhm and from 0.94-to 1.05 nF. In young, middle-aged, and maturing stands, a regular increase in impedance and a decrease in polarization capacity with increasing soil moisture was established.

Pine in dry and fresh pine forests is characterized by the highest vital potential. The most unfavorable conditions for its growth and vital activity are found in wet pine forests.

Key words: morphological and anatomical parameters; plastid pigments; chlorophylls; carotenoids; bioelectric potentials; dielectric indexes; stands; growth; needles; forest growth conditions.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411924>
Article received 2019.07.14
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Kateryna Davydenko
kateryna.davydenko74@gmail.com
Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine

UDK 630.4

Evaluation of fungal endophytes to biological control of *Dothistroma* needle blight on *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* (Crimean pine)

K. Davydenko¹

Dothistroma needle blight (DNB), caused by *Dothistroma septosporum* and *Dothistroma pini*, is the most important forest disease of pine in many countries. This disease has recently emerged in Ukraine as a major threat to mostly *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* and less to Scots pine. There is increasing evidence that some fungal and bacterial isolates can reduce the growth and pathogenicity of fungal plant pathogens.

In this research, infected needles were collected from 30-year-old Crimean pine (*P. nigra* subsp. *pallasiana*) in four locations in Southern Ukraine. In total, 244 of endophytic fungi were recovered from needles of Crimean pine during summer sampling of the host's microbiome in Ukraine in 2012-2014.

Dothistroma spp. were detected using fungal isolation and species-specific priming PCR techniques.

Among all endophytes, eight fungal species were selected based on the commonness of their occurrence in the foliage of the host and their antagonistic activity. All selected species were tested for their antifungal activity against *Dothistroma* needle blight. Good antifungal activity against *Dothistroma pini* was achieved with the *Trichoderma* sp. and *Gliocladium rosea*, indicating their good potential possibility in preventing the *Dothistroma* needle blight on young pines. Moreover, the significant reduction in numbers of conidia and spore germination was found on needles treated with *Trichoderma* sp. and *Gliocladium rosea*, compared to conidia numbers following treatment with other fungi. Thus, the use of an effective biological control agent against *Dothistroma* could be of value in forest nurseries, where it is essential to reduce losses to *D. pini* infection prior to transferring pines to field sites for planting out.

Key words: DNB; *Dothistroma septosporum*; *Dothistroma pini*; pathogens; biological control; forest health.

Introduction. *Dothistroma* needle blight (DNB) is one of the most serious needle diseases of pine plantations and is responsible for many economic losses in landscape and forest settings through negative impacts on yields, quality of stands and visual amenity.

The main symptoms of the disease are premature needle fall, reduce in photosynthetic capacity, followed by yield losses and, in some cases, tree mortality (Bradshaw 2004, Woods et al. 2005, Millberg et al., 2016). Two closely related ascomycetous fungi are

¹ Kateryna Davydenko – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD, (agricultural sciences), senior researcher, G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration, Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Visiting Researcher at Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Uppsala BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7026, SE-75007, Uppsala, Sweden. Tel.: +38-098 66 755 26. E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

known to cause DNB: *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet and *D. pini* Hulbary (Barnes et al., 2004). *Dothistroma septosporum* and *D. pini* do not show consistent differences in the length of their conidia, so it is necessary the use of specific molecular markers for their discrimination and identification of the two pathogens (Barnes et al. 2004, Ioos et al., 2010).

Dothistroma septosporum has a worldwide distribution and found in many parts of the world where pines are grown (Barnes et al., 2008, Bulman et al., 2013). *D. pini* was found from some countries in Europe including Ukraine and from the USA (Drenkhan et al., 2016).

Dothistroma septosporum was first recorded in the Kiev region (Smela town) of Ukraine on *Pinus sylvestris* L. by L. Kaznowski (Barnes et al., 2008). Since 2004, DNB outbreak has been reported several times in the Tsjurupinsk (Kherson region) and Mykolaiv region on 30-year-old Crimean pine (*P. nigra* subsp. *pallasiana* or *P. pallasiana*, or *P. nigra* var. *pallasiana* (D. Don in Lamb) resulted in massive pine dieback in the southern Ukraine (Usichenko & Akulov 2005, Drenkhan et al., 2016). The natural range of *P. nigra* subsp. *pallasiana* covers the southern Carpathians and the Crimean Peninsula in Ukraine, as well as the Balkan Peninsula, Cyprus, the Black sea coast of Caucasus and Turkey (Barnes et al., 2008, Lazarević et al., 2017). Outbreak of DNB has spread in southern Ukraine and south-western Russia devastating more than 8000 ha of pine forests (Usichenko & Akulov, 2005).

Presently, DNB occurs throughout southern Ukraine and its severity appears to be increasing (Drenkhan et al., 2016) alongside climate change. It may act together with native or invasive pathogens and reduce the populations of Crimean pine (Tubby and Webber 2010, Adamson et al., 2018).

As DNB affects over 80 species of *Pinus*, as well as other conifers (Watt et al., 2005, Drenkhan et al., 2016), there is an urgent need to find effective methods for disease control and management, because DNB resulted in the rejection of planting susceptible *Pinus* species in some countries of Africa, Asia, Australasia, Europe and North America (Bulman et al., 2016). The main practices used to control of DNB in Ukraine are early detection of symptoms and signs of DNB, pathogen population monitoring. No chemicals applied in the Ukrainian forest due to the lack of permissible fungicides. However, copper and other fungicides were applied in the forest and landscape nurseries for pathogen spread prevention to uninfected areas, as well as an elimination of infected seedlings. According to Bulman et al. (2016), DNB may be effectively controlled using copper fungicides as it routinely applied in New Zealand and Australia, or by planting non-susceptible species, as is the most common form of management in Europe. Only a few studies demonstrated the possibility of using biological control agents to reduce the impact of this highly damaging pathogen in forest tree nurseries (Allenzi et al., 2015).

The aim of the study was to find potential biological agents against *Dothistroma* needle blight. This study reports the following results: i) screening needle endophytes to search potential agents of biological control against pine needle pathogen *Dothistroma pini*; ii) artificial inoculation experiments to test the potential of two fungal strains to provide control of Crimean pine infection by *D. pini*.

Objects and methods. *Fungal isolates and plant material.* Several endophytic fungi were recovered from needles of Crimean pine during summer sampling of the host's microbiome in Ukraine in 2012-2014. Asymptomatic, healthy needles were collected from trees growing in the Kherson region (46°31'36.2"N 32°32'01.3"E). Fifty individual needles were sampled in the canopy from each of ten trees of Crimean pine for a total of 500 needles. Needles were surface-sterilized by serial sterilization (1 min in 95% ethanol, 5 min in 6% sodium hypochlorite (NaOCl), and 30 s in 95% ethanol) before plating onto 3% potato dextrose agar (PDA). Smaller sample groups were also taken from diseased pines that appeared to have lower disease severity. The hyphal tip of each morphologically different mycelium that emerged from a needle was subcultured and transferred to for later identification. Following incubation, fungal isolates recovered from each plant fragment were selected at random, purified and grouped based on phenotypic characteristics, e.g. colony morphology, colony colour, and growth rate. Isolates representing each fungal group of interest were selected for further identification by morphological traits (classic taxonomy) and/or rDNA sequencing.

Dothistroma pini was isolated from infected needles collected in 2012-2014 in southern Ukraine (Kherson region, 46°31'36.2"N 32°32'01.3"E), and was used in artificial inoculation experiments previously. Following recovery from the plant tissues, representative cultures of dominant genera were made according to morphotypes and stored at 4°C on PDA.

Selection of endophytic fungi antagonists to Dothistroma pini. Fungi were selected based on the commonness of their occurrence in the foliage of the host and their antagonistic activity. The in vitro selection of antagonists against *D. pini* was carried out on 8% malt extract agar (MEA) medium a paired-growth assay. For this, mycelial discs (5 mm) of *D. pini* were inoculated on Petri dishes (100 mm) containing MEA medium and incubated at 28°C (photoperiod of 12 hours). Due to the slow growth of *D. pini*, after 15 days, the endophytic microorganisms were inoculated 50 mm from *D. pini* colony. The ability of a root endophyte to antagonize the pathogen was determined based on the inhibition level over a given period of time. This was achieved by assessing and measuring the concurrent growth of both the endophyte and the pathogen simultaneously on a shared MEA nutrient media surface (Fig. 1).

The inhibitory effect of each fungal endophyte on the pathogen is reflected in the spherical index (α/β) of the respective organisms (Rigerte et al., 2019). Solitary

cultures of the respective endophyte and the pathogen were also plated—and observed—as controls in this experiment. The antagonism was detected also by the formation of an inhibition halo (Fig. 2). For dual-culture assay the null hypothesis was formulated as follows: the difference between the means of the spherical indices of pathogens under antagonism and the means of the spherical indices of pathogen controls zero (Rigerte et al., 2019). The alternative hypothesis was formulated

as follows: the difference between the means of the spherical indices of pathogens under antagonism and the means of the spherical indices of pathogen controls is less than zero (Rigerte et al., 2019). The rationale for assuming this alternative hypothesis was that the spherical index of the pathogen under antagonism would be less than one (<1) while the controls, having grown in the absence of any biotic/abiotic pressure(s), should have a spherical index ≈ 1 (Rigerte et al., 2019).

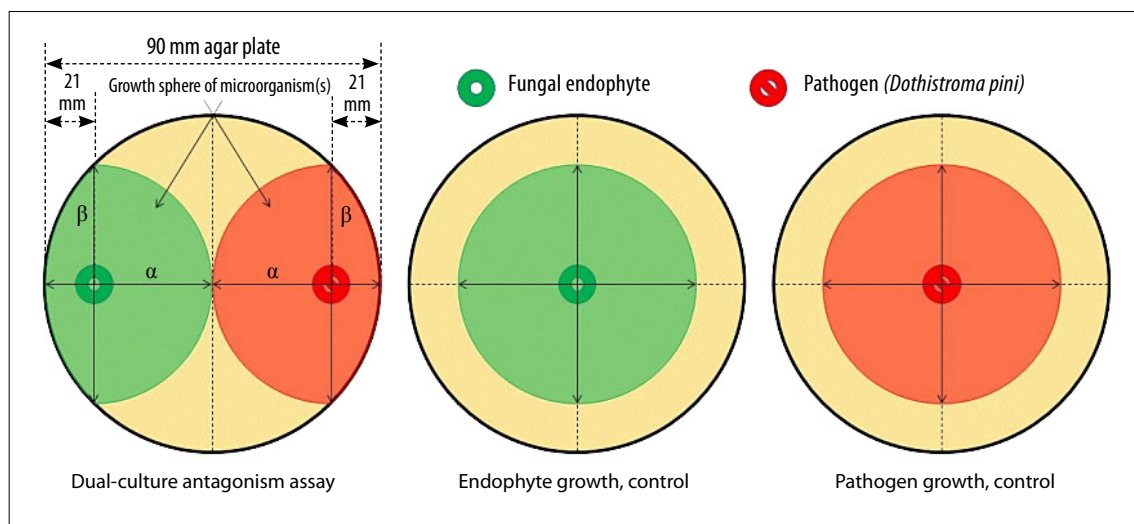


Figure 1. Schematic overview of the dual-culture antagonism assay tests (Rigerte et al., 2019)



Figure 2. The selection of endophytic antagonists to *Dothistroma pini* based on the formation of inhibition halo

Thus, if the effect of specific endophyte is real, then the means would also record the same behaviour, and the subtraction of the means of controls from the pathogen replicates involved in the test would then be a negative number (Rigerte et al., 2019).

Plant material and fungal inoculation in planta. Two-year-old Crimean pine (*P. nigra* subsp. *pallasiana*) seedlings were grown from seeds in the State Forest Enterprise “Holoprystanske LG” Kherson region. Five hundred seedlings without any symptoms of DNB were replanted in the nurseries at the Forest Protection Service enterprise “Kharkivlysozahist” (Kharkiv region, Ukraine) in March, 2017 for inoculation experiment.

A single plate of a mature culture of each selected fungus was used to obtain inoculum. To generate

inoculum, approximately 20 ml of sterile distilled water was added to each Petri dish with mature culture and loosening the spores into suspension by passing sterile glass beads over the surface of the culture, yielding a spore density of from 3×10^4 to 7.3×10^9 cells (CFU) ml^{-1} (Tab. 1). Conidial suspensions were adjusted to c. 1×10^4 – 1×10^9 spores ml^{-1} following replicate haemocytometer counts.

All suspensions were made to a volume of 200 ml with sterile distilled water and placed to the different spray bottles.

All pure cultures of eight selected fungi were made on MEA and PDA.

A solution of 200 ml of sterile distilled water was also included as a control. Concentrations of spores were not standardized across treatments since the fungi

were so diverse and their interactions with the host and the pathogen could not be expected to be comparable.

In July 2017, *P. nigra* subsp. *pallasiana* seedlings were assigned to inoculation treatments with eight endophytic fungi, with 20 replicate plants per treatment. For *in planta* testing for *D. pini* antagonists, 10 days after inoculation of endophytic fungi, spores of *D. pini* were introduced into the seedlings. For each treatment, the foliage was sprayed with a hand-held atomiser until large droplets formed. Control plants were inoculated just with sterile distilled water.

To stimulate DNB development, free water was maintained on needle surfaces. For this, plants were sprayed twice a day with water for 7 days. These incubation conditions were modified from Fraser et

al. (2016) and were designed to be optimum for the development of DNB.

The symptoms were evaluated from 60 to 120 days and the data were statistically analyzed by the one-way variance ANOVA method (test compared the means). After 60 days, five needles were collected randomly from each of five plants within each treatment group to determine the fungal inocula loads and percentage conidial germination. Four months after inoculation with *D. pini*, all needles of the previous year were collected and inspected under a microscope. DNB severity was assessed by calculating the percentage of needles with *D. pini* conidiomata. DNB severity was evaluated using the assessment system of Schwelm et al. (2009).

Table 1

Approximate propagule concentrations per ml of selected fungi suspension for testing their antagonistic activity

Species	Medium for cultivation	Spore concentration in suspension
<i>Cladosporium</i> sp	MEA	1.8×10^6
<i>Gliocladium roseum</i>	MEA, PDA	2.9×10^4
<i>Ilyonectria</i> sp.	MEA	2.7×10^8
<i>Sydowia polyspora</i>	MEA	1.9×10^6
<i>Trichoderma</i> sp.1 (Lithuanian isolate)*	MEA, PDA	7.3×10^9
<i>Trichoderma</i> sp.2 (needle endophyte)	MEA	6.2×10^8
Unidentified Ascomycetes 23	PDA	2.3×10^5
Unidentified Ascomycetes 37	PDA	3.7×10^6

* – One *Trichoderma* sp. strain was obtained from the Environmental Sciences culture collection, Natural Research Centre (Vilnius, Lithuania) showing string activity against pine pathogens in artificial inoculation experiments previously.

Molecular detection and identification. DNA was extracted from the selected symptomatic needles representing groups of different treatments. To avoid contamination on the needle surface, needle samples were washed in 96% ethanol for 60 seconds, 2% sodium hypochlorite for 5 minutes and rinsed in 96% ethanol for 30 seconds. Needles were transferred to a screw cap tube together with a screw and two nuts, freeze-dried and homogenized using a fast prep shaker (Precellys 24 Bertin Technologies). DNA was extracted following a CTAB protocol. Briefly, 1 ml of CTAB was added to each sample and incubated for one hour at 65°C. Samples were centrifuged and the supernatant was transferred to new tubes and cleaned with chloroform. DNA was precipitated with isopropanol, washed with 70% ethanol and eluted in 50 ml of milliQ water. After DNA extraction, samples were cleaned using JetQuick DNA purification kit (Genomed GmbH) and the concentration was measured with a NanoDrop™ (Thermo Scientific).

Conventional PCR with species specific primers was used to detect *D. septosporum* and *D. pini* in the needles, using species-specific primers DStub2-Forward (CGAACATGGACTGAGCAAAAC) and DStub2-

Reverse (GCACGGCTCTTTCAAATGAC), and DPtef-Forward (ATTTTTCGCTGCTCGTCACT) and DPtef-Reverse (CAATGTGAGATGTTTCGTCGTG), respectively (Ioos et al. 2010). The PCR reaction contained 200 mM deoxyribonucleotide triphosphates, 0.2 mM of each of the two primers, 0.0265 u/ml DreamTaq polymerase with 10X DreamTaq Green Buffer (DreamTaq Green, Thermo Scientific, Waltham, MA, USA) and MgCl₂ at a final concentration of 3.25 mM. The PCR conditions included an initial denaturation step at 95°C for 10 min followed by 35 amplification cycles of denaturation at 95°C for 30 s, annealing at 60°C for 30 s and extension at 72°C for 1 min, and thermal cycling was ended by a final extension step at 72°C for 10 min. The PCR products were purified with Qiagen DNA extraction PCR M kit (Qiagen, Hilden, Germany). PCR products were size separated on 1% agarose gels and visualized under UV light to confirm the presence of the 231 bp *D. septosporum* specific bands and 191 bp *D. pini* specific bands (Ioos et al. 2010).

Statistical analyses. Statistical analysis was carried out using the software JMP®, Version 11.0.0. SAS Institute Inc., Cary, NC, 1989-2007. Data were

statistically analyzed by the one-way variance method and the Tukey-Kramer multiple comparison. Test compared the means. One-way ANOVA tests were used to assess the impact of treatment on DNB severity. If ANOVA tests were significant, post-hoc Tukey tests were used to identify which treatments differed significantly. DNB severity was log-transformed before analysis. The impact of treatment on conidial germination was assessed with Kruskal–Wallis U-tests and post hoc Mann–Whitney U-tests with Holm corrections.

Results and discussion. The diversity of endophytic fungi was assessed in healthy (Site 1 and 2) and symptomatic (Site 3 and 4) trees of Crimean pines.

To avoid contamination and to isolate endophytic fungi only from inner needle tissues, surface disinfection was applied. The endophytic fungal community which was isolated from needles included *Alternaria* sp., *Cladosporium* sp., *Colletotrichum* sp., *Diaporthe* sp., *Dothistroma* sp., *Fusarium* sp. (including *Gibberella avenacea*), *Gliocladium* sp., *Lophodermium* sp., *Mariannaea elegans*, *Sordariomycetes* sp., *Trichoderma* sp. mostly (Tab. 2). The number of most common and fast-growing endophytic fungi that were recovered using MEA and PDA medium was not significantly different within both categories of plants (healthy and symptomatic) evaluated.

Table 2

Pooled relative abundance of selected most common fungal taxa obtained from asymptomatic and symptomatic needles collected on Crimean pine grown in south Ukraine (Kherson region)*

Fungal taxa	Site 1 healthy trees	Site 2 healthy trees	Site 3 symptomatic trees	Site 4 symptomatic trees
1	2	3	4	5
Ascomycota and other species				
<i>Alternaria</i> sp.	2.17	2.1	0	6.94
<i>Aspergillus versicolor</i> .	0.5	2.52	2.1	2.3
<i>Bionectria</i> sp.	5.33	5.2	4.17	3.47
<i>Botryotinia fuckeliana</i>	5.14	8.9	1.2	3.5
<i>Cadophora</i> sp	0.1	0.5	0.42	0.25
<i>Chaetomium globosum</i>	1.3	1.2	1.6	2.51
<i>Chaetomium</i> sp.	2.1	1.05	2.52	3.13
<i>Cladosporium</i> sp.	1.2	2.1	5.25	2.52
<i>Cladosporium herbarum</i>	2.2	2.52	6.33	5.25
<i>Cladosporium</i> sp	10.42	5.25	19.6	9.74
<i>Cordyceps</i> sp.	4.17	0	5.14	6.60
<i>Colletotrichum</i> sp.	5.14	1.05	2.52	0.1
<i>Cyclaneusma niveum</i>	0.9	1.3	5.5	2.15
<i>Dothistroma pini</i>	0.1	0.3	24.5	52.3
<i>Dothistroma</i> sp	1.05	2.52	5.25	1.05
<i>Diaporthe</i> sp.	0.01	12.5	6.8	0.01
<i>Gibberella avenacea</i>	18.75	15.6	10.42	17.3
<i>Gliocladium roseum</i>	7.25	5.25	8.15	2.3
<i>Eupenicillium</i> sp.	7.6	1.3	8.33	5.21
<i>Fusarium oxysporum</i>	2.08	0.2	0.1	3.13
<i>Fusarium</i> sp	0.05	4.17	0.1	2.43
<i>Ilyonectria</i> sp	8.8	2.08	4.25	8.33
<i>Lophodermium seditiosum</i>	4.75	4.17	6.3	9.03
<i>Mariannaea elegans</i>	9.5	6.8	2.2	2.52
<i>Penicillium</i> sp	0.01	4.17	0.9	4.86
<i>Penicillium roqueforti</i>	0.5	0.1	0.1	1.74
<i>Phoma</i> sp	0.1	0.1	4.17	5.21
<i>Phomopsis</i> sp.	0.3	0.1	0.1	0.1

1	2	3	4	5
<i>Pleosporales</i> sp.	2.1	0.1	2.2	5.6
<i>Sordariomycetes</i> sp.	7.9	0.1	2.3	5.6
<i>Sydowia polyspora</i>	13.00	19.5	15.9	15.4
<i>Trichoderma</i> like <i>asperellum</i>	12.3	15.8	6.35	15.6
Unidentified fungi				
Uncultured Ascomycetes clone H23	15.6	14.3	9.2	10.5
Uncultured Ascomycetes clone H37	7.9	5.1	8.6	9.7
Unidentified Basidiomycota FG14	0.1	0.1	0.1	0.1
Unidentified Basidiomycota FG39	0.1	0.1	0.1	0.1
Fungal sp HN18	0.1	0.1	0.1	0.1
Fungal sp HN19	0.1	0.1	0.1	0.1
Unidentified culture M12	0.1	0.1	0.1	0.1
Unidentified culture M74	0.1	0.1	0.1	0.1

* – fungi for antagonistic tests were selected based on the commonness, so only species common for all four sites were included in the Tab. 2.

A total of 244 endophytic fungi isolated from needles were randomly picked up and this population was partially characterized by rDNA (partial 18S, ITS-1, 5.8S, ITS-2 and partial 23S) sequencing. The results (see Tab. 2) showed that the most common and fast-growing endophytic fungi associated with the Crimean pine belong mainly to Ascomycetes group (Fig. 3) being the *Botryosphaeriaceae*, *Diaporthaceae*, *Dothideaceae*, and *Capnodiaceae* families the most frequent. The fungi *Fusarium* spp. and *Cladosporium* spp. were the dominant genera and showed the highest diversity (see Tab. 2). No correlation between fungal groups and plant categories was observed. The frequency of fungi isolation was 0.54 and 0.75 for healthy and symptomatic plants, respectively.

Partial sequences of rDNA were aligned and the relationships between endophytic isolates were evaluated by a neighbour-joining algorithm (see Fig. 3). Using this strategy, some isolates could not be identified. *Cladosporium* sp. was the most common genus recovered from needles. Both *Sydowia* and *Trichoderma* spp. as well as two unidentified species were also recovered at high frequency in Dothistroma-infected foliage sample and visually healthy needles. Given these findings, seven commonly isolated fungi from the microbiome of Crimean pine, including *Gliocladium roseum* (anamorph, *Clonostachys rosea*) (see Tab. 1, 3) and *Bionectria* sp. were selected and employed as putative disease modifiers.

Clonostachys rosea is a known parasite and antagonist of other fungi (Moraga-Suazo et al., 2011) and the genus *Bionectria* includes destructive mycoparasites, some of which are used as biocontrol agents of fungal plant pathogens (Schroers, 2001). One *Trichoderma* sp. strain was obtained from the Environmental Sciences culture collection, Natural Research Centre (Vilnius, Lithuania) showing high activity against pine pathogens in artificial inoculation experiments previously. So, a total of eight endophytic fungi were evaluated *in vitro* and *in vivo* against *D. pini*.

Only two species were able to inhibit the growth of the causal agent of Dothistroma needle blight of Crimean pine *in vitro* and two *in planta* (Tab. 3).

Dothistroma needle blight severity expressed as the percentage of needles with conidiomata was significantly lower on plants treated only with *Trichoderma* sp. 1 and *Gliocladium roseum* than trees treated with either species. In contrast, DNB severity on plants treated with other fungi was not significantly different from that on plants treated with *D. pini*. No conidiomata were observed on control plants treated with purified water.

At 120 days after *D. pini* inoculation, conidial density on needles from plants treated with both *Trichoderma* sp. 1 and *Gliocladium roseum* was significantly lower than on plants treated with either antagonistic fungi (Tab. 4). There was no significant difference between the other fungal species and positive treatments in conidial density or germination at either time point. Although conidial density appeared to increase between days 60 and 120, this increase was not significant (paired t-test, $p > 0.05$).

Overall, disease severity varied significantly by a tree (see Tab. 3), where the tree represents the combined effects of tree resistance and fungi impact. Severity varied significantly from tree to tree from as little as 1.7% to as much as 18.1%. Modifying effects were strongly significant ($P < 0.0001$), as were their interactions with trees ($P < 0.0001$) (Tab. 5).

It has previously been shown that endophytic communities vary spatially in the plant or may be dependent on the interaction with other endophytic or pathogenic microorganisms (Allenzi et al., 2015). Moreover, plant susceptibility to DNB is often related to the stress level of the individual and stress can arise from mismatching of the planting stock's ecological traits to the planting site, root deformities, damage, and desiccation, planting at improper depths in unsuitable soils, poor nutrient and water availability, and increased

exposure to pollutants, xenobiotics and contaminants (Bulman et al., 2013, 2016). So, these endophytic fungi are ubiquitous and may increase the plant resistance

by improving tolerance to drought, reducing the phytopathogen settling and promoting plant growth (Allenzi et al., 2015).

Table 3

Impact of potential antagonistic fungal species treatments on *Dothistroma pini* isolates growth and on DNB disease severity on Crimean pine needles

Inoculation treatments	Inhibition halo, mm	Disease severity, % $\pm$ SE)*	
		Antagonistic fungi	<i>Dothistroma pini</i>
<i>Bionectria</i> sp	32.5 ^a $\pm$ 2.9	+	17.95 $\pm$ 0.1 ^a
<i>Cladosporium</i> sp	14.2 ^b $\pm$ 1.4	+	18.11 $\pm$ 0.5 ^a
<i>Gliocladium roseum</i>	24.2 ^c $\pm$ 2.8	+	1.71 $\pm$ 0.2 ^b
<i>Sydowia polyspora</i>	15.3 ^b $\pm$ 1.9	+	17.22 $\pm$ 0.3 ^a
<i>Trichoderma</i> sp.1	29.8 ^d $\pm$ 1.8	+	2.31 $\pm$ 0.4 ^b
<i>Trichoderma</i> sp.2	19.2 ^e $\pm$ 1.4	+	17.41 $\pm$ 0.2 ^a
Unidentified Ascomycetes 23	14.8 ^b $\pm$ 1.3	+	17.34 $\pm$ 0.4 ^a
Unidentified Ascomycetes 37	13.2 ^b $\pm$ 3.4	+	17.58 $\pm$ 0.5 ^a
Positive control (<i>D. pini</i>)	—	—	8.34 $\pm$ 0.3 ^a
Negative control (sterile water)	—	—	0 $\pm$ 0

* – treatments followed by the same letter do not differ significantly (Tukey, $p > 0.05$). Negative control plants were excluded from statistical analysis.

Table 4

Impact of potential antagonistic fungal species treatments on *Dothistroma pini* conidial density and germination on Crimean pine needles

Inoculation treatments	After 60 days		After 120 days	
	<i>D. pini</i> conidia density (spores mm ⁻² ; mean $\pm$ SE)	<i>D. pini</i> conidia germination (%; mean $\pm$ SE)	<i>D. pini</i> conidia density (spores mm ⁻² ; mean $\pm$ SE)	<i>D. pini</i> conidia germination (%; mean $\pm$ SE)
<i>Bionectria ochroleuca</i>	24.4 $\pm$ 1.3 ^a	20.5 $\pm$ 10.0 ^a	26.2 $\pm$ 1.3 ^a	21.5 $\pm$ 9.0 ^a
<i>Cladosporium</i> sp	19.3 $\pm$ 1.5 ^a	19.8 $\pm$ 9.2 ^a	19.8 $\pm$ 1.4 ^a	20.0 $\pm$ 9.1 ^a
<i>Gliocladium roseum</i>	2.4 $\pm$ 1.2 ^b	12.8 $\pm$ 6.0 ^b	2.6 $\pm$ 1.1 ^b	12.3 $\pm$ 6.5 ^b
<i>Sydowia polyspora</i>	22.1 $\pm$ 0.9 ^a	24.5 $\pm$ 5.2 ^a	22.1 $\pm$ 1.1 ^a	24.9 $\pm$ 5.8 ^a
<i>Trichoderma</i> sp.1	3.4 $\pm$ 1.2 ^c	9.4 $\pm$ 6.5 ^b	3.5 $\pm$ 1.1 ^c	10.4 $\pm$ 6.9 ^b
<i>Trichoderma</i> sp.2	14.8 $\pm$ 3.1 ^d	19.5 $\pm$ 6.8 ^a	15.2 $\pm$ 3.1 ^d	20.2 $\pm$ 6.8 ^a
Unidentified Ascomycetes 23	20.5 $\pm$ 1.8 ^a	22.3 $\pm$ 7.3 ^a	21.0 $\pm$ 1.7 ^a	23.1 $\pm$ 6.3 ^a
Unidentified Ascomycetes 37	19.4 $\pm$ 1.8 ^a	24.5 $\pm$ 6.8 ^a	19.9 $\pm$ 1.8 ^a	26.5 $\pm$ 4.8 ^a
Positive control (<i>D. pini</i>)	30.6 $\pm$ 3.2 ^c	85.9 $\pm$ 6.4 ^c	32.8 $\pm$ 4.2 ^c	87.8 $\pm$ 6.9 ^c
Negative control (sterile water)	0 $\pm$ 0	—	0 $\pm$ 0	—

Table 5

Statistical data of modifying effects of antagonistic fungi including tree effect

Source			DF	F-value	P-value	
Treatment			7	50.07	<.0001	
Tree			19	957.98	<.0001	
Treatment * tree			54	104.44	<.0001	
<i>N</i> [*]	Mean DS ^{**}	Standard deviation	Standard error	<i>R</i> ²	CV ^{***}	<i>N</i> [*]
12.006	0.527	0.2286	0.0013	0.4337	33.3274	12.006

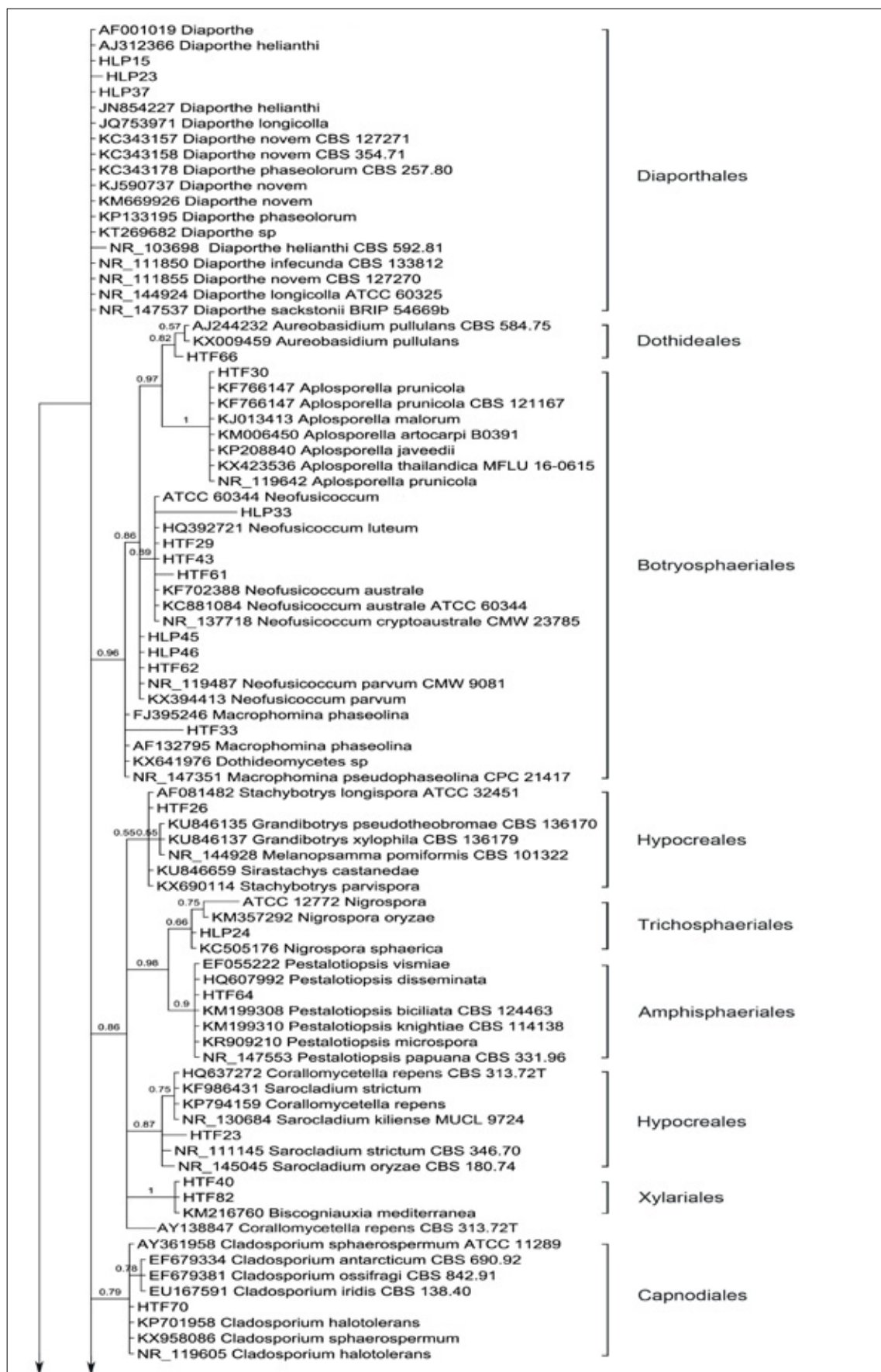


Figure 3. Phylogenetic tree showing the relationship between Crimean pine endophytic fungi and other fungal species. The tree was constructed based on the rDNA (ITS1, 5.8S, and ITS2) fragment sequence by using the neighbour-joining method. The bootstrap analysis was performed with 1000 repetitions

Current methods for control and management include pruning and thinning of stands to reduce humidity, planting of less susceptible or completely resistant host species and the application of copper-based and other modern fungicides (Bulman et al. 2013). With the exception of a few studies with bacteria, the possibility of using biological control agents to reduce the impact of DNB in forest tree nurseries has received little attention (Allenzi et al., 2015) and this study has increased in importance in Europe for application of biological methods in forest protection.

Plant ecosystems rely heavily on their microbial communities to optimize forest health, although this association might be a good possibility to find a balance between mutualism and disease (Rabiey et al., 2019). Endophytes might cover the capacity to directly inhibit pathogens by producing antifungal compounds (Allenzi et al., 2015, Bulman et al., 2016, Rabiey et al., 2019). Most tests and experiments have carried out in laboratory conditions, but it is unknown how the endophyte-pathogen interaction will alter in the presence of changing environmental conditions and competition with other organisms in the tree system (Rabiey et al., 2019).

Thus, much more field experiment should be taken place to recognize and confirm the optimal time and conditions for usage of biocontrol agents, as climate conditions and tree physiology could alter efficacy and efficiency of biocontrol agents may vary greatly depending on climate and tree traits.

Conclusion. The use of endophytes as biocontrol agents resulted in that *Dothistroma* needle blight was reduced on Crimean pine seedlings treated with *Trichoderma* sp. and *Gliocladium rosea*. The significant reductions in numbers of conidia and spore germination were found on needles treated with *Trichoderma* sp. and *Gliocladium rosea*, compared to numbers following treatment with other fungi. Our result suggested that both these species may possess potential in preventing the *Dothistroma* needle blight at least on young pines.

Although *D. pini* is present almost everywhere Crimean pine is grown, both severity of disease and area of outbreak vary significantly over time and efficiency of the biocontrol agent application may vary greatly depending on climate and tree traits. That's why it is important to continue the search of endophytic biological control agents that may alter the microbial community of the host tree and could decrease DNB virulence or enable host resistance. Further work is required on the impact of the fungal species on *Dothistroma* infections under nursery conditions.

Acknowledgements. The research was supported by the Ministry of Education and Science of Ukraine within joint Ukrainian-Lithuanian project No M/93-2018 (Biological control of forest invasive pathogens to preserve biodiversity in European woodland ecosystems). The financial support is gratefully acknowledged from the SI Scholarship of the Swedish Institute (SI) Visby Programme).

References

- Adamson, K., Mullett, M. S., Solheim, H., Barnes, I., Müller, M. M., Hantula, J., ... Drenkhan R. (2018). Looking for relationship between the populations of *Dothistroma septosporum* in northern Europe and Asia. *Fungal genetics and biology*, 110, 15-25. <https://doi.org/10.1016/j.fgb.2017.12.001>
- Alenezi, F. N., Fraser, S., Belka, M., Doğmuş, T., Heckova, Z., Oskay, ... Woodward, S. (2016). Biological control of *Dothistroma* needle blight on pine with *Aneurinibacillus migulanus*. *Forest Pathology*, 46, 555-558. <https://doi.org/10.1111/efp.12237>
- Barnes, I., Crous, P. W., Wingfield, M. J., & Wingfield, B. D. (2004). Multigene phylogenies reveal that red band needle blight of *Pinus* is caused by two distinct species of *Dothistroma*, *D. septosporum* and *D. pini*. *Studies in Mycology*, 50, 551-565. Available at: <http://www.wi.knaw.nl/images/ResearchGroups/Phytopathology/pdf/PDF%20OP%20NUMMER/201.pdf>
- Barnes, I., Cortinas, M. N., Wingfield, M. J., & Wingfield, B. D. (2008). Microsatellite markers for the red band needle blight pathogen, *Dothistroma septosporum*. *Molecular Ecology Resources*, 8 (5), 1026-1029. <https://doi.org/10.1111/j.1755-0998.2008.02142.x>
- Bradshaw, R. E. (2004). *Dothistroma* (red-band) needle blight of pines and the dothistromin toxin: a review. *Forest Pathology*, 34 (3), 163-185. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2004.00356.x>
- Bulman, L. S., Dick, M. A., Ganley, R. J., McDougal, R. L., Schwelm, A., & Bradshaw, R. E. (2013). 22 *Dothistroma* Needle Blight. In book: Infectious forest diseases. Croydon: CABI & CPI Group (UK) Ltd.
- Bulman, L. S., Bradshaw, R. E., Fraser, S., Martín-García, J., Barnes, I., Musolin, D. L., ... Tubby, K. (2016). A worldwide perspective on the management and control of *Dothistroma* needle blight. *Forest Pathology*, 46 (5), 472-488. <https://doi.org/10.1111/efp.12305>
- Eschen, R., Roques, A., Santini, A., (2014). Taxonomic dissimilarity in patterns of interception and establishment of alien arthropods, nematodes and pathogens affecting woody plants in Europe. *Diversity and Distributions*, 21(1), 36-45. <https://doi.org/10.1111/ddi.12267>
- Drenkhan, R., Tomešová-Haataja, V., Fraser, S., Vahalik, P., Mullett, M., Martín-García, J., ... Barnes, I., (2016). Global geographic distribution and host range of *Dothistroma* species: a comprehensive review. *Forest Pathology*, 46 (5), 408-442. <https://doi.org/10.1111/efp.12290>
- Fraser, S., Martín-García, J., Perry, A., Kabir, M. S., Owen, T., Solla, A., ... & Vasconcelos, M. W. (2016). A review of Pinaceae resistance mechanisms against needle and shoot pathogens with a focus on the *Dothistroma*-*Pinus* interaction. *Forest pathology*, 46 (5), 453-471. <https://doi.org/10.1111/efp.12201>

Оцінювання грибів-ендофітів для біологічного контролю дотистромозу сосни кримської (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*)

К. В. Давиденко¹

- Ioos, R., Fabre, B., Saurat, C., Fourrier, C., Frey, P., & Marçais, B. (2010). Development, comparison, and validation of real-time and conventional PCR tools for the detection of the fungal pathogens causing brown spot and red band needle blights of pine. *Phytopathology*, 100 (1), 105-114. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-100-1-0105>.
- Lazarević, J., Davydenko, K., & Millberg, H. (2017). Dothistroma needle blight on high altitude pine forests in Montenegro. *Baltic Forestry*, 23 (1), 294-302. Available at: https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2017-23%5B1%5D/Baltic%20Forestry%202017.1_294-302.pdf
- Millberg, H., Hopkins, A.J.M., Boberg, J., Davydenko, K., & Stenlid, J. (2016). Disease development of Dothistroma needle blight in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* under Nordic conditions. *Forest pathology*, 46 (5), 515-521. <https://doi.org/10.1111/efp.12242>
- Moraga-Suazo, P., Opazo, A., Zaldúa, S., González, G., & Sanfuentes, E. (2011). Evaluation of *Trichoderma* spp. and *Clonostachys* spp. strains to control *Fusarium circinatum* in *Pinus radiata* seedlings. *Chilean journal of agricultural research*, 71 (3), 412. <http://biblioteca.inia.cl/medios/biblioteca/agritec/NR38113.pdf>
- Rabiey, M., Hailey, L.E., Roy, S.R., Grenz, K., Al-Zadjali, M.A., Barrett, G.A., & Jackson, R.W. (2019). Endophytes vs tree pathogens and pests: can they be used as biological control agents to improve tree health? *European Journal of Plant Pathology*, 155, 711-729. Available at: <https://link.springer.com/article/10.1007/s10658-019-01814-y>
- Rigerte, L., Blumenstein, K., & Terhonen, E. (2019). New R-Based Methodology to Optimize the Identification of Root Endophytes against *Heterobasidion parviporum*. *Microorganisms*, 7 (4), 102. <https://doi.org/10.3390/microorganisms7040102>.
- Schroers, H.J. (2001). A monograph of *Bionectria* (Ascomycota, Hypocreales, Bionectriaceae) and its *Clonostachys* anamorphs. Utrecht: Centraalbureau voor Schimmelcultures
- Schwelm A., Barron N.J., Baker J., Dick M., Long P.G., Zhang S., & Bradshaw R.E. (2009). Dothistromin toxin is not required for Dothistroma needle blight in *Pinus radiata*. *Plant Pathology*, 58, 293-304. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2008.01948.x>
- Usichenko, A. S. & Akulov A. Y. (2005). *Dothistroma septosporum* (teleomorph *Mycosphaerella pini*) – quarantine plant pathogenic fungus revealed in Ukraine. In: *Proceedings of the 'Fungi in Natural and Anthropogenous Ecosystems*, 1 (pp. 248-253). Sankt-Petersburg: V.L. Komarova Botanical Institute of Russian Academy of Sciences (In Russian).
- Woods, A., Coates, K.D., & Hamann, A. (2005). Is an unprecedented Dothistroma needle blight epidemic related to climate change? *BioScience*, 55 (9), 761-769. [https://doi.org/10.1641/0006-3568\(2005\)055\[0761:IAUDNB\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1641/0006-3568(2005)055[0761:IAUDNB]2.0.CO;2)

Дотистромоз зазвичай викликають два види патогенних грибів, *Dothistroma septosporum* та *Dothistroma pini*. Дотистромоз хвої є однією із найбільш важливих інвазійних хвороб сосни у багатьох країнах. Ця хвороба нещодавно виникла в Україні й була оцінена як основна загроза для сосни кримської (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*); для *Pinus sylvestris* вона є менш загрозливою.

На сьогодні існують відомості, що гриби та бактеріальні ізоляти можуть зменшити ріст і патогенність грибів – збудників хвороб рослин. У цьому дослідженні інфіковані й неінфіковані хвоїнки зібрані у 30-річних насадженнях сосни кримської (*P. nigra* subsp. *pallasiana*) на півдні України. За допомогою фітопатологічних методів упродовж 2012-2014 рр. з хвої кримської сосни отримано 244 ізоляти ендоефітних грибів, які використовували для аналізу їхньої антагоністичної активності.

Збудники дотистромозу (*Dothistroma* spp.) та потенційно перспективні для подальших експериментів гриби культури виявлені за допомогою ізоляції та застосування специфічних для виду методів полімеразної ланцюгової реакції.

Серед усіх ендоефітів відібрано вісім видів грибів, які були спільними для всіх зразків і мали ознаки антагоністичної активності або раніше були визначені як антагоністи грибних захворювань рослин. Усі відібрані види протестовані на антигрибну активність стосовно дотистромозу (*Dothistroma* spp.) у чашках Петрі та на саджанцях сосни кримської у розсаднику. Найкращі показники антигрибної активності стосовно *Dothistroma pini* досягнуті під час використання грибів *Trichoderma* sp. та *Gliocladium rosea*. Це дає змогу припустити, що обидва види мають високий потенціал запобігання ураженню й поширенню дотистромозу, принаймні на молодих деревцях сосни. Значне зменшення кількості конідій збудника та пригнічення росту спор виявлено на хвоїнках, оброблених *Trichoderma* sp. та *Gliocladium rosea* у порівнянні з іншими видами грибів.

Хоча патоген *D. pini* присутній в Україні майже скрізь, де росте кримська сосна, важливо викорис-

¹ Давиденко Катерина Валеріївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Запрошений науковий співробітник Департаменту Лісової мікології і фітопатології Шведського Аграрного Університету, Р.О. Vox 7026, SE-75007, Упсала, Швеція. Тел.: +38-098 66 755 26. E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

товувати біологічні засоби контролю, які могли б зменшити вірулентність збудника дотистромозу або забезпечити стійкість рослини-живителя. Таким чином, використання ефективного біологічного контролю дотистромозу може бути корисним у лісових розсадниках, де важливо зменшити втрати від інфекції *D. pini* до висаджування кримської сосни в польові умови.

Ключові слова: *Dothistroma septosporum*; *Dothistroma pini*; патоген; біологічний контроль.

Оценка использования грибов-эндофитов для биологического контроля дотистромоза сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*)

Е. В. Давиденко¹

Дотистромоз обычно вызывают два вида патогенных грибов, *Dothistroma septosporum* и *Dothistroma pini*. Дотистромоз хвои является одной из важнейших инвазивных болезней сосны во многих странах. Эта болезнь недавно распространилась в Украине и представляет угрозу преимущественно для сосны крымской (*Pinus nigra* subsp. *pallasiana*) и менее серьезную – для *Pinus sylvestris*.

Сегодня много исследований свидетельствуют о том, что некоторые грибные и бактериальные

изоляты могут снизить интенсивность роста и патогенность грибов – возбудителей болезней растений. Для тестирования потенциальных антагонистов дотистромоза, в 2012-2014 гг. собраны инфицированные и неинфицированные хвоинки с 30-летней крымской сосны (*P. nigra* subsp. *pallasiana*) на юге Украины, и 244 вида эндофитных грибов проверены на возможную антигрибную активность. Возбудители дотистромоза (*Dothistroma* spp.) и потенциальные грибные антагонисты определены путем изоляции в чистую культуру и использования специфических видовых праймеров методом полимеразной цепной реакции.

Среди всех эндофитов отобрано восемь видов грибов, которые были общими для всех образцов и имели явные признаки антагонистической активности. Все отобранные виды протестированы на наличие противогрибной активности относительно дотистромоза (*Dothistroma* spp.) на 2-летних культурах сосны крымской. Лучшие показатели такой активности против *Dothistroma pini* достигнуты при использовании грибов *Trichoderma* sp. и *Gliocladium rosea*. Это позволяет предположить, что оба вида потенциально способны предотвратить распространение дотистромоза, по крайней мере, на молодых деревцах сосны. Значительное уменьшение количества конидий патогена и замедление прорастания спор выявлено на хвоинках, обработанных *Trichoderma* sp. и *Gliocladium rosea*, по сравнению с другими грибами. Хотя патоген *D. pini* присутствует в Украине везде, где растет крымская сосна, важно прилагать больше усилий, чтобы использовать биологические средства контроля, которые снижают вирулентность возбудителя дотистромоза или обеспечить устойчивость растения-хозяина. Таким образом, использование эффективного биологического контроля против дотистромоза может быть полезным в лесных питомниках, где важно уменьшить потери от инфекции *D. pini* до высадки крымской сосны в полевые условия.

Ключевые слова: *Dothistroma septosporum*; *Dothistroma pini*; патоген; биологический контроль.

¹ Давиденко Екатерина Валерьевна – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, старший научный сотрудник. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Приглашенный научный сотрудник Департамента Лесной микологии и фитопатологии Шведского Аграрного Университета, P.O. Box 7026, SE-75007, Упсала, Швеция. Tel.: +38-098 66 755 26. E-mail: katelyna.davydenko74@gmail.com ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

2. ЛІСОЗНАВСТВО ТА ЛІСІВНИЦТВО



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411925>

Article received 2019.06.21

Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Iurii Debryniuk

debrynuk_ju@ukr.net

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*238 : 630*52

Вплив фітоценотичних умов на нагромадження деревини насадженнями за участю *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco у західному регіоні України

Ю. М. Дебринюк¹

Pseudotsuga menziesii за відповідних режимів культивування у багатих свіжих і вологих ґрунтах лісорослинних умов є швидкозростаючим деревним видом, придатним для плантаційного лісовирощування.

У молодих насадженнях Західного Лісостепу до 25-30-річного віку псевдотсуга поступається за інтенсивністю росту ялині і особливо – модрині. Якщо в чистих культурах псевдотсуга росте за I^a-I^b класами бонітету, в дубово-дугласієвих – за I^a, в дугласієво-ялинових – за I, то в дугласієво-модриново-ялиновому – за II класом бонітету. Після 35-річного віку псевдотсуга нагромаджує темпи росту і відставання її середніх таксаційних показників від таких у модрині та ялині зменшується. Початкове розміщення дугласії в лісових культурах становить в межах 1,5 × 1,0 – 2,5 × 3,0 м за густоти 1,3-6,6 тис. шт.·га⁻¹ за різних варіантів поєднання з іншими породами. В останній час існує тенденція до створення рідких культур дугласії (2 × 2, 3,5 × 3,5 м і більше) з використанням відселекційованого садивного матеріалу.

В умовах D₂-D₃ на сірих (темно-сірих) лісових ґрунтах в добре аерованих місцезонах *Pseudotsuga menziesii* характеризується інтенсивним ростом, високою біотичною стійкістю, нагромаджуючи в 40-60-річному віці близько 600-800 м³·га⁻¹ стовбурової деревини. При дослідженні інтенсивності росту різних форм дугласії за будовою кори не встановлено достовірної відмінності між цим показником. Однак, у процесі відбору матеріалу для створення плантаційних насаджень все ж таки перевагу варто надавати особинам зі слабо- та середньоборозенчастою корою як таким, в яких частка кори у загальному об'ємі стовбура є меншою.

У чистих насадженнях псевдотсуги в умовах свіжого ґрунту початкову густоту під час створення плантаційних насаджень доцільно прийняти в межах 1,5-2,0 тис. шт.·га⁻¹ (з урахуванням ущільнювача загальна густота становить 6,6 тис. шт.·га⁻¹). У вологих ґрунтах інтенсивність росту псевдотсуги децю вища, тому початкова густота породи повинна бути трохи меншою (1,0-1,5 тис. шт.·га⁻¹), а з урахуванням ущільнювача – 4,5-5,0 тис. шт.·га⁻¹.

Ключові слова: чисті та мішані насадження; висота; діаметр; запас деревини; густота; схеми і способи змішування; типи лісорослинних умов.

¹ 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. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

Вступ. *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco (псевдотсуга Мензіса, дугласія) вважається одним із найважливіших комерційних деревних видів у світі. Ввезений на європейський континент 150 років тому, на сьогодні цей вид, порівняно з іншими деревними видами, найширше культивується в Європі впродовж останнього століття (Podrazský et al., 2013b). На цей час площа насаджень за участю псевдотсуги у Західній Європі становить понад 800 000 га. Незважаючи на таку значну площу, в низці європейських країн дугласія на сьогодні все ще є другорядним лісовим видом. Однак, цей статус може бути переглянутий найближчим часом, зокрема, в контексті зміни клімату, з огляду на високий потенціал адаптації виду.

Більшість походжень дугласії зосереджена у декількох країнах Західної Європи – Франції, Німеччині, Бельгії, Великобританії, Іспанії та Нідерландах. Розроблені програми розведення дугласії поділені на окремі походження і потомства, які можуть бути успішно впроваджені з цих країн по всій території ЄС (Bastien et al., 2013).

Pseudotsuga menziesii вважається перспективним видом для підтримання продуктивності середньоевропейських низинних лісів з урахуванням прогнозованого збільшення тривалих періодів посухи. Тому постає важливе питання: чи може псевдотсуга бути перспективним видом у Європі в умовах збільшення сухості клімату, порівняно з іншими аборигенними видами, насамперед, з *Pinus sylvestris*? Дослідженнями Moser et al. (2016) встановлено, що у сіянців сосни звичайної відносні темпи росту були вищими, ніж у сіянців псевдотсуги, як за надземною біомасою, так і за висотою пагона. Це стало причиною формування помітно вищих і важчих сіянців сосни після трьох вегетаційних періодів як у вологих, так і в сухих умовах. Короткі вертикальні корені *Pseudotsuga menziesii* стали причиною гіршого виживання проростків виду в сухих умовах.

Очевидно, що за посухостійкістю псевдотсуга не може конкурувати з сосною звичайною, тоді як відставання сіянців псевдотсуги у рості є явищем закономірним, але тимчасовим, у зв'язку з її повільним ростом у молодому віці (Debryniuk, Krynskyu, & Tselen, 2016).

Серед європейських країн найширше використання псевдотсуги у лісових насадженнях належить Німеччині, Франції, Італії. У Німеччині та Франції дугласію культивують більш ніж на 300 тис. га і цю частку заплановано поступово збільшити до 5% лісових земель. Основна причина – на європейських ринках ціна деревини дугласії в середньому на 25% вища, ніж ялини європейської (Burgbacher, Greve, 1996). У Німеччині суспільство переважно сприймає дугласію, як натуралізований вид. Подібна ситуація спостерігається і в Чеській Республіці, де псевдотсугу вирощують на площі 5600 га (Podrázský et al., 2013a).

Результати досліджень підтверджують також доцільність культивування псевдотсуги в умовах

свіжого сугруду Білорусі (Holopuk, Torchik, 2012). Лісовий дохід від її вирощування у віці 70 років перевищує дохід від вирощування аборигенних видів – сосни та ялини до 80-річного віку – на 28 і 16% відповідно. Вихід великомірної деревини в її насадженнях за подібного віку вищий, ніж у насадженнях вказаних порід, в 1,5-2 рази. При цьому середня вартість 1 м³ ліквідної деревини дугласії вища, ніж у сосни та ялини, відповідно, на 10 і 15%.

В Україні *Pseudotsuga menziesii* з'явилася в садах і парках у 40-их роках XIX ст. (Churghyna, Hordiyenko, 1978). Дещо пізніше її ввели у лісові культури (Matias, 1988). Перші лісові культури псевдотсуги Мензіса на території України були створені на початку XX ст. у Карпатському регіоні на висотах 250-850 м н.р.м. Однак, наявність 32 дерев псевдотсуги Мензіса віком близько 150 років у держлісфонді ДП «Львівське лісове господарство» (Товшівське л-во, кв. 24, вид. 3) свідчить, що культивування цього виду на теренах Галичини почалося значно раніше (Debryniuk, 2011).

Ґрунтово-кліматичні умови західних областей України досить сприятливі для культивування *Pseudotsuga menziesii*. Низка дослідників (Brodovich, 1978; Hunchak, Yatsik, & Andrushkiv, 1988; Shlyakhta, 1982; Debryniuk, 2003) вказували на доцільність впровадження псевдотсуги у лісові насадження Карпат, Закарпаття, Прикарпаття, Буковини, Львівсько-Бережанського плато, Поділля та Західного Полісся. Псевдотсуга Мензіса є дуже перспективним видом для культивування в умовах свіжих і вологих сугрудів та ґрудів як у чистих насадженнях, так і в суміші з швидкорослими листяними породами (Logginov, 1988; Debryniuk, 2003, 2011). З огляду на значну швидкорослість, високу біотичну стійкість, цінну деревину і порівняно просту технологію вирощування, цей вид має значну перспективу для інтенсивного культивування з погляду нагромадження значних обсягів стовбурової деревини за відносно короткий період часу.

В Україні насадження з перевагою *Pseudotsuga menziesii* (50% у складі і більше) розповсюджені на площі 972,7 га, а запас стовбурової деревини в них оцінюється в 230,51 тис. м³ (Debryniuk, 2013). Практично всі насадження цього виду зосереджені у західному регіоні України. Найбільше насаджень псевдотсуги створено у Закарпатській області (більше 85%). В інших областях їхня площа є незначною. Псевдотсуга є породою мішаних деревостанів, які займають в Україні майже 92% від загальної площі її насаджень.

Найбільша площа насаджень *Pseudotsuga menziesii* зосереджена в експлуатаційних лісах і лісах природоохоронного, наукового, історико-культурного призначення. Вікова структура насаджень дуже нерівномірна: переважаючими є молодняки I і II класів віку. Найбільші площі дугласієвих насаджень створені у вологих типах лісорослинних умов (C_3 , D_3), тут же зосереджені і найбільші запаси стовбурової деревини цієї породи (Debryniuk, 2011).

Розповсюдження насаджень псевдотсуги за висотою над рівнем моря представлено наступним чином (Debryniuk, 2013). Так, у рівнинній частині України (до 500 м н.р.м.) порода росте на площі 270,5 га. Основна частина насаджень зосереджена у низькогірних районах (501-950 м н.р.м.), де порода займає площу 701,0 га. У середньогір'ї зафіксовано лише 1,2 га насаджень, де псевдотсуга Мензіса є переважаючим видом.

В Україні насадження псевдотсуги мають загально штучне походження (майже 98%). Лише незначна площа (близько 20 га) насаджень породи є природного походження, тобто такими, які утворилися із самосіву, що свідчить про повну натуралізацію дугласії в умовах України. Сформувати природні насадження досить складно з огляду на періодичність плодоношення породи (4-5 років), невисоку схожість насіння (25-45%) та високий попит на садивний матеріал природного походження, оскільки обсяги вирощених у розсадниках сіянців породи не задовольняють існуючий попит.

Основним лімітуючим чинником розповсюдження *Pseudotsuga menziesii* на схід України є сухість клімату і ґрунту. Більше 40 дерев породи росте в дендропарку ХНАУ (м. Харків), однак таксаційні показники їх невисокі: середні висота та діаметр у віці 46 років коливаються в межах, відповідно, 17,4-19,9 м та 28,8-42,7 см (Sytnik, 2014).

За попередніми даними, в умовах Центральної України кращими показниками росту характеризується псевдотсуга Мензіса з північно-західних районів США та Канади, а в умовах північного сходу – зі штатів Вашингтон та Нью-Мексико. Найкращим ростом на Харківщині відзначалися сіянці псевдотсуги, вирощені із насіння лісових заповідників Lincoln та Gila (Fuchylo, Los, Sbytna, & Plotnikova, 2016).

Найбільші площі насаджень *Pseudotsuga menziesii* в Україні зосереджені в Карпатах, де її культивують з кінця позаминулого століття. В зоні букових лісів (до 850 м н.р.м.) у свіжих і вологих типах лісу на схилах північних, північно-західних і північно-східних експозицій у віці 110 років її деревостани досягають запасу майже 2000 м³·га⁻¹. Прикладом надзвичайно високої продуктивності дугласії може слугувати її генетичний резерват, відібраний дослідниками (Hunchak, Yatsik, & Andrushkiv, 1998) ще в 1984 р. на території Тур'є-Реметівського л-ва Перечинського лісгоспу (Закарпатська обл.). В 105-річному насадженні за повноти 0,92 запас деревини склав 1910 м³·га⁻¹, а середні висота та діаметр – 50,5 м і 64,8 см. У цьому насадженні було атестовано 11 плюсових дерев, які характеризувалися висотою від 48 до 61 м та діаметром – від 61 до 81 см.

Таке ж високопродуктивне насадження було досліджено нами (Debryniuk, 2011) в Орівському лісництві (ДП «Сколівське ЛГ»). У віці 103 роки чисте насадження *Pseudotsuga menziesii* нагромадило запас в 1450 м³·га⁻¹ за середніх висоти і діаметра 39,8 м та 56,6 см. У Товщівському лісництві (ДП «Львівське ЛГ») насадження псевдотсуги (вік ~ 150 р.)

досягло запасу 2500 м³·га⁻¹ за середніх висоти і діаметра 39,9 м та 75,0 см відповідно.

В умовах D_2 - D_3 на сірих (темно-сірих) лісових ґрунтах в добре аерованих місцезонах за раціональної технології вирощування *Pseudotsuga menziesii* характеризується інтенсивним ростом, високою біотичною стійкістю, нагромаджуючи в 40-60-річному віці 600-800 м³·га⁻¹ стовбурової деревини (Debryniuk, 2003, 2011).

Під час культивування псевдотсуги існують певні складності, які зумовлені, насамперед, відсутністю в окремих випадках даних щодо походження насінного (садивного) матеріалу, з якого створені дугласієві насадження. Інтродукція проходила в основному через європейський континент, а не з місць природного розповсюдження дугласії. Тому нагромаджений унікальний лісокультурний досвід вирощування високопродуктивних дугласієвих насаджень в Україні деякою мірою обезцінюється тим, що окремі насадження створювали із невідомого за походженням садивного матеріалу, і тому складно безпомилково оцінити придатність тієї чи іншої провенієнції дугласії для вирощування у конкретних типах лісорослинних умов. У зв'язку з цим, насінний матеріал необхідно заготовляти в кращих насадженнях та з кращих дерев породи для створення нових насаджень в цих же або подібних лісорослинних умовах (Debryniuk, 1999).

У зв'язку із високою продуктивністю особливої уваги заслуговує плантаційне лісовирощування *Pseudotsuga menziesii*. Широке запровадження такого напрямку культивування стримується відсутністю детальних відомостей щодо особливостей росту породи в монокультурах західного регіону України.

Недоліки плантаційного лісовирощування псевдотсуги полягають у більш тривалому періоді та більшій кількості доглядів за культурами; в отриманні деревини зниженої якості внаслідок незадовільного очищення стовбурів від сучків; в недоотриманні деревини під час суцільної рубки через вимушене інтенсивне проміжне користування (Khmilevsky, 1987). Тому актуальним завданням залишається пошук ефективних шляхів і технологій щодо створення, культивування та експлуатації таких насаджень.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – таксаційні характеристики чистих і мішаних лісових насаджень за участю *Pseudotsuga menziesii* в умовах західного регіону України. Предмет досліджень – густота, схеми та способи змішування, розташування садивних місць як елементи плантаційних лісових насаджень *Pseudotsuga menziesii*. Мета роботи – дослідити вплив фітоценотичних умов на інтенсивність нагромадження стовбурової деревини насадженнями за участю досліджуваного деревного виду.

Досліджувані об'єкти знаходились на території Західного Лісостепу, Прикарпаття та Українських Карпат. Об'єктами досліджень були штучні насадження різних вікових груп за участю *Pseudotsuga menziesii*, *Larix decidua*, *Larix kaempferi*, *Picea*

abies, *Quercus robur*, а також інших деревних видів (*Carpinus betulus*, *Fraxinus excelsior*, *Tilia cordata*, *Acer platanoides* та ін.). Досліджувані насадження є вдалими об'єктами для вивчення і формулювання достовірних висновків, оскільки частина з них характеризується завершеним циклом лісокультурного виробництва.

Для вивчення лісівничо-таксаційних характеристик деревних порід у лісових культурах використані загальноприйняті методики лісівничо-таксаційних досліджень для лісівництва та лісової таксації (Grom, 2005, Girs, Manita, Myronjuk, Swingchuk, & Berezovsky, 2013, Mirosnikov, Trull, Ermakov, Dolsky, & Kostenko, 1980).

Тип лісорослинних умов і тип лісу визначали за апробованими методиками типологічних досліджень (Vorobiov & Ostapenko, 1979, Ostapenko & Tkach, 2002) з використанням напрацювань Gerushynsky (1996). На основі характеристик складу та продуктивності деревного ярусу, складу підліску, трав'яного вкриття, типу ґрунту, уточнювали тип і підтип лісорослинних умов, а також тип лісу для кожної пробної ділянки (Gorshenyn & Buteyko, 1962).

Експериментальні матеріали статистично опрацьовано згідно з прийнятими рекомендаціями (Goroshko, Myklush, & Khomyuk, 2004, Dospekhov, 1979).

Під час статистичного опрацювання застосовували методи варіаційної статистики і пакет програм Microsoft Excel.

Поділ дерев *Pseudotsuga menziesii* на групи сильного, середнього і слабого росту здійснювали за апробованими методиками (Kalinin, 1976, Guz, 1996). При цьому до слабкої групи росту віднесено особини в межах діапазону $d \dots d + P$, до середньої – $d + P \dots d + 2P$ та сильної – $d + 2P \dots D$. Величину ступені, що обмежує положення кожної групи росту дерев, визначали за формулою $P = D - d / 3$, де d та D – відповідно мінімальне та максимальне значення діаметра дерев на пробній ділянці.

Поділ дерев *Pseudotsuga menziesii* на три групи за будовою кори здійснено за рекомендаціями Shlyakhta (1982).

Результати досліджень. Аналіз походжень насаджень *Pseudotsuga menziesii* у західному регіоні України показав наявність географічних рас із найбільш подібних за природно-кліматичними умовами районів обширного ареалу деревного виду. Крім екотипів із штату Орегон, достовірні наукові дані з результатів інтродукції окремих провенієнцій дугласії в Західному Лісостепу відсутні. В цьому аспекті перспективними для випробування є швидкорослі та морозостійкі провенієнції породи із низьких та середніх місць зростання штату Вашингтон, окремих місць західного узбережжя Північної Америки, а також Каскадних гір, які успішно культивуються у Німеччині, Польщі та Словаччині. За попередніми даними, непридатними для Західного Лісостепу є екотипи із Британської Колумбії та Онтаріо, які відзначаються зна-

чним відпадом сіянців, низькою продуктивністю та морозостійкістю.

Ростові процеси *Pseudotsuga menziesii* у лісорослинних умовах Західного Лісостепу та Прикарпаття зумовлені відмінними від ареальних природно-кліматичними чинниками, а також використанням різних провенієнцій, не завжди придатних для успішного росту в тих чи інших умовах. Проте, більшість дослідників (Bihun, 1982, Hunchak, Yatsik, Andrushkiv, 1988, Debryniuk, 1999, 2003, Logginov, 1988, Smaglyuk, 1976) вказують на високу продуктивність дугласії, зокрема – в західному регіоні України. Низка авторів (Bihun, 1982, Brodovich, 1969) вказують навіть на витіснення цією породою ялини зі складу культур.

У межах досліджуваного регіону лісові культури дугласії представляють собою ефективний об'єкт для дослідження, оскільки існують ділянки штучних насаджень 60-100-річного віку, про які можна говорити як про закінчений продукт людської праці. У лісовому культурфітоценозі, головною породою в якому є *Pseudotsuga menziesii*, повинна застосовуватись цілеспрямована система лісівничих заходів, орієнтована на отримання максимально високих запасів цінної деревини впродовж мінімальних коротких термінів.

Продуктивність та збереженість дугласії значною мірою залежить від її участі у складі насаджень, схем та способів змішування, розміщення садивних місць (Khmilevsky, 1987, 1988, Debryniuk, Kryniatsky, & Tselen, 2016). Ці складові є основними у визначенні параметрів плантаційних лісових насаджень за участю породи. Тому доцільно охарактеризувати найцікавіші лісокультурні об'єкти з визначенням відповідних елементів їх створення і вирощування, придатних для використання під час запровадження плантаційного господарства *Pseudotsuga menziesii* (табл. 1).

У чистому насадженні свіжої грабової судіброви (проба № 157) таксаційні показники псевдотсуги відносно низькі. На 90 % збереглась початкова відстань у рядах породи. Окремі високопродуктивні екземпляри спостережено там, де відстань у ряду між деревами становить 2,4 м.

У насадженні (проба № 12) модрина вибрана рубками догляду, а в рядах дугласії зрубали липу. Участь дугласії в складі становить лише 41 %, її таксаційні показники, порівняно з іншими деревними видами, помітно вищі.

Деяко меншою продуктивністю за подібної схеми змішування відзначається псевдотсуга на пробі № 2. В ряди псевдотсуги (250 шт.·га⁻¹) через кожні її п'ять садивних місць вводили модрина (60 шт.·га⁻¹), яку повністю вибрали під час проведення рубок догляду. Порівняно з пробою № 12, через негативний вплив модрини таксаційні показники дугласії знизилися на 7-19 %, запас стовбурової деревини – на 30 %, а участь у складі зменшилась до трьох одиниць.

Ще нижчими середніми показниками висоти і діаметра відзначається псевдотсуга на пробі

№156. Незначна (0,45 м) початкова відстань між садивними місцями у рядах та запізнення з доглядовими рубками зумовили низькі таксаційні показники породи.

У 27-річному мішаному насадженні (проба №18) псевдотсуга відзначається дуже високою інтенсивністю росту, таксаційні показники якої на 5-17% вищі, ніж на пробі №12. За висотою вона слабо відстає від модрина, проте помітно за діаметром – в 1,7 рази. Запас стовбурової деревини модрина в 2,7 рази перевищує такий у псевдотсуги, хоча кількість дерев обох порід подібна.

У насадженні з 10%-ою участю дугласії (проба №31) порода за середніми показниками висоти та діаметра значно відстає від модрина (в 1,3-1,7

рази). Об'єм її середнього дерева в 2,8 рази менший. Близька до оптимальної відстань між деревами в ряду псевдотсуги для даного віку становить 2,5 м.

На пробі №55 інтенсивним ростом відзначається модрина, яка разом із ясенем введена у ряди псевдотсуги. Остання за середніми таксаційними показниками подібна до такої на пробі №31, проте об'єм її середнього дерева у 4,3 рази менший, ніж у модрина.

Насадження, де закладені пробні ділянки №54 та №31, створені за подібними схемами змішування та розміщення садивних місць. Густіше розміщення дугласії в рядах зумовило зниження її середніх таксаційних показників.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні характеристики деревних видів у лісових культурах Західного Поділля за участю *Pseudotsuga menziesii*

Деревний вид	Висота, м	Діаметр, см	Густота, шт.·га ⁻¹	Абсолютна повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	Початкова густота (шт.·га ⁻¹); розміщення (м); схема змішування
1	2	3	4	5	6	7	8
Пробна ділянка №157; Буданівське л-во, кв. 85, C ₂ -зД; 26 р.; 10Пд							
<i>Pseudots. menz.</i>	9,3	9,6	1632	17,05	100	II	6250; 2,0 × 0,8;
Р а з о м			1632	17,05	100		чисті ряди Пд
Пробна ділянка №12; Буданівське л-во, кв. 78, D ₂ -зД; 25 р.; 5Пд5Дз + Гз, Ясз							
<i>Quercus robur</i>	11,6	12,2	770	9,04	58	I ^a	3570; 4,0 × 0,7;
<i>Pseudots. menz.</i>	13,0	17,6	235	5,73	45	I ^a	3р.Дз 1р.Мде з Ясз
<i>Carpinus betulus</i>	8,7	4,9	565	1,08	5		1р.Пд з Лпд;
<i>Fraxinus excels.</i>	13,0	10,1	13	0,12	1		
Р а з о м			1583	15,97	109		
Пробна ділянка №2; Буданівське л-во, кв. 46, D ₂ -зД; 25 р.; 3Пд6Дз1Гз + Лпд, Клг							
<i>Quercus robur</i>	11,9	11,9	820	9,05	60	I ^a	3050; 4,0 × 0,7;
<i>Pseudots. menz.</i>	10,8	16,4	220	4,65	32	I	3р.Дз 1р.Пд з Мде;
<i>Carpinus betulus</i>	7,7	5,7	884	2,23	10		
<i>Tilia cordata</i>	9,3	9,7	96	0,71	4		
<i>Acer platanoides</i>	13,2	12,7	32	0,41	3		
Р а з о м			2052	8,05	109		
Пробна ділянка №156; Буданівське л-во, кв. 85, D ₂ -зД; 26 р.; 3Пд3Дз2,5Гз1,5Лпд							
<i>Pseudots. menz.</i>	10,0	10,2	812	6,60	40	I	4300;
<i>Quercus robur</i>	10,8	10,4	706	5,96	36	I	4,0 × 0,8 (0,45);
<i>Carpinus betulus</i>	10,4	7,0	1359	5,29	27		1р.Пд 1р.Д
<i>Tilia cordata</i>	10,0	9,4	441	3,07	18		
Р а з о м			3318	20,92	121		
Пробна ділянка №18; Буданівське л-во, кв. 37, D ₂ -зД; 27 р.; 2Пд4Мде2Дз1Гз1Клг							
<i>Larix decidua</i>	17,1	31,7	100	7,91	69	I ^c	Не встановлено;
<i>Quercus robur</i>	10,5	9,8	741	5,58	34	I	1,5-2,5 × 0,8-1,5;

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Pseudots. menz.</i>	15,1	18,1	100	2,58	24	I ^b	1р.Мде 2р.Дз
<i>Carpinus betulus</i>	8,5	6,7	1174	4,10	19		1р.Пд 3р.Дз
<i>Acer platanoides</i>	11,3	7,6	330	1,48	10		
Р а з о м			2445	21,65	156		
Пробна ділянка №31; Завалівське л-во, кв. 20, D_2 -зД; 25 р.; 1Пд4,5Мдя3Дз1Гз0,5Лпд+Ясз							
<i>Larix kaempferi</i>	19,1	28,4	130	8,26	80	I ^c	4000; 3,0 × 0,7 (1,0);
<i>Quercus robur</i>	12,7	10,0	891	7,05	50	I ^a	1р.Дз 1р.Пд з Лпд
<i>Pseudots. menz.</i>	14,7	16,7	96	2,10	21	I ^b	1р.Дз 1р.Мдя з Ясз
<i>Carpinus betulus</i>	9,8	6,7	909	3,23	17		
<i>Tilia cordata</i>	12,8	9,7	226	1,66	12		
<i>Fraxinus excels.</i>	12,4	9,3	113	0,77	5		
Р а з о м			2365	23,07	185		
Пробна ділянка №55; Гримайлівське л-во, кв. 42, D_2 -зД; 27 р.; 1Пд5Мде2Дз1Гз1Ясз							
<i>Larix decidua</i>	20,3	33,4	112	9,78	100	I ^d	5000;
<i>Quercus robur</i>	13,2	8,6	1029	6,03	43	I ^a	3,0 × 0,5 (1,0);
<i>Pseudots. menz.</i>	14,5	17,6	135	3,30	28	I ^b	1р.Дз 1р.Ясз з
<i>Carpinus betulus</i>	11,1	4,9	1694	3,16	17		Мде і Пд;
<i>Fraxinus excels.</i>	14,2	9,1	435	2,84	21		3 п.м. Ясз між п.м. Мде і Пд
Р а з о м			3405	25,11	209		
Пробна ділянка №54; Гримайлівське л-во, кв. 37, D_2 -зД; 26 р.; 1,5Пд3,5Мдг2Ясз1Дз1Гз1Кля							
<i>Larix kaempferi</i>	20,1	29,1	88	5,83	60	I ^c	3600; 3,0 × 1,0 ;
<i>Fraxinus excels.</i>	15,9	15,8	152	2,97	25		в рядах Дз – 0,8;
<i>Pseudots. menz.</i>	13,6	15,6	132	2,53	20	I ^b	1р.Мдг з Ясз 1р.Дз
<i>Quercus robur</i>	12,8	10,2	256	2,07	14	I ^a	1р.Пд з Лпд;
<i>Carpinus betulus</i>	10,9	7,7	436	2,03	11		1 п.м. Мдг черг.
<i>Acer pseudoplat.</i>	14,4	13,6	96	1,39	10		з 3-ма п.м. Ясз;
Р а з о м			1160	16,82	140		1 п.м. Пд черг. з 3-ма п.м. Лпд
Пробна ділянка №32; Буданівське л-во, кв. 20, D_2 -зД; 26 р.; 2,5Мде4,5Дз2Лпд1Гз + Пд							
<i>Quercus robur</i>	12,2	12,2	754	8,78	61	I ^a	Не встановлено;
<i>Larix decidua</i>	16,3	25,7	71	3,67	30	I ^c	4 × 0,5 (1,0);
<i>Tilia cordata</i>	11,5	10,0	538	4,12	26		3р.Дз 1р.Мде з Пд
<i>Carpinus betulus</i>	11,2	8,9	488	3,06	16		
<i>Pseudots. menz.</i>	13,5	17,5	29	0,70	5	I ^b	
Р а з о м			1880	20,33	138		
Пробна ділянка №124ш; Шевченківське л-во, кв. 71, D_2 -зД; 31 р.; 9Ялє1Мде + Пд							
<i>Picea abies</i>	14,6	14,6	1648	27,73	234	I ^a	10000; 1,0 × 1,0;
<i>Larix decidua</i>	20,4	27,1	43	2,51	26	I ^d	в чистих рядах Ялє
<i>Pseudots. menz.</i>	14,3	12,7	9	0,12	1	I ^a	окремі п.м. Мде та Пд
Р а з о м			1700	30,36	261		

Змішування модрина та псевдотсуги у ряду окремими садивними місцями призвело до майже повного випадання останньої зі складу насаджень (проба №32). Участь дугласії в складі становить 4%, порода збереглася лише в місцях, де відсутні сусідні дерева модрина. Об'єм середнього дерева модрина в 2,5 рази більший, ніж дугласії.

Проба №124ш закладена у насадженні, де модрина та псевдотсугу вводили окремими садивними місцями у ряди ялини. Об'єми середніх дерев модрина, ялини та псевдотсуги становлять відповідно 0,604, 0,142 та 0,111 м³. Ялина менше, порівняно з модриною, переважає псевдотсугу за висотою та діаметром стовбура. Однак, внаслідок повільного росту впродовж першого 10-річчя, багато особин дугласії випало зі складу лісових культур.

Khmilevskyu (1988) вказував на високу продуктивність монокультур дугласії в 22-25-річному віці в умовах свіжої грабової діброви (до 350 м³·га⁻¹). Однак, нашими дослідженнями така висока продуктивність породи не підтверджується: ні в одному із досліджених нами насаджень подібного віку дугласія не нагромаджує таких високих запасів стовбурової деревини (див. табл. 1). Ймовірно, таких високих запасів у зазначеному віці псевдотсуга може потенційно досягти в чистих насадженнях.

Таким чином, внаслідок слабкого росту *Pseudotsuga menziesii* протягом перших 5-6 років, під час створення культур необхідно ретельно розробляти схеми змішування, своєчасно проводити агротехнічні та лісівничі догляди, щоб не допустити витіснення хвойної породи іншими більш швидкозростаючими в молодому віці деревними видами. Під час створення мішаних культур найдоцільніше застосовувати рядовий спосіб змішування (1р.Пд 1р.Сп) або вводити дугласію чистими куртинами.

Ще одна серія пробних ділянок закладена нами в насадженнях за участю *Pseudotsuga menziesii*, які

ростуть на території Українського Розточчя. Стан їх неоднаковий, різними є продуктивність та збереженість породи в культурах (табл. 2). Так, в умовах свіжої грабової діброви (проба №3ст) середні висоти дугласії і дуба дуже подібні, тоді як за діаметром хвойна порода має перевагу на 18%. При цьому кращі екземпляри дугласії вибрані доглядовими рубками.

Достатньо інтенсивним ростом відзначаються всі деревні види, де закладена проба №4ст. У порівнянні з пробною №3ст, середні висота і діаметр дугласії дещо нижчі (на 3-5%). Основною причиною такого зниження є негативний антропогенний вплив. Погіршення росту хвойної породи зумовив також ланковий спосіб змішування.

У насадженні практично такого ж віку (проба №7ст), середні таксаційні показники дугласії помітно вищі (на 10-12%). Причина полягає в більшій густоті культур та у здійсненні своєчасних лісівничих доглядів. Дугласія випереджає штучно введені листяні породи за висотою на 6-12, а за діаметром – на 23-33%.

У мішаних культурах (проба №1ст) домінують хвойні породи, серед яких найвищою інтенсивністю росту відзначається модрина. Однак, за висотою дугласія майже не поступається хвойним породам, проте за діаметром суттєво відстає від модрина японської (на 38%) і значно менше – від ялини (на 4%). Дугласія розміщена рівномірно по всьому насадженню, випереджаючи за середніми таксаційними показниками всі листяні породи.

Відстань між деревами дугласії у рядах становить в середньому 4 м. За такого розміщення порода змикається кронами і добре очищається від сучків. За поодинокого стояння дерев дугласія формує потужну крону з товстими гілками. Площа крони дугласії на досліджуваній ділянці коливається в межах від 13-14 м² для дерев відстаючої групи росту до 30-35 м² – для дерев групи сильного росту.

Таблиця 2

Лісівничо-таксаційні характеристики деревних видів у лісових культурах Українського Розточчя за участю *Pseudotsuga menziesii*

Деревний вид	Висота, м	Діаметр, см	Густота, шт.·га ⁻¹	Абсолютна повнота, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Бонітет	Початкова густота (шт.·га ⁻¹); розміщення (м); схема змішування
1	2	3	4	5	6	7	8
Пробна ділянка №3ст; Великопільське л-во, кв. 13, D ₂ -зБк; 34 р.; 5Дз4Клг1Пд + Гз							
<i>Quercus robur</i>	16,8	16,4	504	10,59	96	I ^a	8300;
<i>Acer platanoides</i>	16,8	19,1	271	7,76	68		1,5 × 0,8;
<i>Pseudots. menz.</i>	16,4	19,9	101	3,15	27	I ^a	4р.Дз 2р.Пд
<i>Carpinus betulus</i>	11,3	10,2	41	0,33	2		
Р а з о м			917	21,83	193		
Пробна ділянка №4ст; Великопільське л-во, кв. 23, в. 4; D ₂ -зБк; 35 р.; 4,5Бк3,5Дз2Пд + Гз							
<i>Fagus sylvatica</i>	17,9	17,1	398	9,15	83		Шир. міжр. 1,5-2 м;

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Quercus robur</i>	16,6	17,0	319	7,23	63	I ^a	відстань в рядах –
<i>Pseudots. menz.</i>	15,5	18,1	216	5,54	44	I ^a	0,8 м;
<i>Carpinus betulus</i>	11,7	11,2	31	0,31	2		4р.Бк з Пд
Р а з о м			964	22,23	192		5р.Дз з Пд
Пробна ділянка № 7ст; Великопільське л-во, кв. 3, D ₂ -зБк; 33 р.; 4Бк3Пд1Кля1Влч1Гз							
<i>Fagus sylvatica</i>	15,5	13,5	968	13,85	117	I ^a	6200;
<i>Pseudots. menz.</i>	17,6	20,1	236	7,48	65	I ^a	2,0 x 1,0 (0,7);
<i>Acer pseudoplat.</i>	16,5	15,5	210	3,98	35		2р.Пд 1р.Кля
<i>Alnus glutinosa</i>	17,9	24,4	67	3,13	28		3р.Бк 1р.Кля
<i>Carpinus betulus</i>	13,8	10,4	362	3,09	20		
Р а з о м			1843	31,53	265		
Пробна ділянка № 1ст; Великопільське л-во, кв. 23, D ₂ -зБк; 36 р.; 6Пд1Мдя1Кля1Ясз1Дз + Гз, Яле							
<i>Pseudots. menz.</i>	21,4	29,8	214	14,96	160	I ^c	Не встановлено;
<i>Larix kaempferi</i>	23,9	47,6	12	2,11	26	I ^d	розміщення
<i>Acer pseudoplat.</i>	18,1	19,6	122	3,69	33		псевдотсуги -
<i>Fraxinus excels.</i>	22,1	24,2	50	2,32	28		5,0 x 2,0 м
<i>Quercus robur</i>	15,9	18,2	77	2,01	17		
<i>Carpinus betulus</i>	15,1	14,5	104	1,71	13		
<i>Picea abies</i>	21,7	31,1	9	0,67	7		
Р а з о м			588	27,47	284		
Пробна ділянка № 8ст (12); Великопільське л-во, кв. 4, D ₂ -зБк; 45 р.; 9Пд0,5Сз0,5Гз + Ясз							
<i>Pseudots. menz.</i>	28,4	34,4	412	38,26	549	I ^d	3300;
<i>Pinus sylvestris</i>	26,5	25,4	63	3,20	38	I ^c	3,0 x 1,0;
<i>Carpinus betulus</i>	15,3	11,8	209	2,29	36		3р.Пд 3р.Яс
<i>Fraxinus excels.</i>	23,2	20,4	40	1,30	15		з Мде (Сз)
Р а з о м			724	45,05	638		
Пробна ділянка № 2ст; Лелехівське л-во, кв. 27, CD ₂ -з-сБк; 63 р.; 10Пд + Бк							
<i>Pseudots. menz.</i>	30,4	43,2	383	56,17	877	I ^b	6700;
<i>Fagus sylvatica</i>	22,9	38,9	13	1,55	17	I	1,5 x 1,0;
Р а з о м			396	57,72	894		чисті ряди псевдотсуги
Пробна ділянка № 31л; Товщівське (Липниківське) л-во, кв. 58, D ₃ -зД; ~ 150 р.; 10Пд + Св							
<i>Pseudots. menz.</i>	39,9	75,0	293	129,49	2500	I ^c	Псевдотсуга
<i>Pinus strobus</i>	33,6	36,0	10	1,01	16	I ^a	розміщена в рядах
Р а з о м			303	130,51	2516		через 1,0 м

За аналізом ходу росту модельних дерев, інтенсивний ріст за висотою у псевдотсуги Мензіса починається з 10-річного віку, однак продовжує помітно зростати і в 36 років. В цей же період відбувається також інтенсивний приріст за діаметром – причому у всіх трьох модельних дерев, хоча і на різних рівнях. Аналіз ходу росту за об'ємом також підтверджує інтенсивне збільшення даного показника і після 35-річного віку, особливо – в моделей груп

середнього та сильного росту (рис. 1). У всіх трьох модельних дерев інтенсивний приріст за об'ємом спостерігається з 10-річного і особливо – з 15-річного віку.

Високим запасом деревини відзначаються культури дугласії 45-річного віку (проба № 8ст). Вдалим є початкове розміщення рослин, яке сприяє дуже доброму очищенню стовбурів від сучків, що саме для псевдотсуги Мензіса є дуже важливим аспектом

(Eckstein, 1970). Насадження представлено формою var. *viridis*, яка в умовах Європи є найпродуктивнішою (Brodovich, 1969, Matiash, 1985, Pirags, 1979, Smaglyuk, 1976, Khmilyevskyy, 1987).

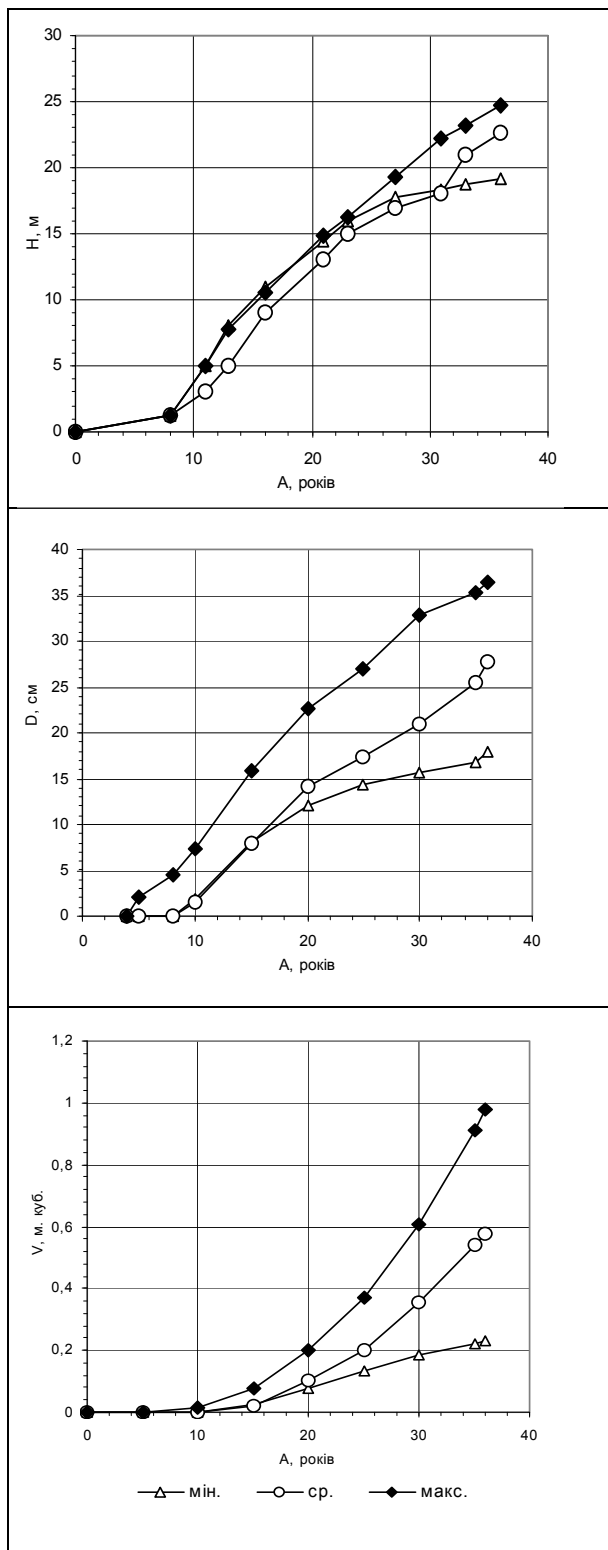


Рис. 1. Хід росту модельних дерев *Pseudotsuga menziesii* за висотою, діаметром та об'ємом на пробі № 1ст в типі лісу D_2 -гБк Великопільського л-ва Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату

Нагромаджений дугласією запас деревини на 1 га більш ніж в два рази перевищує такий у насадженні, яке молодше лише на десять років. Найвищими показниками росту відзначаються дерева з розміщенням 3×3 або 3×4 м. За розміщення дерев 3×3 м дещо знижується їхній приріст за діаметром, проте збільшується приріст за висотою і покращується формування стовбурів.

Середньовікове чисте насадження дугласії (проба № 2ст) також нагромаджує дуже високий запас деревини. Як і на пробі № 8ст, тут значна кількість екземплярів з гладкою корою, які відзначаються дуже добрим очищенням стовбурів від сучків. Однак, добрим очищенням від сучків, тонкими гілками та високою продуктивністю відзначається і частина особин з грубоборозенчастою корою.

Прикладом надзвичайно високої продуктивності є культури *Pseudotsuga menziesii* приблизно 150-річного віку (проба № 31л). Дугласія росте за I° класом бонітету, досягнувши середньої висоти в 40 м. Практично ніякий інший деревний вид в цьому віці не може зрівнятися за продуктивністю з псевдотсугою.

Отже, найвищої продуктивності дугласія досягає саме в чистих насадженнях і тому створення монокультур породи в багатих та відносно багатих типах лісорослинних умов є доцільним лісівничим заходом.

Зі збільшенням густоти псевдотсуги в насадженні запас її стовбурової деревини в основному зростає, однак не завжди зростання кількості дерев породи супроводжується адекватним збільшенням запасу деревостану (рис. 2). Так, за 10-20%-ої участі в складі найбільший запас деревини дугласія нагромаджує за густоти $216 \text{ шт.} \cdot \text{га}^{-1}$ в 35-річному віці, тоді як насадження з густотою $480 \text{ шт.} \cdot \text{га}^{-1}$ в такому ж віці нагромаджує помітно менший запас стовбурової деревини. Подібну тенденцію спостерігаємо і за участі псевдотсуги в 5-6 од. в складі.

Лише в насадженнях чистих за складом (8-10 од.) чітко прослідковується залежність між віком, густотою та запасом деревини псевдотсуги – із збільшенням віку і густоти запас стовбурової деревини зростає (див. рис. 2).

Варто звернути увагу на проблему перегушеності культур. Таку ситуацію спостережено в окремих молодих насадженнях (проби № 14, 157, 156). Причому значна перегушеність культур у 26-річному віці (проба № 157) зумовила дуже низькі таксаційні показники породи (див. табл. 1). На пробі № 156, незважаючи на відносно невелику густоту дугласії ($812 \text{ шт.} \cdot \text{га}^{-1}$), незначна початкова відстань її садіння в рядах (0,45 м) зумовили слабкий ріст як за діаметром, так і за висотою.

Таким чином, у рідких культурах, поряд із підвищенням приросту за діаметром, дугласія практично не поступається за ростом у висоту в густих культурах. Після змикання крон поточний приріст за діаметром дещо знижується, але посилюється висотний приріст. До віку кількісної стиглості рідкі насадження можуть нагромаджувати дещо більший

запас стовбурової деревини, ніж густі. Однак, при цьому знижується інтенсивність проміжного користування та загальний запас насадження, знижується якість деревини внаслідок слабкого очищення стовбурів від сучків.

Певну цікавість представляє аналіз впливу участі псевдотсуги Мензіса на запас стовбурової деревини в умовах свіжого груду (рис. 3). В молодих насадженнях (21-30 р.), де інтенсивність росту ду-

гласії відносно невисока, найвищий запас деревини спостережено за 10%-ої участі породи в складі. У насадженнях 31-40-річного віку найвищі запаси деревини нагромаджені за участі псевдотсуги в кількості 50-80%, і лише в насадженнях 41-70-річного віку чистий склад деревостану забезпечує дуже високі запаси стовбурової деревини (див. рис. 3). При цьому середньовікові насадження псевдотсуги практично є завжди чистими за складом.

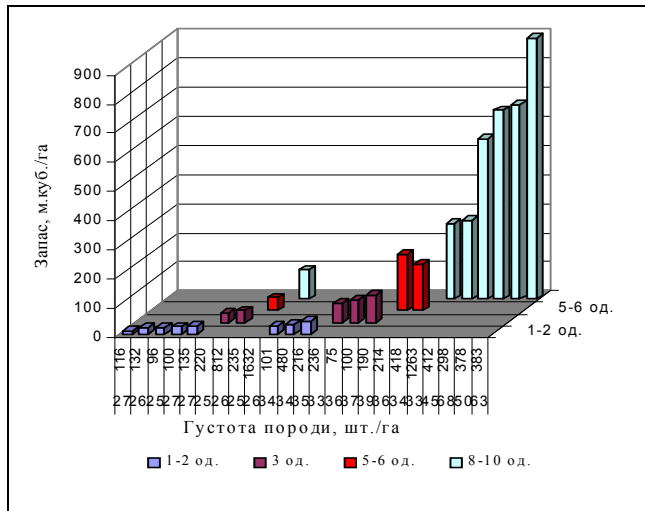


Рис. 2. Вплив густоти на запас стовбурової деревини *Pseudotsuga menziesii* за різної участі в складі культур свіжого груду Західного Лісостепу залежно від віку

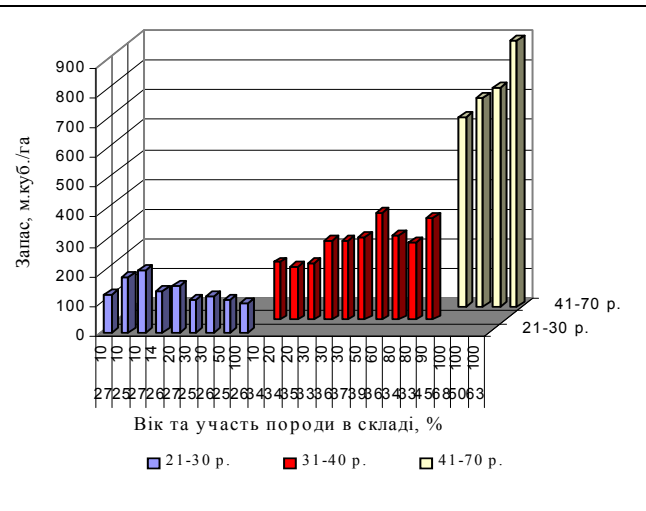


Рис. 3. Вплив участі *Pseudotsuga menziesii* на запас стовбурової деревини в умовах свіжого груду різних вікових періодів Західного Лісостепу

Більшість насаджень за участю *Pseudotsuga menziesii* у Західному Лісостепу створені в умовах свіжого груду (табл. 3). Тут дугласія до 30-річного віку росте за I-I^b класами бонітету. В період 31-40 років переважаючий клас бонітету псевдотсуги в чистих і мішаних культурах становить I^c, а в насадженнях після 40-річного віку дугласія досягає I^d класу бонітету.

Найвищих класів бонітету псевдотсуга досягає в насадженнях за початкового розміщення 1,0 × 1,0; 1,5 × 0,8-1,3; 2,0 × 1,5; 3,0 × 1,0 та 4,0-6,0 × 1,0-2,0 м. Така різноманітність початкових схем розміщення садивних місць свідчить про коливання початкової густоти деревного виду в значних межах, за якої можливий його інтенсивний ріст. Значне коливання початкової густоти потребує активного втручання з лісівничими доглядами, що, своєю чергою, відображається на збереженості дугласії в культурах, яка навіть в межах 10-річного періоду значно відрізняється (див. табл. 3). При цьому багато дугласії вибирається доглядовими рубаннями (напр., пробні ділянки №157, 14, 3ст, 7ст та ін.), що є нерациональним використанням дефіцитного садивного матеріалу породи. Високу збереженість дугласії спостережено передусім за початково невисокою участі в складі (проба №8ст), хоча тут запаси її стовбурової деревини в 45-50 років дуже високі. Це ж саме стосується і насаджень дугласії 60-70-річного віку.

У найбільш високопродуктивних насадженнях псевдотсуги 21-30-річного віку площа живлення одного дерева коливається в межах 6-8 м², в насадженнях 31-40 років – 7-10 м², 41-50 – 14-15 м², 60-70 років – 23-26 м². У найпродуктивнішому 103-річному насадженні Прикарпаття площа живлення одного дерева псевдотсуги Мензіса становить 34,2 м².

В умовах вологого груду також спостережено інтенсивний ріст дугласії (I^a-I^d класи бонітету) та нагромадження нею значних запасів стовбурової деревини. Особливо це стосується стиглих насаджень (> 100 років), коли запаси деревини значно перевищують 1000 м³·га⁻¹ (див. табл. 3). Характерним для таких насаджень є їх розташування на добре аерованих ґрунтах як в умовах Західного Лісостепу, так і в умовах Прикарпаття (проби №31л, 1о, 4с, 7буд та ін.).

Цей аспект підтверджується наведеними графіками вікових змін запасу стовбурової деревини в чистих насадженнях дугласії у різних типах лісорослинних умов (рис. 4). У вологих грудях існує невелика перевага псевдотсуги у нагромадженні стовбурової деревини, і ця перевага є стабільною впродовж 20-70-річного вікового діапазону. При цьому існує висока кореляційна залежність між віком та запасом деревини в дугласієвих насадженнях (R² = 0,89-0,99).

Дослідженнями (Debryniuk, 2003, 2007) підтверджена висока лісівничо-господарська та економіч-

на ефективність створення насаджень псевдотуги саме в зоні букових лісів Карпат (до 850 м н.р.м.) у типах лісорослинних умов C_2 , C_3 , D_2 , D_3 на схилах північної та північно-східної експозицій.

Середня зміна запасу в межах кожного діапазону участі в складі має чітку тенденцію до зростання із збільшенням віку культур (рис. 5). Таке збільшен-

ня середньої зміни запасу деревини зафіксовано як у насадженнях за участю дугласії в 1-2 од., так і в культурах практично чистого складу (8-10 од.).

Таким чином, можна констатувати постійне зростання інтенсивності нагромадження деревини хвойною породою до 70-річного віку, незалежно від її участі в складі деревостану.

Таблиця 3

Густота, збереженість та запаси стовбурової деревини *Pseudotsuga menziesii* у різних типах лісорослинних умов за досліджуваними регіонами

№ проби	Вік, років	Початкове розміщення дугласії, м × м	Кількість дерев дугласії на 1 га, шт.		Збереженість, %	Таксаційний склад насаджень	Бонітет	Запас стовбурової деревини дугласії, м³·га⁻¹
			початкова густота	в період дослідження				
Західний Лісостеп								
Тип лісорослинних умов – D₂								
19	27	4,5 × 1,5	340	116	34,1	1Пд5Дз2Мде2Гз	Ia	11
31	25	3,0 × 1,0	200	96	48,0	1Пд4Мдя3Дз2Гз	Ib	21
55	27	3,0 × 1,0	320	135	42,2	1Пд5Мде2Дз1Гз1Ясз	Ib	28
54	26	3,0 × 1,0	300	132	44,0	1,5Пд3,5Мдг 3Ясз1Дз1Гз	Ib	20
18	27	не встановлено	~ 250	100	~ 40,0	2Пд4Мде2Дз1Гз1Клг	Ib	24
2	25	4,0 × 0,7	450	220	48,9	3Пд6Дз1Гз	I	32
156	26	4,0 × 0,45	1630	812	49,8	3Пд3Дз2,5Гз1,5Лпд	I	40
12	25	4,0 × 0,7	700	235	33,6	5Пд5Дз	Ia	45
157	26	2,0 × 0,8	6250	1632	26,1	10Пд	II	100
14	27	1,5 × 1,3	5150	1632	31,7	10Пд	Ia	252
124ш	31	1,0 × 1,0	~ 40	9	~ 22,5	9Яле1Мде + Пд	Ia	1
3ст	34	1,5 × 0,8	2700	101	3,7	1Пд5Дз4Клг	Ia	27
5ст	34	2,0 × 1,0	1500	480	32,0	2Пд6Дз1Кля1Чш	II	31
4ст	35	не встановлено	не встановлено	216	–	2Пд3,5Дз4,5Бкл	Ia	44
7ст	33	2,0 × 1,0	1400	236	16,9	3Пд4Бкл1Кля1Влч1Гз	Ia	65
3з	36	6,0 × 1,0	550	75	13,6	3Пд3Мдя2Лпд2Гз	Id	77
6п	39	6,0 × 1,0	550	190	34,5	5Пд2Мде1Гз1Дз1Лпд	Ic	194
1ст	36	5,0 × 2,0	1000	214	21,4	6Пд1Мдя1Кля1Ясз1Дз	Ic	160
10	34	6,0 × 1,0	1700	418	24,6	8Пд2Гз	Ic	195
6	33	не встановлено	не встановлено	1263	–	8Пд1Ос1Ясз	Ia	272
1з	37	6,0 × 1,0	550	100	18,2	3Пд2Мде2Лпд 1Гз1Ясз1Чш	Ic	92
8ст	45	3,0 × 1,0	1650	412	25,0	9Пд0,5Сз0,5Гз	Id	549
8ст	50	3,0 × 1,0	1650	378	22,9	9,5Пд0,5Сз	Id	669
2ст	63	1,5 × 1,0	6700	383	5,7	10Пд	Ib	877
2ст	68	1,5 × 1,0	6700	298	4,4	10Пд	Ic	647
Тип лісорослинних умов – D₃								
6зб	37	4,0 × 1,0	160	47	29,4	1Пд3Мдя3Гз 1Лпд1Ясз1Взш	Ia	18
10с	33	2,0 × 1,5	~ 500	124	24,8	1Пд4Мдг2Яле 2Лпд1Ясз	Ib	31
31л	140	не встановлено	не встановлено	293	–	10Пд	Ic	2500

Прикарпаття та Зовнішні Карпати

Тип лісорослинних умов – D_3

7буд	23	$3,0 \times 0,8$	2400	1250	52,1	7Пд2Ялє1Яц	Ia	103
4с	32	$2,0 \times 1,5$	1050	169	16,1	1Пд5МдЯ3Ялє1Яц	Id	40
1o	103	не встановлено	не встановлено	292	–	10Пд	Ic	1489

Середні таксаційні показники псевдотсуги залежать від її участі в складі культур. Так, впродовж вікового діапазону 20-70 років найнижча висота дугласії зафіксована в деревостанах, де участь породи становить 10-20% (рис. 6). Трохи більшою висотою відзначається псевдотсуга в чистих культурах, а найбільшою висотою характеризується порода за 30%-ої її участі в складі.

Подібну тенденцію спостережено і в динаміці середнього діаметра дугласії (рис. 7). Найменшим середнім діаметром відзначається дугласія за участі в 1-2 од. в складі, тоді як найвищий діаметр характерний для чистих дугласієвих насаджень, особливо після 40 років. Досить швидкими темпами росту за діаметром відзначаються і насадження з 50-60%-ою участю псевдотсуги в складі.

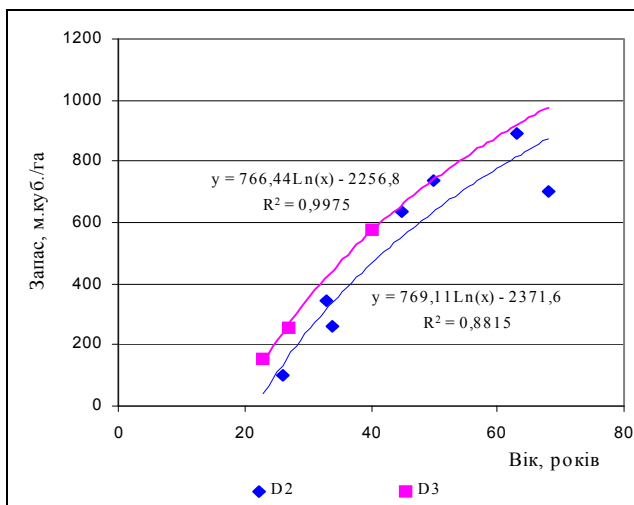


Рис. 4. Вікові зміни запасу стовбурової деревини у чистих насадженнях *Pseudotsuga menziesii* в різних типах лісорослинних умов Західного Лісостепу

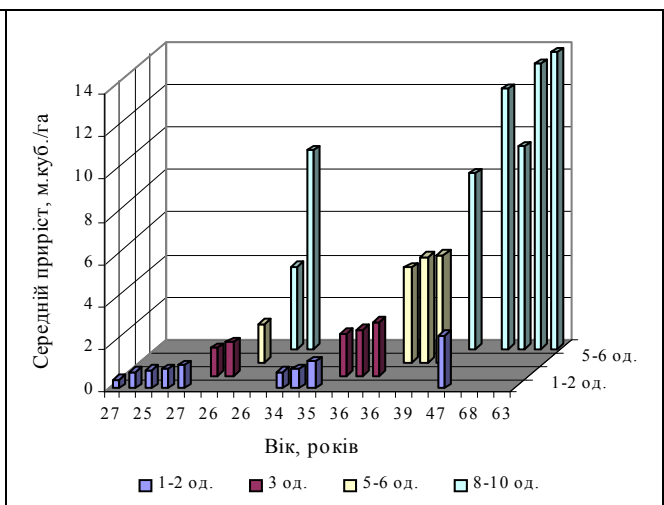


Рис. 5. Середня зміна запасу стовбурової деревини *Pseudotsuga menziesii* в мішаних насадженнях з різною участю деревного виду в умовах свіжого груду Західного Лісостепу

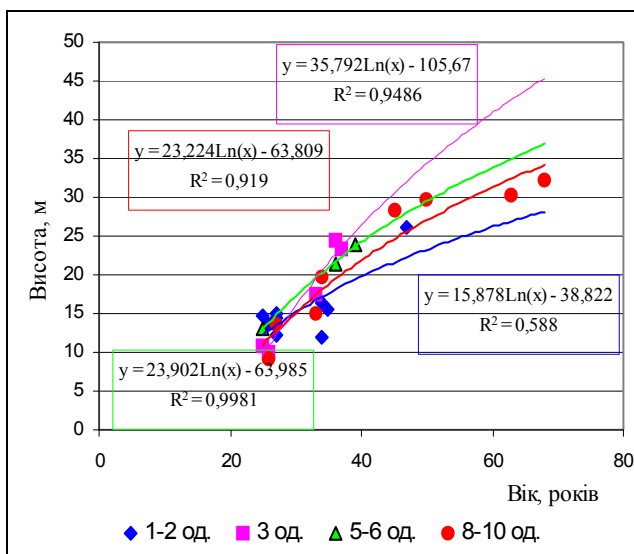


Рис. 6. Динаміка середньої висоти *Pseudotsuga menziesii* у лісових культурах свіжого груду Західного Лісостепу

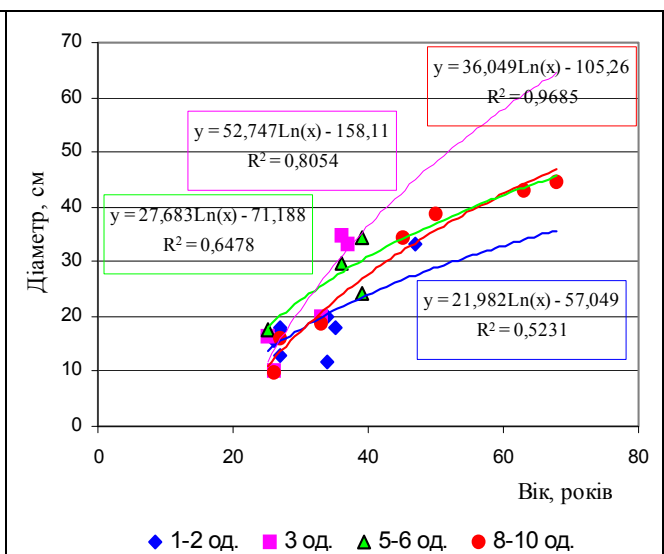


Рис. 7. Динаміка середнього діаметра *Pseudotsuga menziesii* у лісових культурах свіжого груду Західного Лісостепу

Дещо нижчі середні показники висоти і діаметра псевдотсуги у насадженнях за її участю у 8-10 од. зумовлені здійсненням лісогосподарських заходів, у процесі яких вибираються кращі за таксаційними характеристиками особини деревного виду.

Отже, доцільність введення *Pseudotsuga menziesii* в насадження західного регіону України з метою підвищення продуктивності лісів не викликає сумніву. Швидкий ріст, нагромадження значних запасів деревини за відносно короткі терміни в чистих за складом насадженнях, висока біотична стійкість роблять псевдотсугу перспективною породою для плантаційного лісовирощування.

Цікавим є порівняння інтенсивності росту різних форм дугласії за будовою кори. Shlyakhta (1982) за цим показником виділив три форми ду-

гласії. При цьому зазначено, що слабоборозенчаста форма поступається за продуктивністю двом іншим формам.

Ми здійснили аналіз об'єму середнього дерева дугласії трьох форм за будовою кори. В середньовіковому насадженні (проба № 8ст) було досліджено 159 особин за будовою кори, де переважають екземпляри з слабоборозенчастою корою, і в стиглому насадженні (проба № 1о) – 251 дерево, де перевагу мають особини з середньоборозенчастою корою (рис. 8, 9). Проте, нами не встановлено достовірної відмінності у продуктивності тієї чи іншої форми дугласії. В обох насадженнях криві практично накладаються одна на одну, вказуючи на високу подібність інтенсивності нагромадження стовбурової деревини дугласією незалежно від форм особин.

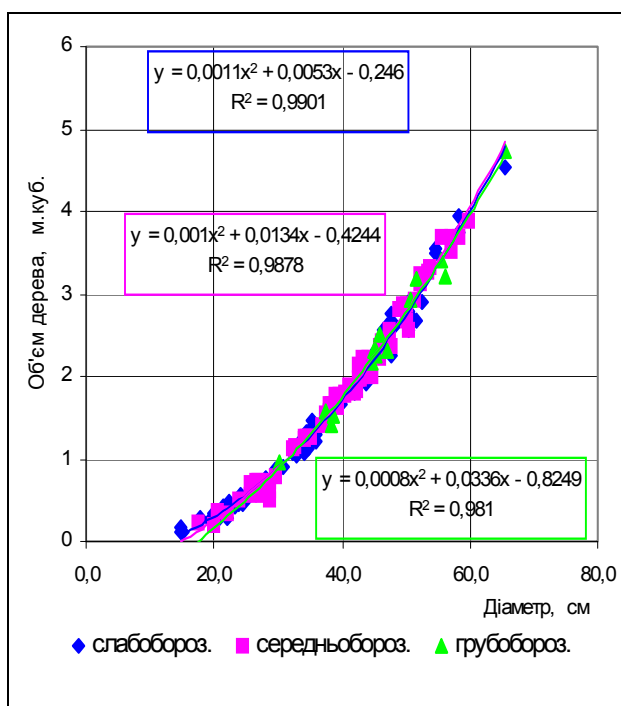


Рис. 8. Зміна об'єму середнього дерева різних форм *Pseudotsuga menziesii* за будовою кори в 50-річному насадженні на пробі № 8ст у типі лісу D_2 -гБк Великопільського л-ва Страдцівського НВЛК

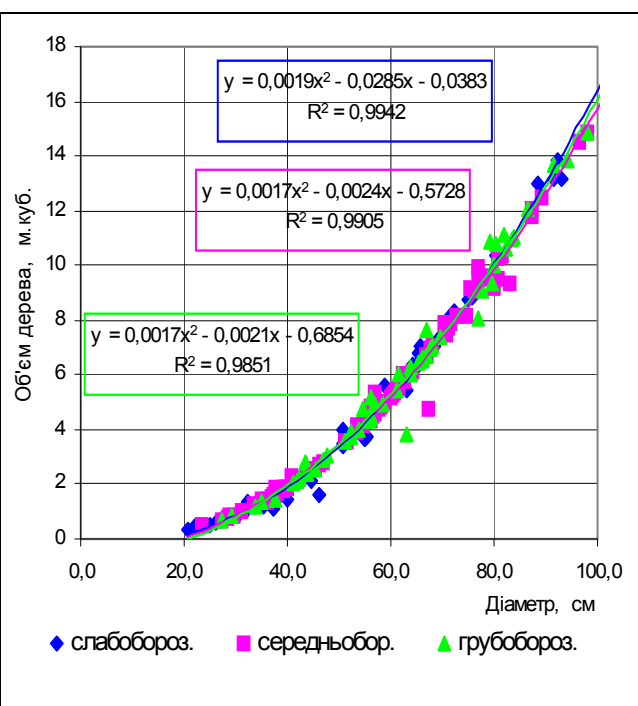


Рис. 9. Зміна об'єму середнього дерева різних форм *Pseudotsuga menziesii* за будовою кори в 103-річному насадженні на пробі № 1о у типі лісу D_3 -г-яцБк Орівського л-ва ДП «Сколівське ЛГ»

Проте, на наш погляд, все-таки певною перевагою за продуктивністю володіють форми із слабоборозенчастою корою, оскільки об'єми стовбурів визначались у корі. В екземплярів з грубоборозенчастою корою товщина її значно більша, а, значить, і запас самої стовбурової деревини буде меншим.

Висновки. *Pseudotsuga menziesii* за відповідних режимів культивування в оптимальних для неї типах лісорослинних умов є швидкорослим високопродуктивним деревним видом, повністю придатним для плантаційного лісовирощування у західному регіоні України. Лісовий культурфітоценоз, головною породою в якому є псевдотсуга, представляє собою екосистему, антропогенно спря-

мовану на отримання максимально високих запасів деревини за мінімально короткі терміни.

Pseudotsuga menziesii є інтродуцентом з яскраво вираженою специфікою росту – порівняно повільно-росла в молодому віці, але з наступним збільшенням швидкості росту і підтриманням його високої інтенсивності впродовж тривалого періоду часу – ста і більше років. Внаслідок варіабельності ґрунтових умов, в яких культивуються різні провенієнції дугласії, таксаційні показники деревостанів за участю цієї хвойної породи коливаються в широких межах.

У молодих насадженнях Західного Лісостепу до 25-30-річного віку псевдотсуга поступається за інтенсивністю росту ялині і особливо – модрині. При

цьому перевага модрина за висотою та діаметром може складати два рази і більше. Із збільшенням віку культур дугласії інтенсивність росту її зростає від $I-I^b$ в насадженнях до 30 років до I^d в культурах 45-50-річного віку.

Кращий ріст псевдотсуґи за висотою, діаметром та об'ємом середнього дерева спостережено в чистих за складом насадженнях (8-10 од.), а також в культурах, де участь дугласії становить 5-6 од. Найбільш високопродуктивні насадження відзначаються рівномірним розміщенням дерев по площі та високою зімкнутістю крон.

Особливо сприятливими для росту псевдотсуґи є вологі бучини та яличини Прикарпаття, де, вже починаючи з 20 років, дугласія переважає за висотою та діаметром ялину, а відставання в рості від модрина значно менше, ніж в умовах Західного Лісостепу (в межах 10-15%).

Вводити в ряди псевдотсуґи модрина або ялину недоцільно. Змішування порід чистими рядами, садивними місцями або ланками садивних місць у рядах призводить до сильного пригнічення і випадання дугласії з насадження. Порівняно з модриною, середні таксаційні показники псевдотсуґи в молодняках нижчі в 2-3 рази.

Участь дугласії в складі, який забезпечує максимальні обсяги стовбурової деревини, залежить від віку насаджень. У молодих насадженнях висока участь дугласії в складі не супроводжується такими ж високими запасами деревини, тоді як у культурах старших 40 років найвищий запас деревини порода формує в чистих за складом деревостанах.

У мішаних насадженнях до 35-річного віку (1-6 од. псевдотсуґи) вплив густоти на запас стовбурової деревини породи визначається через взаємодію з іншими деревними видами. Наявність швидкорослих порід – модрина, ялини обмежує ріст дугласії, і збільшення її густоти в культурах може не супроводжуватися збільшенням нагромадженої нею стовбурової деревини.

Для 35-річного віку в мішаних культурах за 60%-ої участі в складі близьким до оптимального розміщення породи можна вважати 5×4 м, за якого відбувається добре очищення стовбурів від сучків, формування компактної крони за середньої її площі в межах 18-25 м².

Після 35-річного віку і за участі в складі більше 60% дугласія суттєво нарощує інтенсивність росту і збільшення її густоти в усіх досліджених насадженнях супроводжується збільшенням запасу стовбурової деревини.

За плантаційного лісовирощування дугласії розраховувати на отримання значних запасів деревини до 30-40-річного віку не варто. Основне завдання полягає у вирощуванні насаджень в режимі оптимальної густоти, що забезпечить значне посилення інтенсивності росту породи після вказаного віку, і вже до 50-60-річного віку запаси деревини сягатимуть 700 м³·га⁻¹ і більше.

При дослідженні інтенсивності росту різних форм дугласії за будовою кори не існує достовірної

відмінності між цим показником. Однак, за відбору матеріалу для створення плантаційних насаджень все ж таки перевагу потрібно надавати особинам зі слабо- та середньоборозенчастою корою як таким, в яких частка кори в загальному об'ємі стовбура є меншою.

Вирощувати плантаційні лісові культури псевдотсуґи потрібно чистими за складом, що виключить негативний вплив на породу в молодому віці інших більш швидкорослих деревних видів, реалізує потенційні можливості швидкого росту породи та полегшить проведення доглядів за культурами. Однак, для захисту псевдотсуґи від низьких температур доцільно вводити ланками або окремими рядами супутні породи – клен, липу чи граб. Можливе також введення ялини, як допоміжної породи, з наступним вибиранням на новорічні ялинки.

Запаси стовбурової деревини псевдотсуґи з початковим розміщенням садивних місць 4×4 м у віці технічної стиглості є дуже високими і навіть вищими, ніж у випадку густішого початкового розміщення породи ($1,5 \times 1,5$; $1,0 \times 1,5$; 2×2 м). Однак, за необхідності економії садивного матеріалу, рідке розміщення дугласії без наявності ущільнювачів має низку недоліків: а) обмежені можливості ведення цілеспрямованого відбору високопродуктивних особин; б) пізні змикання культур; в) незадовільне очищення стовбурів від сучків, особливо в молодому віці; г) значне недовикористання потенціалу типу лісорослинних умов, що проявляється у зниженні інтенсивності проміжного користування, а, значить, і лісівничого ефекту вирощування культур.

У чистих насадженнях псевдотсуґи Мензіса в умовах свіжого грудку початкову густоту під час створення плантаційних насаджень виду доцільно прийняти в межах 1,5-2,0 тис. шт.·га⁻¹ (з урахуванням ущільнювача загальна густота становить 6,6 тис. шт.·га⁻¹).

У вологих грудах інтенсивність росту псевдотсуґи дещо вища, тому початкова густота породи повинна бути трохи меншою (1,0-1,5 тис. шт.·га⁻¹), а з врахуванням ущільнювача – 4,5-5,0 тис. шт.·га⁻¹.

References

- Bastien, J.-C., Sanchez, L., & Michaud, D. (2013). Douglas-Fir (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco). Chapter 7. In: Pâques Luc E., 10427J, dir., Forest tree breeding in Europe. Current state-of-the-art and perspectives (p. 325-369). *Managing Forest Ecosystems*, 25. Dordrecht, NLD : Springer. 527 p. doi.org/10.1007/978-94-007-6146-9_7. <https://prodinra.inra.fr/record/196485>
- Bihun, N.Yu. (1982). Douglas Fir Introduction. *Forestry*, 9, 51-52 (in Russian).
- Brodovich, T.M. (1978). Acclimatization and adaptation of Douglas fir in forest stands of the West of the Ukrainian SSR. *Forest magazine*, 4, 33-36 (in Russian).

- Brodovich, T. M. (1969). Douglas fir in forest stands of Ukrainian SSR. *Forestry & Forest Melioration*, 16, 99-104 (in Russian).
- Burgbacher, H., & Greve, P. (1996). 100 Jahre Douglasienanbau im Stadtwald Freiburg. *AFZ*, 51, 1109-1111.
- Chupryna, P. Ya., & Hordiyenko, I. I. (1978). Distribution of introduced gymnosperms in Polissia, in the Forest-Steppe, Subcarpathian and Transcarpathian regions of Ukraine. *Plant introduction and acclimatization in Ukraine*, 12, 52-61 (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (1999). Some aspects of the introduction of *Pseudotsuga Menziesii* (Mirb.) Franco in the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian State Forestry University: Research, conservation and enrichment of biodiversity*, 9.9, 81-88 (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2013). Douglas fir in Ukraine: distribution, forest-mensurational characteristics and cultivation prospects. *Forestry & Forest Melioration*, 122, 24-31. Available at: <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/11/122-pdf> (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2003). Growth and productivity of *Pseudotsuga Menziesii* (Mirb.) Franco in the Ukrainian Roztochia forest plantations. *Scientific Bulletin of Ukr. State Forestry University*, 13.2, 21-32. (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Technological aspects of creation and cultivation of *Pseudotsuga Menziesii* (Mirb.) Franco forest plantations in the western region of Ukraine. *Forestry & Forest Melioration*, 118, 142-148. Available at: <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/15/118-pdf> (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2007). *Plantation forest cultures in Western Forest-steppe of Ukraine: conception, methodology, resource potential* (Doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine). Available at: https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00454280_1.html (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M., Krynitskyy, G. T., & Tselen, Ya., P. (2016). *Technology of forest plantation cultivation in the western region of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Dospekhov, B. A. (1979). *Field experiment techniques (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Kolos (in Russian).
- Eckstein, E. (1970). Contribution to the branching and natural rejuvenation of the Douglas fir. *Mitt. Hessisch. Landesforstverwald* (in German).
- Fuchylo, Ya., Los, S., Sbytna, M., & Plotnikova, O. (2016). Characteristics of seeds and growth indicators of Douglas fir seedlings of different geographical Origin. *Forestry & Forest Melioration*, 129, 76-83. Available at: http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=A SP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=lisam_2016_129_12 (in Ukrainian).
- Gerushynsky, Z. Yu. (1996). *Forest typology of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Piramida (in Ukrainian).
- Girs, O. A., Manita, O. H., Myronjuk, V. V., Swingchuk, V. A., & Berezovsky, L. M. (2013). *Forest Inventory Directory*. Kyiv: Vinichenko Publishing House (in Ukrainian).
- Goroshko, M. P., Myklush, S. I., & Khomyuk, P. G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Gorshenyn, N. M., & Buteyko, A. I. (1962). *Identification of types of site conditions*. Lviv: High School (in Ukrainian).
- Grom, M. M. (2005). *Forest assessment: Educational manual*. Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian).
- Guz, M. M. (1996). *Root systems of tree species of the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine*. Kyiv: Yasmina (in Ukrainian).
- Holopuk, G. A., & Torchik, V. I. (2012). Economic assessment of the effectiveness of growing Douglas fir in Belarus. *Forestry and hunting*, 11, 23-27 (in Russian).
- Hunchak, M. S., Yatsik, R. M., & Andrushkiv, Yu. E. (1988). *Douglas fir var. green in Ukraine*. Ivano-Frankivsk: UkrNDIgirlis (in Ukrainian).
- Kalinin, M. I. (1976). Methods of studying the structure and processes of formation of tree root systems. *Forestry, forestry, paper and woodworking industries*, 7, 25-29 (in Russian).
- Khmilevskyy, V. M. (1987). Increasing forest productivity of the Forest-Steppe of Ukraine through the introduction of Douglas fir var. green. (Doctoral dissertation, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, Kharkiv, Ukraine) (in Russian).
- Khmilevskyy, V. M. (1988). Growth and productivity of pure Douglas fir var. green crops. *Proceedings of the Ukrainian Agricultural Academy: Improving forest management and protective afforestation*, 28, 26-30 (in Russian).
- Logginov, V. B. (1988). *Introduction optimization of forest plantation coenoses*. Kyiv: Scientific thought (in Russian).
- Matiashevsky, V. V. (1988). Reproduction Biology and Seed Productivity of Douglas fir in the Forest-Steppe of Ukraine. *Introduction and acclimatization of woody plants*, 9, 21-24 (in Russian).
- Matiashevsky, V. V. (1985). Formation of biocoenoses with Douglas fir var. green in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine. In *Collection of scientific works: Biological and environmental features of introduced plants*. (pp. 23-25). Kyiv: Scientific thought (in Russian).
- Miroshnikov, V. S., Trull, O. A., Ermakov, V. E., Dolsky, L. V., & Kostenko, A. H. (1980). *Directory of the forest cruiser*. Minsk: Harvest (in Russian).
- Moser, B., Bachofen, Ch., Müller, D. J., Metslaid, M., & Wohlgemuth, T. (2016). Root architecture might

- account for contrasting establishment success of *Pseudotsuga menziesii* var. *Menziesii* and *Pinus sylvestris* in Central Europe under dry conditions. *Annals of Forest Science*, 73 (4), 959-970. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0574-1>
- Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian).
- Pirags, D.M. (1979). *Douglas fir in the Latvian SSR. Breeding and selection*. Riga: Zinatne (in Russian).
- Podrázský, V., Čermák, R., Zahradník, D., & Kouba, J. (2013a). Production of Douglas-fir in the Czech Republic based on national forest inventory data. *Journal of Forest Science*, 59 (10), 398-404. <https://doi.org/10.17221/48/2013-JFS>
- Podrázský, V., Zahradník, D., Pulkrab, K., Kubeček, J., & Peňa, J.F.B. (2013b). Production value of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* /Mirb./ Franco) on acid sites of the School Forest Hůrky, Písek region. *Zprávy lesnického výzkumu*, 58, 226-232 (in Czech).
- Shlyakhta, Ya.M. (1982). Results of introduction and prospects of seed production of Douglas fir var. green in the Transcarpathian region. (Doctoral dissertation, Lviv Forestry Engineering Institute, Lviv, Ukraine) (in Russian).
- Shlyakhta, Ya. M. (1982). Douglas fir var. green forms by the structure of bark in the Carpathians. *Forestry*, 6, 40-41 (in Russian).
- Smaglyuk, K.K. (1976). *Introduced coniferous forest-forming species*. Uzhhorod: Carpathians (in Ukrainian).
- Sytnik, I.Y. (2014). Douglas fir as a promising species for forest and landscape gardening plantations of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. In *Forest typology: scientific, production, educational aspects of development* (pp. 136-137). Kharkiv: Kharkiv National Agrarian University (in Ukrainian).
- Vorobiev, D.V., & Ostapenko, B.F. (1979). *Forest-typological foundations of silviculture*. Kharkiv: Kharkiv Agricultural Institute (in Russian).

Влияние фиотценотических условий на накопление древесины насаждениями с участием *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco в западном регионе Украины

Ю. М. Дебринюк¹

Pseudotsuga menziesii при соответствующих режимах культивирования в богатых свежих и влажных типах лесорастительных условий являет-

ся быстрорастущим древесным видом, пригодным для плантационного лесовыращивания. В молодых насаждениях до 25-30-летнего возраста псевдотсуга уступает по интенсивности роста ели и особенно – лиственнице. После 35-летнего возраста псевдотсуга наращивает темпы роста и ее отставание от лиственницы и ели уменьшается.

Лучший рост псевдотсуги по высоте, диаметру и объему среднего дерева обнаружен в чистых по составу насаждениях (8-10 ед.), а также в культурах, где участие дугласии составляет 5-6 ед.

Начальное размещение дугласии в культурах составляет в пределах $1,5 \times 1,0 - 2,5 \times 3,0$ м, густота – 1,3-6,6 тыс. шт.·га⁻¹ при различных вариантах сочетания с другими породами. В последнее время существует тенденция к созданию редких культур дугласии ($2 \times 2, 3,5 \times 3,5$ м и более) с использованием отселектированного посадочного материала.

На серых (темно-серых) лесных почвах в хорошо аэрированных местоположениях псевдотсуга характеризуется интенсивным ростом, высокой биотической устойчивостью, накапливая в 40-60-летнем возрасте около 600-800 м³·га⁻¹ стволовой древесины.

При изучении интенсивности роста различных форм дугласии по строению коры не установлено достоверного различия по этому показателю. Однако, в процессе отбора материала для создания плантационных насаждений все же предпочтение следует отдавать особям со слабо- и среднебороздчатой корой как таковым, в которых доля коры в общем объеме ствола меньше.

Выращивать плантационные лесные культуры дугласии целесообразно чистыми по составу, что исключит негативное воздействие на породу в молодом возрасте других быстрорастущих древесных видов, реализует потенциальные возможности быстрого роста дугласии и облегчит проведение уходов за культурами.

Запасы стволовой древесины псевдотсуги с начальным размещением посадочных мест 4×4 м в возрасте технической спелости очень высокие и даже выше, чем в случае густого начального размещения породы ($1,5 \times 1,5, 1,0 \times 1,5, 2 \times 2$ м). Однако, при необходимости экономии посадочного материала, редкое размещения дугласии без наличия уплотнителей имеет ряд недостатков: ограниченные возможности ведения целенаправленного отбора высокопродуктивных особей; позднее смыкание культур; неудовлетворительная очистка стволов от сучьев, особенно в молодом возрасте; значительное недоиспользование потенциала типа лесорастительных условий, которое проявляется в снижении интенсивности промежуточного пользования, а, значит, и лесоводческого эффекта выращивания культур.

В чистых насаждениях псевдотсуги в условиях D_2 начальную густоту при создании плантационных насаждений целесообразно принять в пределах 1,5-2,0 тыс. шт.·га⁻¹ (с учетом породы-уплотнителя общая густота составляет 6,6 тыс. шт.·га⁻¹).

¹ Дебринюк Юрий Михайлович – академик Лесной академии наук Украины, академик-секретарь ЛАН Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и лесной селекции. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

В условиях D_3 интенсивность роста псевдотсуги несколько выше, поэтому начальная густота породы должна быть немного меньше (1,0-1,5 тыс. шт.·га⁻¹), а с учетом уплотнителя – 4,5-5,0 тыс. шт.·га⁻¹.

Ключевые слова: чистые и смешанные насаждения; высота; диаметр; запас; густота; схемы и способы смешения; типы лесорастительных условий.

The influence of phytocoenotic conditions on wood accumulation by stands with the *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco participation in the western region of Ukraine

Iu. Debryniuk¹

Pseudotsuga menziesii, under appropriate cultivation conditions in rich, fresh and moist types of forest growth conditions, is a fast-growing woody species suitable for forest planting. In young stands up to 25-30 years of age, Douglas fir is inferior in growth rate to spruce and especially to larch. After 35 years of age, Douglas fir increases its growth rate and its stagnation compared to larch and spruce decreases.

The best growth of Douglas fir in height, diameter and volume of the average tree was found in pure in composition stands (8-10 units), as well as in plantations where the participation of Douglas fir is 5-6 units.

The initial spacing of Douglas fir in plantations is within $1.5 \times 1.0 - 2.5 \times 3.0$ m, density – 1.3-6.6 thousand pcs · ha⁻¹ with various combinations with other species. Currently, there is a tendency to create greater plant spacing between crops of Douglas fir (2×2 , 3.5×3.5 m or more) using selected planting stock.

¹ 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 of the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

On grey (dark grey) forest soils in well-aerated locations, Douglas fir is characterized by intensive growth, high biotic stability, accumulating about 600-800 m³ · ha⁻¹ of stemwood at the age of 40-60 years.

When studying the growth rate of various forms of Douglas fir by the structure of the bark, no significant difference was found between these indexes. However, in the process of selecting material for creating plantation stands, preference should still be given to individuals with a weakly and medium furrowed bark as such in which the share of bark in the total trunk volume is less.

It is recommended to plant forest plantation of Douglas fir with a pure composition, which will eliminate the negative impact on the species at a young age of other fast-growing tree species, fulfil the potential for the rapid growth of Douglas fir and facilitate crop tending.

The stock of Douglas fir stemwood with an initial plant spacing of 4×4 m at a technical maturity age is very high and even higher than in the case of a dense initial species spacing (1.5×1.5 ; 1.0×1.5 , 2×2). However, if it is necessary to save planting material, a spare spacing of Douglas fir plants without the presence of associated species has several disadvantages: limited opportunities for targeted selection of highly productive individuals; late canopy closure of crops; poor self-pruning, especially at a young age; significant underutilization of potential such as forest growth conditions, which is manifested in a decrease in the intensity of intermediate use, and, therefore, the silvicultural effect of crop cultivation.

In pure Douglas fir stands under conditions D_2 , it is recommended to take the initial density when establishing plantations in the range of 1.5-2.0 thousand units · ha⁻¹ (taking into account the associated species, the total density is 6.6 thousand units ha⁻¹).

Under forest soil conditions D_3 , the growth rate of Douglas fir is slightly higher, so the initial species density should be slightly less (1.0-1.5 thousand units · ha⁻¹), and taking into account the associated species – 4.5-5.0 thousand units.

Key words: pure and mixed stands; height; diameter; stock; density; mixing schemes and methods; types of forest growth conditions.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411926>
Article received 2019.04.30
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yulian Kahaniak
kaganiak@yahoo.ca

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*644.2

Структура соснових деревостанів району видобутку бурштину у північно-східній частині Західного Полісся

Л. І. Копій¹, Ю. Й. Каганяк², С. Л. Копій³, В. М. Сухович⁴, М. Л. Копій⁵, І. В. Фізик⁶

Господарська діяльність державного підприємства «Клесівське лісове господарство», що розташоване у північно-східній частині Західного Полісся, характеризується комплексним використанням природних ресурсів, які знаходяться на території лісового фонду. Лісові екосистеми є джерелом деревини та недревних лісових ресурсів, протектором ерозії ґрунту тощо. Одночасно на території лісгосподарського підприємства здійснюється нелегальний видобуток бурштину. Таке негативне втручання зумовлює істотне пошкодження або повне знищення деревостанів і рослинного покриву.

Дослідження здійснювали з метою актуалізації лісотаксаційних показників соснових деревостанів на ділянках лісового фонду ідентичних до тих, які порушені внаслідок видобутку бурштину, з наступним аналізом структури деревного запасу. Об'єктом дослідження є чисті та мішані соснові деревостани на землях, які не порушені бурштиновими розробками, в умовах вологого субору на території лісового фонду ДП «Клесівське ЛГ», що за структурою відповідають пошкодженню. Предметом дослідження є структура деревного запасу зазначеного об'єкту.

Виявлено сімнадцять об'єктів, подібних за породним складом деревостанів. Запас для кожного елемента лісу поділено на десять рівновеликих частин. Встановлено мінливість частки запасу сосни звичайної, розподіленого за рівновеликими частинами. Виділено п'ять типів розподілу запасу сосни за рівновеликими частинами деревостану. Тип розподілу частки запасу сосни детермінований деревною породою, групою віку та показником мінливості діаметра стовбура. Встановлені особливості доцільно використовувати при відтворенні деревостанів на ділянках, порушених під час видобування бурштину.

¹ Копій Леонід Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, завідувач кафедри екології, професор. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-750-34-66. E-mail: kop.l@i.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6672-3904>

² Каганяк Юліан Йосипович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісової таксації та лісовпорядкування. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-587-42-66. E-mail: kaganiak@yahoo.ca; y.kaganyak@nltu.edu.ua ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9215-3922>

³ Копій Сергій Леонідович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-440-98-20. E-mail: s.kopiy@email.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7322-7244>

⁴ Сухович Віталій Миколайович – аспірант кафедри екології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-362-09-77. E-mail: suhovich_den@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8701-3135>

⁵ Копій Марія Леонідівна – кандидат сільськогосподарських наук, асистент кафедри екології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-440-98-20. E-mail: marykop16@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4355-5543>

⁶ Фізик Ігор Васильович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, докторант кафедри екології. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-362-15-55. E-mail: igor240265@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4247-2519>

Соснові деревостани, які використані для порівняльного аналізу, відносяться до одного типу лісу та однієї групи віку і характеризуються високою дисперсністю бонітету та відносної повноти. Структурний аналіз вказує на вагомість впливу чинника розробки бурштину на величину сировинних втрат.

Ключові слова: структура лісостанів; запас; рівновелика частина; сосна; показник мінливості.

Вступ. Лісовпорядні рекомендації спрямовують діяльність лісогосподарських підприємств на комплексне використання лісових ресурсів. Еколого-економічні аспекти моделі комплексного використання лісових ресурсів конкретної території знайшли своє відображення в наукових літературних джерелах (Tunytsya, 2002) та втілені у практику.

Тривалий час на землях лісового фонду поліського регіону здійснюють використання не лише лісових ресурсів. Зокрема, на частині території ДП «Клесівське ЛГ» провадять видобуток бурштину. Із теорії загальної екології відомі вірогідні зв'язки, які встановлюються між видобутком мінеральних природних ресурсів (бурштину) та лісовим фітоценозом (Kuchegiyau, 2010). Висока інтенсивність і надмірні обсяги добутого мінералу можуть бути причиною деструктивних змін у лісовому фітоценозі. В перспективі таке необґрунтоване втручання веде до заміни лісової формації. Внаслідок такої діяльності на низці ділянок лісового фонду істотно ускладнюється реалізація плану лісогосподарських заходів. Внаслідок активного видобування бурштину істотно порушуються не тільки структура деревостанів, але й ґрунтові умови, вологість ґрунту, лісова підстилка, гідрологічні умови, рельєф території (Hordijchuk, 2013, Kornienko, 2014). Видобуток мінералу з використанням потужних водяних помп призводить до значного порушення рельєфу місцевості, формуванню значних вирв, внутрішньогрунтових пустот, що створює істотні загрози під час здійснення лісогосподарських заходів (рис. 1).

Сформовані на землях після видобутку бурштину соснові деревостани, апіорі, будуть характеризуватись дещо іншим перебігом ростових процесів і темпами нагромадження деревного запасу. Деградовані ґрунти зумовлять формування менш продуктивних деревостанів (Reida, 2015). Зрозуміло, що практична реалізація концепції комплексного використання природних ресурсів на таких таксаційних виділах позначиться і на структурних особливостях ростучих там деревостанів. Тому завданням досліджень було передбачено здійснення оцінки системи лісогосподарських заходів (початок і завершення догляду у різних за складом і віковою структурою деревостанів в аналізованих умовах, інтенсивність вибірки другорядних і головних деревних порід під час проведення доглядових рубок, методи відбору дерев в рубку тощо) для опрацювання алгоритму формування корінних деревостанів на порушених внаслідок видобутку бурштину ділянках. Вчасне оцінювання змін у таких деревостанах, подальше розроблення науково обґрунтованих рекомендацій щодо планування комплексу лісогосподарських заходів, на наш погляд, є актуальними завданнями з

погляду відтворення корінних та високопродуктивних деревостанів у зазначених умовах.



Рис. 1. Загальний вигляд ділянки середньовікового соснового деревостану після видобутку бурштину

Дослідження здійснювали з метою таксації соснових деревостанів на ділянках лісового фонду лісогосподарського підприємства, непорушених внаслідок видобутку бурштину, які є подібними за лісівничо-таксаційними характеристиками до деревостанів, знищених під час бурштиновидобування.

Опис об'єкту та методики досліджень. Об'єктом дослідження є чисті та мішані соснові деревостани в умовах вологого субору на землях, які за лісорослинними умовами є подібними до земель, порушених бурштиновими розробками, на території лісового фонду державного підприємства «Клесівське лісове господарство». Предметом дослідження є структура деревного запасу зазначеного об'єкту. Мета дослідження полягала у вивченні особливостей формування соснових насаджень в умовах вологого субору з вивченням нагромадження деревини під впливом застосованої системи лісогосподарських заходів і термінів її проведення. Встановлені параметри корінних соснових деревостанів дають змогу опрацювати принципи вирощування високоповнотних і високопродуктивних мішаних (за участю дуба звичайного, берези повислої та вільхи чорної) лісостанів в умовах порушених територій.

Обстеження таксаційних виділів лісового фонду підприємства дало змогу виявити 17 ділянок,

які за лісівничо-таксаційними характеристиками подібні до соснових деревостанів, що були знищені внаслідок видобутку бурштину. Вихідні дані про соснові деревостани представлені кількісними переліками дерев за елементами лісу, ступенями товщини та категоріями технічної придатності, а також висотами, заміряними у 3-5 дерев для кожної ступені товщини. З цією метою використано методику перелікової таксації із візуальним встановленням окремих лісівничо-таксаційних ознак (виду рослини; типу лісу; категорії технічної придатності дерева тощо). Методику перелікової таксації в достатньому обсязі висвітлено у вітчизня-

ній науково-навчальній літературі (Tsuryk, 2000, Strochynskyu, 2006).

Таксаційні показники розраховано за загальноприйнятими формулами у лісовій таксації (Vorobjov, 1953, Jonson., Lion, 1980, Kahaniak, 2005, 2006, Strochynskyu, Kashpor, Berezivskyu, 2007, Strochynskyu, Kashpor, 2007).

Таксаційні виділи представлені чистими та мішаними сосновими деревостанами. Пробні ділянки закладені в соснових деревостанах, які відносяться до двох вікових груп – середньовікових і стиглих.

Лісотаксаційну характеристику соснових деревостанів на пробних ділянках подано в табл. 1.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика соснових деревостанів, характерних для умов вологого субору

Код	Лісництво	Кв.	Вид.	Порода	Спд	N	A	D	H	M	C	P	Б
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
2808	Ясногірське	22	4.4	Сосна	0,70	799	48	18,2	17,9	172	10	0,47	I
				Береза		4		13,5	14,2	0	0	0,00	
				Разом		803				172	10	0,48	
2809	Ясногірське	9	18.2	Сосна	0,30	313	49	17,0	17,4	58	10	0,16	I
2810	Ясногірське	9	18.1	Сосна	0,40	438	49	17,4	17,6	84	10	0,24	I
				Береза		5		8,0	11,3	0	0	0,00	
				Разом		443				84	10	0,24	
2811	Ясногірське	1	38.1	Сосна	0,50	636	49	19,7	18,9	168	10	0,43	I
2815	Ясногірське	3	25.2	Сосна	0,20	415	49	17,5	17,7	80	10	0,22	I
160	Федорівське	39	12.9	Сосна	0,40	250	44	33,5	25,5	254	10	0,48	I ^c
				Береза		80		14,4	14,6	9	0	0,05	
				Разом		330				263	10	0,53	
118	Клесівське	40	13.1	Сосна	0,10	980	89	20,1	17,5	246	10	0,70	IV
600	Любонське	4	27.1	Сосна	0,80	438	48	15,2	15,0	57	7	0,20	II
				Береза		351		12,4	12,0	24	3	0,18	
				Разом		789				81	10	0,38	
604	Любонське	1	18.2	Сосна	0,10	1000	44	12,9	13,6	87	10	0,34	III
609	Любонське	8	3.5	Сосна	0,50	682	49	18,3	16,2	137	10	0,43	II
73a	Федорівське	67	15.3	Сосна	0,60	247	89	34,4	25,8	268	9	0,50	II
				Береза		52		18,0	16,3	9	0	0,05	
				Вільха		82		17,4	16,0	15	1	0,09	
				Разом		380				292	10	0,64	
45a	Федорівське	37	30.2	Сосна	0,70	296	88	25,1	21,3	147	8	0,33	II
				Береза		56		15,3	14,9	7	0	0,04	
				Вільха		121		16,2	15,4	19	1	0,12	
				Разом		473				173	10	0,49	
10a	Федорівське	36	1	Сосна	0,40	483	88	29,3	24,7	363	10	0,71	II
				Береза		65		13,2	14,2	6	0	0,04	
				Разом		548				369	10	0,74	
43a	Федорівське	23	27	Сосна	0,70	517	88	20,4	19,0	154	9	0,40	III
				Береза		33		23,9	18,5	11	1	0,05	
				Разом		550				165	10	0,44	

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
30aa	Федорівське	21	26	Сосна	0,30	137	93	32,6	25,6	133	8	0,25	II
				Береза		87		24,8	18,8	32	2	0,14	
				Осика		13		22,4	17,9	4	0	0,02	
				Разом		237				169	10	0,41	
50	Клесівське	40	9.1	Сосна	0,10	1220	46	14,7	14,2	145	10	0,54	II
62	Клесівське	31	37.1	Сосна	0,20	460	48	26,6	24,0	278	9	0,56	I ^b
				Береза		110		19,4	17,2	24	1	0,11	
				Разом		570				301	10	0,67	

Примітки. Спд – площа пробної ділянки, на якій здійснено перелік дерев, га; N – кількість дерев, шт.·га⁻¹; A – середній вік переважаючої деревної породи, років; D – середній діаметр елемента лісу, см; H – середня висота елемента лісу, м; M – запас елемента лісу, м³·га⁻¹; C – частка елемента лісу в деревостані, одиниць; P – відносна повнота елемента лісу; Б – клас бонітету переважаючої деревної породи.

Стиглі соснові деревостани характеризуються значним коливанням класу бонітету (від IV до II) та відносної повноти (від 0,4 до 0,7). В основному, це чисті соснові деревостани або з невеликою домішкою (близько 10%) берези.

Середньовікові соснові деревостани характеризуються високим бонітетом. Індекс класу бонітету змінюється від II до I^b. Відносна повнота таких деревостанів також різна, змінюючись від 0,2 до 0,7. За складом соснові деревостани є чистими та мішаними. Частка сосни коливається від 10 до 7 одиниць. Як домішка у соснових насадженнях трапляються береза повисла, вільха чорна та осика.

Структуру запасу конкретного деревостану представлено у вигляді розподілу цього показника за 10-ма рівновеликими частинами. Рівновелика частина встановлюється, як 1/10 від загальної кількості дерев. Алгоритм розподілу запасу за 10-ма рівновеликими частинами наведено у попередніх наукових

працях (Agij, Kopyi, Fyzik, Kahaniak, Kopyi, 2016, Kopyi et. al., 2014, Gonchar, Kopyi, Kahaniak, Kopyi, 2012, Kopyi, Kahaniak, Meleshchuk, 2008). Теоретичною основою розподілу запасу елемента лісу на рівновеликі частини є дециль. Вихідними даними для структуризації запасу за рівновеликими частинами є перелік кількості дерев за ступенями товщини та модель залежності висоти дерева від діаметра стовбура на висоті 1,3 м.

Результати дослідження та їх аналіз. В результаті опрацювання первинних даних переліку дерев на пробних ділянках за вищезгаданою в літературних джерелах методикою отримано розподіл запасу, диференційованого за елементами лісу та рівновеликими частинами деревостану для двох вікових груп насаджень (стиглих і середньовікових).

Підсумок розрахованої структури запасу для соснових деревостанів на території лісового фонду підприємства на пробних ділянках подано в табл. 2.

Таблиця 2

Розподіл запасу сосни за групами віку та рівновеликими частинами деревостану на території лісового фонду ДП «Клесівське ЛГ»

Код пробної ділянки	Частка запасу сосни за рівновеликими частинами деревостану, %									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Середньовікові деревостани										
2808	1	3	4	6	7	9	11	13	17	29
2809	2	4	5	6	7	8	10	12	16	31
2810	2	4	6	7	8	9	10	13	16	25
2811	2	3	5	6	7	9	11	13	16	29
2815	3	5	6	7	8	9	10	12	15	25
160	1	3	5	7	9	11	12	14	16	23
600	1	2	3	4	6	8	11	14	19	33
604	2	2	3	4	5	7	9	13	20	36
609	1	2	4	6	7	9	11	14	18	30
50	1	2	2	3	5	7	10	14	20	36
62	1	4	5	7	8	10	12	14	17	23
Стиглі деревостани										
118	3	5	6	7	8	9	11	13	16	22

73a	1	3	5	6	8	9	11	13	16	28
45a	0	1	2	3	5	8	12	16	21	33
10a	1	4	6	7	9	10	11	13	15	24
43a	1	1	2	4	5	7	10	13	18	38
30aa	2	4	5	6	8	9	11	13	16	26

Аналіз та зіставлення наведених у табл. 2 даних дає змогу виділити п'ять груп об'єктів. Графічна інтерпретація структури запасу сосни звичайної представлених об'єктів, об'єднаних в окремі групи, зображено на рис. 1.

Розподіл запасу стовбурової деревини сосни за рівновеликими частинами деревостану специфічний для кожного об'єкта досліджень і відображає особливості здійснених лісгосподарських захо-

дів. Встановлені особливості дали змогу відзначити різні типи формування деревостанів в межах розташування підприємства, що дасть змогу в подальшому врахувати їх для вирощування високопродуктивних та біотично стійких соснових лісостанів. Для кожної групи об'єктів подано додаткову біометричну характеристику кількісного розподілу дерев сосни звичайної за діаметром на висоті 1,3 м. Отримані дані представлено в табл. 3.

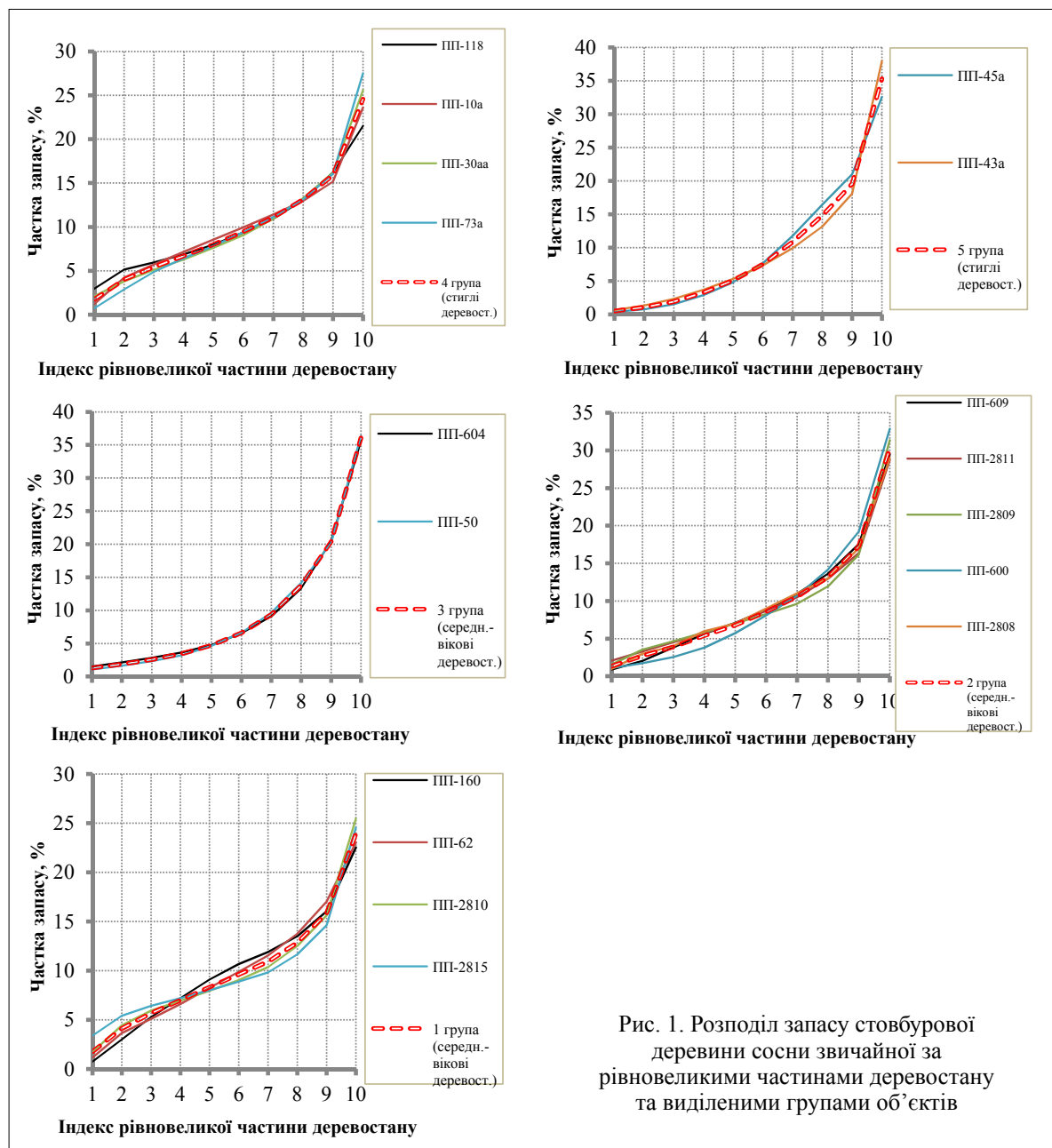


Рис. 1. Розподіл запасу стовбурової деревини сосни звичайної за рівновеликими частинами деревостану та виділеними групами об'єктів

Поряд з тим відзначено особливості коливання мінімального та максимального діаметра, що дасть змогу здійснити відповідні заходи з метою вирощування соснових деревостанів з цільовими таксаційними параметрами в межах конкретних лісорослинних умов. Моделі відтворення деревостанів можуть передбачати наявність проміжних етапів, які сприятимуть збагаченню порушених ґрунтів органічними речовинами та відтворенню їх мікологічної структури.

Відповідно до даних, наведених в табл. 3, необхідно відзначити помітну зміну величини середнього арифметичного діаметра, показників мінливості (коефіцієнт варіації, ліміти) та форми розподілу діаметрів (асиметрія, ексцес), як між групами об'єктів, так і всередині групи.

Відмінності частки запасу за величиною між віковими групами (середньовікові і стиглі), залежно

від мінливості діаметрів стовбурів сосни, підтверджено для всіх рівновеликих частин деревостану, за винятком сьомої частини. Графічну інтерпретацію тренду частки запасу сосни в межах рівновеликої частини та вікової групи об'єкту, залежно від мінливості діаметрів стовбурів, проілюстровано на рис. 2.

У межах рівновеликої частини деревостану та вікової групи об'єктів виявлено значну детермінованість частки запасу мінливістю діаметрів стовбурів. Вона змінюється в межах 42-93% для середньовікових деревостанів (коефіцієнт кореляції перевищує 0,6) та в межах 52-99% – для стиглих деревостанів (коефіцієнт кореляції перевищує 0,7). Враховуючи, що соснові деревостани сформовані в одному типі лісорослинних умов, але відносяться до різних груп віку, можна констатувати помітні відмінності у розподілі запасу стовбурової деревини для більшості рівновеликих частин.

Таблиця 3

Біометрична характеристика сосни для виділених груп об'єктів

Група	Код ПП	D_a	Var	d_{min}	d_{max}	A_s	E_x
1	160, 62, 2810, 2815	16,9/32,0	19,7/30,7	8/12	28/52	-0,41/0,98	-0,63/1,36
2	2808, 2811, 2809, 609, 600	14,2/19,0	27,3/38,8	8/12	28/36	0,17/0,88	-0,81/0,82
3	604, 50	12,0/13,5	38,6/42,2	8	24/28	0,84/0,90	-0,31/-0,21
4	118, 10a, 30aa, 73a	19,7/32,5	20,3/34,9	8/16	28/64	-0,21/0,66	-0,57/0,22
5	45a, 43a	18,6/22,4	44,3/50,9	8	44/48	0,33/0,63	-1,04/-0,08

Примітки. D_a – середній арифметичний діаметр елемента лісу, см; V_{ar} – коефіцієнт варіації, %; d_{min} та d_{max} – ліміти, см; A_s – асиметрія розподілу діаметрів; E_x – ексцес розподілу діаметрів.

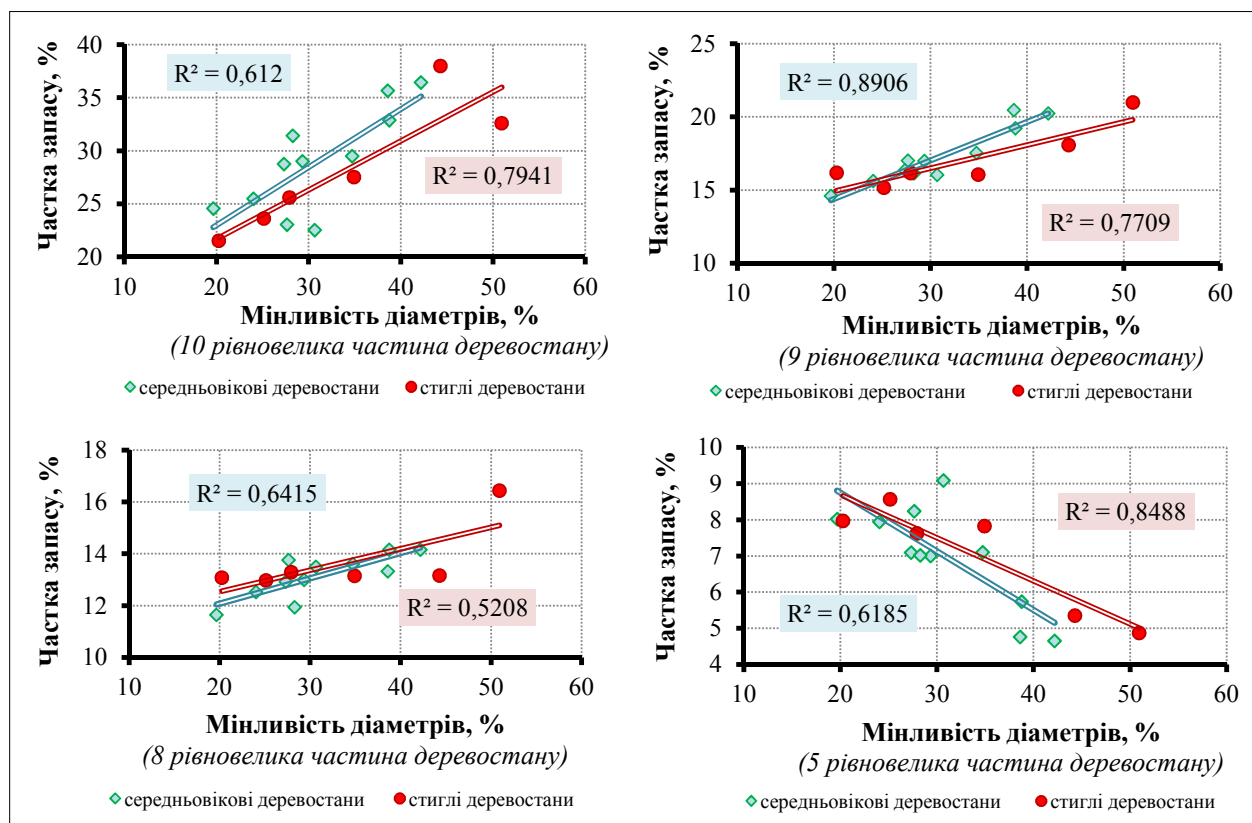
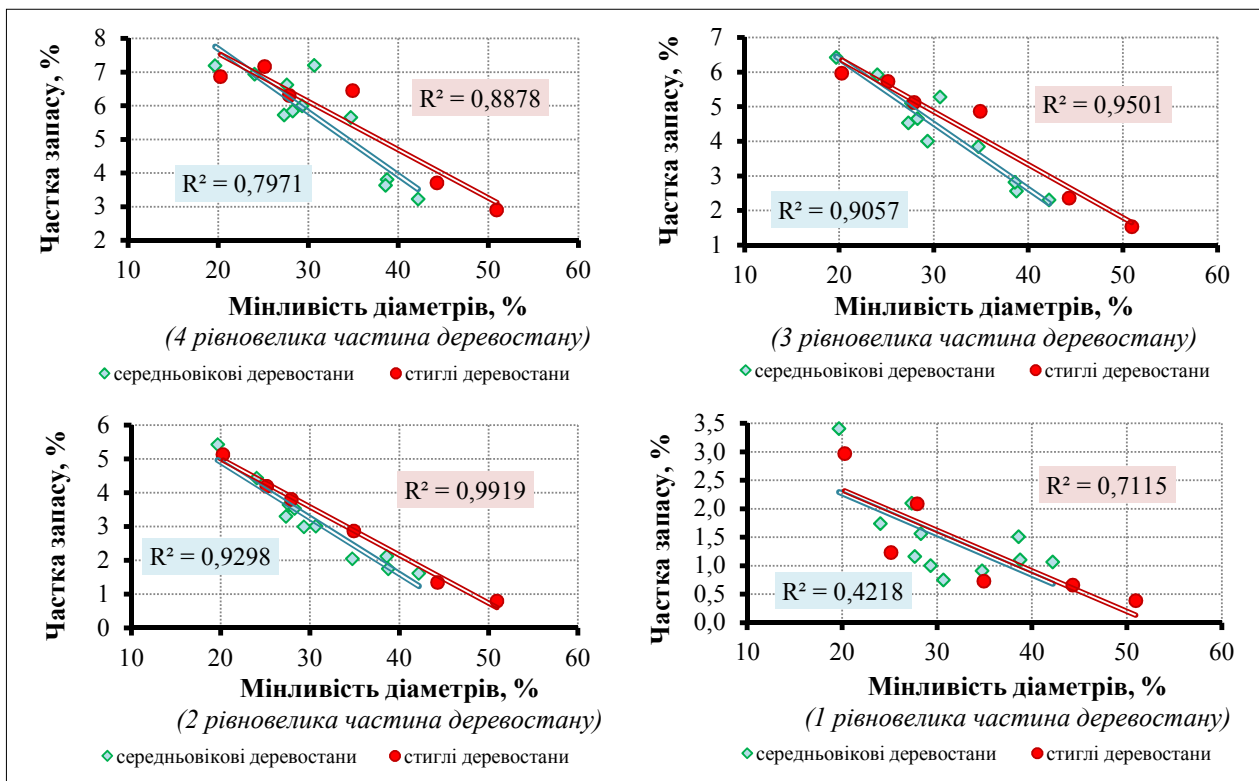


Рис. 2. Розподіл запасу стовбурової деревини сосни звичайної в межах рівновеликої частини деревостану та виділених груп об'єктів залежно від мінливості діаметрів стовбурів



Продовж. рис. 2. Розподіл запасу стовбурової деревини сосни звичайної в межах рівновеликої частини деревостану та виділених груп об'єктів залежно від мінливості діаметрів стовбурів

Встановленні особливості необхідно враховувати під час відтворення лісостанів на порушених видобуванням бурштину ділянках.

Висновки. Встановлено п'ять типів розподілу запасу сосни за рівновеликими частинами деревостану. Різниця частки запасу між групами об'єктів для десятої рівновеликої частини досягає 10-12 %, для дев'ятої – 4 %, для інших – 1-3 %. Беручи до уваги фактичну величину частки запасу сосни рівновеликої частини деревостану, така відмінність є істотною (особливо для перших шести).

У межах виділених п'яти груп об'єктів встановлено найбільш виразну залежність між величиною частки запасу сосни рівновеликої частини деревостану, групою віку (середньовікові, стиглі) і показником мінливості діаметрів стовбурів. Частка запасу сосни рівновеликої частини деревостану характеризується більшою ентропією, якщо її дисперсію пояснювати зміною величини інших розглянутих таксаційних та біометричних показників.

Аналіз підтверджує вагомість чинника господарської діяльності (терміни проведення доглядових рубань, інтенсивність вибірки дерев, методи відбору дерев у рубку) на структуру деревного запасу сосни в деревостанах із різним видовим складом, потенційною та фактичною продуктивністю.

Отримані результати типізації розподілу запасу за рівновеликими частинами, таксаційно-біометрична характеристики соснових деревостанів зумовлюють необхідність застосування особливого підходу під час відтворення та планування лісогосподарських заходів й головного користування

стиглим деревним запасом на ділянках, порушених розробкою бурштину.

Встановлені особливості структури деревостанів у межах аналізованого підприємства дають змогу опрацювати відповідні моделі формування видового складу, таксаційної структури, інтенсивності проведення доглядових рубань у межах вікових груп з метою відтворення мішаних деревостанів за участю характерних кліматичних домішок, що забезпечить нагромадження органічної речовини, збагачення мікологічної структури порушених ґрунтів та покращення їхніх фізико-механічних властивостей.

References

- Agij, V., Kopyi, S., Fyzik, I., Kahaniak, Yu., & Kopyi, L. (2016). Types of Distribution of the Stock of Mature Hornbeam-Oak Stands in Transcarpathia. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 26.8, 16-24. <https://doi.org/10.15421/40260802> (in Ukrainian).
- Gonchar, V., Kopyi, S., Kahaniak, Yu., & Kopyi, L. (2012). Features of the structure of the stock of birch-pine stands in Western Polissia. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series «Forestry and Ornamental Horticulture»*, 171 (3), 23-29 (in Ukrainian).
- Hordijchuk, M. (2013). Impact of amber extraction on the natural landscapes of the Rivne region. *Physical Geography and Geomorphology*, 2, 259-262 (in Ukrainian).

- Jonson, N., & Lion, F. (1980). *Statistics and experimental design in science and technology. Data processing methods*. Moscow: Science (in Russian).
- Kahaniak, Yu. (2006). For-ecast of potential productivity of pine and beech stands. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 16.6, 39-45. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2006/16_6/index.htm (in Ukrainian).
- Kahaniak, Yu. (2005). Modification of models of normal stock and absolute completeness for pine stands. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 15.4, 49-54. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2005/15_4/index.htm (in Ukrainian).
- Kahaniak, Yu. (2005). Short-term prediction of taxation indicators of pine stands. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 15.2, 29-35. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2005/15_2/index.htm (in Ukrainian).
- Kopiy, L., Kahaniak, Yu., Gonchar, V., Kopiy, S., Myhailenko, M., Kopiy, M., & Fyzik, I. (2014). Stock dynamics of elementary parts of mixed stands of Western Polissia. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 140-147. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/148> (in Ukrainian).
- Kopiy, L., Kahaniak, Yu., Meleshchuk O. (2008). Investigation of the structure of the main forest taxation indicators of stands in the fresh oak subsoil of western Polissia. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 18.11, 115-122. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_11/index.htm (in Ukrainian).
- Kornienko, V. (2014). Modern technologies of amber extraction from fields. *Bulletin of the National University of Water and Environmental Management. Engineering sciences*, 1, 462-470 (in Ukrainian).
- Kucheriavyy, V. (2010). *General ecology*. Lviv: The World (in Ukrainian).
- Kurepa, S. (2009). Changing of the surface layer of soil due to hydro pump amber extraction in the Banyki tract. In *Conservation and Reproduction of the Biodiversity of the Protected Areas*, June 11-13. Sarny, Ukraine: Rivne printing house (in Ukrainian).
- Reida S. (2015). Degradation of the soil cover as an echo of the amber «fever». In *National Science at the Turn of the Ages: Problems and Prospects for Development*, 48-51. Pereyaslav-Khmelnitsky, Ukraine: Coll. Science.
- Strochynskyy, A. (2006). *Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. SOW Test areas are forested. Method of laying*. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian).
- Strochynskyy, A., & Kashpor, S. (2007). *Unified system of boning of forest plantations. Forest taxation standards*. Kyiv: NAU Publishing Center (in Ukrainian).
- Strochynskyy, A., Kashpor, S., & Berezhivskyy, L. (2007). *The sum of the cross-sectional area and the stock of tree stands at 1.0. Timber taxation standards (second edition, revised and supplemented)*. Kyiv: NAU Publishing Center (in Ukrainian).
- Tsuryk, E. (2000). *Listed taxation of the forest*. Lviv: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian).
- Tunycia, U. (2002). *Ecological Constitution of the Earth. Idea. Concept. Problems*. Lviv: Publishing Center of Ivan Franko National University of Lviv (in Ukrainian).
- Vorobjov, D. (1953). *Types of forests in the European part of the USSR*. Kyiv: Publishing House of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR (in Russian).

Структура сосновых древостоев района разработки янтаря в северо-восточной части Западного Полесья

Л. И. Копий¹, Ю. И. Каганяк², С. Л. Копий³,
В. Н. Сухович⁴, М. Л. Копий⁵, И. В. Физик⁶

Хозяйственная деятельность государственного предприятия «Клесовское лесное хозяйство» базируется на основе комплексного использования природных ресурсов, сконцентрированных на

¹ Копий Леонид Иванович – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедры экологии. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-750-34-66. E-mail: kop.l@i.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6672-3904>

² Каганяк Юлиан Иосифович – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесной таксации и лесоустройства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-587-42-66. E-mail: kaganiak@yahoo.ca; y.kaganyak@nltu.edu.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-9215-3922>

³ Копий Сергей Леонидович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-097-440-98-20. E-mail: s.kopiy@email.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7322-7244>

⁴ Сухович Виталий Николаевич – аспирант кафедры экологии. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-362-09-77. E-mail: suhovich_den@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8701-3135>

⁵ Копий Мария Леонидовна – кандидат сельскохозяйственных наук, ассистент кафедры экологии. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-097-440-98-20. E-mail: marykop16@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4355-5543>

⁶ Физик Игорь Васильевич – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, докторант кафедры экологии. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-362-15-55. E-mail: igor240265@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4247-2519>

территории лесного фонда. Лесные экосистемы являются источником древесины и недревесных лесных ресурсов, протектором эрозии лесных почв, климаторегулирующим фактором. Одновременно на территории лесохозяйственного предприятия осуществляется разработка янтаря. Подобное вмешательство в лесную экосистему в будущем будет отображаться на структуре древесного запаса, протекании процесса его накопления деревьями.

Целью исследования является актуализация лесотаксационных показателей сосновых древостоев на участках лесного фонда лесохозяйственного предприятия, сходных по составу и структуре с теми, которые уничтожены в результате разработки янтаря. Объектом исследования являются чистые и смешанные сосновые древостои на землях, не нарушенных разработкой янтаря, в условиях влажной субори на территории лесного фонда ГП «Клесовское лесное хозяйство». Предметом исследования является структура древесного запаса упомянутого объекта.

Первичная информация по объекту получена методом перечислительной таксации. Структурный анализ использует данные распределения количества деревьев элемента леса по ступеням толщины и размерно-качественным категориям (деловые, полуделовые, дровяные и сухостой), а также измеренные в трёх-пяти деревьях высоты для каждой ступени толщины. Инвентаризация территории лесного фонда предприятия выявила семнадцать участков, идентичных по составу и структуре древостоев, уничтоженным разработкой минерала. Исследованные средневозрастные и спелые сосновые древостои по составу чистые, либо с небольшой примесью (до 1-3 единиц) берёзы, дуба, осины и ольхи. Сосновые древостои характеризуются значительным колебанием индекса класса бонитета (от IV до I^с) и относительной полноты (от 0,2 до 0,7).

Запас в пределах элемента леса распределен на десять равновеликих частей. Установлена изменчивость части запаса сосны обыкновенной, распределённой по равновеликим частям. Выявлено пять типов распределения запаса сосны по равновеликим частям древостоя. Тип распределения части запаса сосны детерминирован древесной породой, группой возраста и показателем вариации диаметра ствола. Разница части запаса между группами объектов для десятой равновеликой части составляет 10-12%, для девятой – 4%, для других структурных составляющих – 1-3%.

Структурный анализ подтверждает весомость лесохозяйственных мероприятий (своевременное проведение рубок ухода, интенсивность выборки деревьев, метод отбора деревьев в рубку) на распределение запаса сосны по равновеликим частям древостоя. Разработка янтаря на лесных территориях является дополнительным негативным фактором, который необходимо учитывать при восстановлении лесных насаждений, разработке системы

рубков формирования и оздоровления древостоев на участках после разработки янтаря.

Ключевые слова: структура древостоев; запас; равновеликая часть; сосна; показатель; изменчивость.

Structure of pine stands in the area of amber production at the North-Eastern part of the West Polissya

L. Kopyi¹, Yu. Kahaniak², S. Kopyi³, V. Suhovych⁴,
M. Kopyi⁵, I. Fyzik⁶

The economic activities of the Klesiv State Forestry Enterprise are guided by the theoretical foundations of the integrated use of natural resources, which are concentrated on the territory of the forest fund. Forest ecosystems are a source of wood and non-forest forest resources, a factor forest soil protector against erosion and a climate-regulating. At the same time, amber is being mined on the territory of forestry enterprise. Such an intervention in the forest ecosystem will be reflected subsequently at the wood stock structure, and the process of its accumulation by trees.

The aim of the study is to update the forest biometry indicators of pine stands in the forest fund forestry areas, which are characterized by the composition and structure that were destroyed as a result of amber mining and further analysis of the structure of wood stock. The object of the study is pure and mixed pine

¹ Leonid Kopyi – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of Ecology, Professor UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-750-34-66. E-mail: kop.l@i.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0001-6672-3904>

² Yulian Kahaniak – Full Member Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Taxation and Forest Management. UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-587-42-66. E-mail: kaganiak@yahoo.ca; y.kaganyak@nltu.edu.ua ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9215-3922>

³ Serhiy Kopyi – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in forestry, Associate Professor, Department of Forestry. UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097-440-98-20. E-mail: s.kopyi@email.ua ORCID <https://orcid.org/0000-0002-7322-7244>

⁴ Vitalii Suhovych – postgraduate student of the Department of Ecology UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-362-09-77. E-mail: suhovich_den@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0001-8701-3135>

⁵ Maria Kopyi – PhD in ecology, Assistant Professor, Department of Ecology. UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097-440-98-20. E-mail: maryakop16@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4355-5543>

⁶ Igor Fyzik – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in forestry, Doctoral Student, Department of Ecology UNFU, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-362-15-55. E-mail: igor240265@gmail.com ORCID <https://orcid.org/0000-0003-4247-2519>

stands on lands that are not disturbed by amber mining, in humid «subir» in the forest fund of the Klesiv State Forestry Enterprise. The subject of the study is the stock structure of the mentioned object.

Due to the active extraction of amber, not only the structure of stands, but also soil conditions, soil moisture and other components (forest plants, hydrological conditions, terrain) are significantly disturbed. The extraction of minerals by using of powerful water pumps leads to a significant disturbance of the terrain, the formation of significant abysses, intra-soil voids, which creates significant threats for forestry activities.

Primary information about the object was obtained by the method of enumeration biometry. Structural analysis uses data on the distribution of the number of trees of a forest element beyond the thickness steps and size and quality categories as well as measured in three to five height trees for each thickness step. An inventory of the territory of the forest fund of the enterprise revealed seventeen sections identical for the composition and structure of stands destroyed by the amber mining. The middle-aged and ripe pine stands are clean or with a small admixture (up to 1-3 units) of birch, oak, aspen and alder. Pine stands are characterized by significant fluctuations in the index of bonitet class (from IV to I^c) and relative completeness (from 0.2 to 0.7).

The stock within the forest element is divided into ten equal parts. The variability of a part of the stock of common pine, distributed beyond equal parts, is established. It was revealed that there are five types of pine stock distribution beyond equal parts of the stand. The type of distribution of the part of the pine stock is determined by the tree species, age group and t index of trunk diameter variation. The difference in the part of the stock between groups of objects for the tenth equal part is 10-12 %, for the ninth – 4 %, for other structural components – 1-3 %.

Structural analysis confirms the importance of silvicultural activities (timely felling, the intensity of tree sampling, the method of selecting trees for felling) on the distribution of pine stocks over equal parts of the forest stand. The amber mining in forest areas is an additional negative factor that must be taken into account when restoring forest stands, and developing a felling system for the formation and rehabilitation of stands in areas after the amber mining.

An important task in the reproduction of highly productive stands in areas after amber extraction is to ensure the proper stands composition, timely cutting care in order to preserve the characteristic climatic impurities and timely removal from the plantations of birch trees hanging in the bush.

Key words: forest structure; stock; equal parts; pine; variability.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411927>
Article received 2019.08.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Lavnyy
lavnyy@gmail.com

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*226

Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах

В. В. Лавний¹, О. Р. Пелюх²

Встановлено негативний синергетичний вплив змін клімату та посилення антропогенного навантаження на стан, структуру та функціонування похідних ялинових деревостанів Українських Карпат. Аналіз таксаційних показників похідних ялинових деревостанів Українських Карпат засвідчив критичний стан цих лісових екосистем та їхні негативні наслідки для ведення лісового господарства підприємствами регіону досліджень. 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 – 60514,8 га (47,8% від загальної площі похідних ялинових деревостанів), а найменшу у Чернівецькій області – 13155,1 га або 10,4%. Середній запас похідних ялиників становить 340 м³·га⁻¹. Серед типів лісу 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 кількість похідних ялиників зосереджена також у вологій смереково-буковій яличині – 17761,2 га (14,0%). Поряд з цим, похідні ялинові деревостани відзначаються високою продуктивністю: найбільшу площу займають деревостани І класу бонітету – 89631 га або 70,8% від загальної площі.

Для вирішення проблеми висихання ялинових насаджень на території Українських Карпат рекомендовано здійснювати моніторинг лісових екосистем та інтегрувати у практику ведення лісового господарства засади наближеного до природи лісівництва. Зокрема, для підвищення біотичної стійкості, стабільності та біорізноманіття похідних ялинових деревостанів необхідно ширше застосовувати рубки переформування.

Ключові слова: *Picea abies* [L.] Karst.; похідні ялиники; лісознавство; лісівництво; рубки переформування; Карпатський регіон.

Вступ. Життя і діяльність людства нерозривно пов'язана з природою, освоєння якої давало змогу задовольняти життєві потреби. Фундаментальна залежність існування людства від довкілля відображено у звіті ООН «*Millennium Ecosystem Assessment*» (MEA, 2005) та проаналізована у рамках сотень міжнародних проектів і програм, найвідомішими з яких є довкілля програма ООН «*The Economics of Ecosystems and Biodiversity*» (TEEB,

2010), *Intergovernmental Platform on Biodiversity and Ecosystem Services* та глобальна мережа *Ecosystem Services Partnership*. Незважаючи на вжиті заходи, форма і сила антропогенного навантаження на довкілля постійно збільшується.

Результати дослідження Римського клубу, викладені у доповіді «*Reinventing Prosperity*» (Maxton & Randers, 2016), показали, що на порозі третього тисячоліття основними проблемами, з якими зіткну-

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. Тел.: +38-098-859-72-07. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: 0000-0003-2069-9026

² Пелюх Оксана Романівна – магістр з економіки довкілля і природних ресурсів, аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-096-748-82-70; E-mail: pelyukh.o@ukr.net ORCID: 0000-0002-1889-3623

лося людство, є тривале безробіття, нерівність доходів і зміна клімату. Саме зміну клімату вважають найбільшою проблемою сучасності.

За даними *NASA Goddard Institute for Space Studies* (Hansen, Ruedu, Glascoe, & Sato, 1999), збільшення емісії парникових газів упродовж минулого століття призвело до збільшення середньої температури земної поверхні та нижніх шарів атмосфери більш як на 1°C. В Європі температура повітря влітку за останні десятиліття була найвищою упродовж останніх 2000 років, а її амплітуда виходила за межі природної мінливості (Stanners & Bourdeau, 1995). Підвищення температури призвело до зменшення товщі снігового покриву, скорочення площі льодовиків, збільшення інтенсивності танення Гренландських та Антарктичних льодових масивів. Відтак, рівень Світового океану піднявся на 0,19 м (Pachauri et al., 2014).

Змін зазнала і схема опадів. Так, вологі регіони стають ще вологішими (середня кількість опадів збільшилась на 18 мм впродовж 10-річного періоду), особливо взимку, а сухі регіони – сухішими (середня кількість опадів зменшилась на 20 мм впродовж цього ж 10-річного періоду), особливо влітку.

Реалії сьогодення демонструють, що такі зміни клімату вплинули на інтенсивність і частоту прояву екстремальних кліматичних явищ, таких як «спекотні хвилі», шторми, сильні опади та посухи. Такі процеси, у синергії з екстенсивним типом використання природних ресурсів, посиленням антропогенного навантаження та збільшенням емісії парникових газів в атмосферу, порушують стан, структуру і функціонування геоекосистеми, в т.ч. і гірської лісової екосистеми (Werners et al., 2015, Zahvoyska & Pelyukh, 2016). Підтвердженням сказаному є інтенсивне всихання створених впродовж XIX ст. на території всієї Європи та Українських Карпат монокультур ялини європейської (Slobodyan et al., 1999, Slobodyan, 2012, Krynytskyu & Chernyavskyu, 2014, Parpan et al., 2014).

Сучасний стан і причини деградації похідних ялинових деревостанів добре описані у науковій лісівничій літературі (Krynytskyu & Chernyavskyu, 2014, Parpan et al., 2014, Shparyk, 2017). Більшість авторів вважають, що однією з основних причин цього явища є саме зміна клімату (Krynytskyu, 2005, Debryniuk, 2011, Shparyk et al., 2013). Відомо, що *Picea abies* [L.] Karst. є зимостійким, тіневитривалим, чутливим до пізніх весняних приморозків, однак через поверхневу кореневу систему – вимогливим до вологості повітря і ґрунту деревним видом (Golubets, Tsaryk, 1992, Debryniuk, 2011). Саме недостатня кількість вологи у вегетаційний період виступає детермінантою втрати стійкості та стабільності ялинових деревостанів.

Debryniuk (2011) виділяє п'ять груп основних чинників всихання ялинових насаджень Передкарпаття та Зовнішніх Карпат: 1) масове культивування *Picea abies* за межами її природного ареалу; 2) культивування чистих ялинових насаджень; 3) зниження повноти насаджень лісгосподарськи-

ми заходами; 4) культивування екотипів ялини із низькою біотичною стійкістю; 5) кліматичні зміни і пов'язані з ними посухи. Зокрема, надмірні посухи влітку ослаблюють дерева, а затяжні дощі – перезволожують верхній шар ґрунту. Перший сильний вітер для таких лісів стає руйнівним.

Вплив клімату на всихання ялинових монокультур досліджували Slobodyan, Shpilchak, & Slobodyan (1999), які встановили, що сонячна промениста енергія зумовлює активізацію кореневої губки у лісовій підстилці та корененасиченому шарі ґрунту. У пошкоджених насадженнях формуються стійкі хронічні осередки масового розмноження короїдів та інших стовбурових шкідників, що за визначенням Debryniuk (2011) є вторинною причиною всихання ялинових насаджень.

Актуальність проблеми зумовлена збільшенням наукового і суспільного інтересу до проблеми всихання ялинових деревостанів в Україні та активно-го пошуку шляхів її вирішення.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – похідні ялинові деревостани Українських Карпат в умовах змін клімату та посилення антропогенного навантаження. Предмет дослідження – лісівничо-таксаційні показники похідних ялинових деревостанів, розташованих у гірській частині Закарпатської, Івано-Франківської, Львівської і Чернівецької областей.

Мета роботи полягає у вивченні поширення та сучасного стану похідних ялинових деревостанів Українських Карпат на основі аналізу їхніх лісівничо-таксаційних показників.

Узагальнення динаміки запасів стовбурової деревини у похідних ялиниках, розподілу насаджень за групами віку, за типами лісу, класами бонітету, відносними повнотами здійснювали на основі загальноприйнятих у лісовій таксації підходів і методик (Grom, 2005).

Інформаційною базою дослідження була повидільна база даних Українського державного проектного лісовпорядного виробничого об'єднання «Укрдержліспроект» станом на 1 січня 2013 р. та інформація, підготовлена Закарпатським, Івано-Франківським, Львівським і Чернівецьким обласними управліннями лісового та мисливського господарств (ОУЛМГ) щодо планування і виконання рубок переформування у похідних ялинових деревостанах у лісовому фонді підпорядкованих їм державних лісгосподарських підприємств. Зібрані матеріали дослідження статистично опрацьовані із використанням пакету програм Microsoft Office Excel.

Результати та обговорення. Станом на 1.01.2013 р. похідні ялинові деревостани в Українських Карпатах займали площу 126678,1 га із загальним запасом деревини 43032,5 тис. м³ (табл.). Більшість площі (77,5%) всіх похідних ялинових деревостанів знаходиться у підпорядкуванні Державного агентства лісових ресурсів України.

Найбільшу площу похідні ялинові деревостани займають на території Івано-Франківської – 60514,8 га (47,8% від загальної площі похідних

ялинових деревостанів), а найменшу – у Чернівецькій області (13155,1 га або 10,4%). Середній запас похідних ялиників становить $340 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Динаміка середнього запасу похідних ялиників із віком дещо відрізняється між областями, однак має нагромаджувальний характер (рис. 1).

Незначні відмінності у динаміці запасу похідних ялинових деревостанів спостережено на території-

ях Закарпатської та Івано-Франківської областей, а саме, зростання запасу до 100-річного віку та поступове зменшення у наступні роки. Динаміка запасу деревини у похідних ялиниках на території Чернівецької обл. показує його зростання впродовж аналізованого періоду. Максимальний запас деревини у похідних ялинових деревостанах досягає $925 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ у віці 110 років у Львівській області.

Таблиця

Розподіл площі та запасу похідних ялинових деревостанів на території Українських Карпат

Адміністративна область	Площа		Загальний запас		Середній запас, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	Середній вік, років
	га	%	тис. м^3	%		
Закарпатська	28241,9	22,3	11504,07	26,7	407	59
Івано-Франківська	60514,8	47,8	19411,91	45,1	321	57
Львівська	24766,3	19,5	7871,81	18,3	318	54
Чернівецька	13155,1	10,4	4244,71	9,9	323	51
Разом	126678,1	100	43032,5	100	340	56

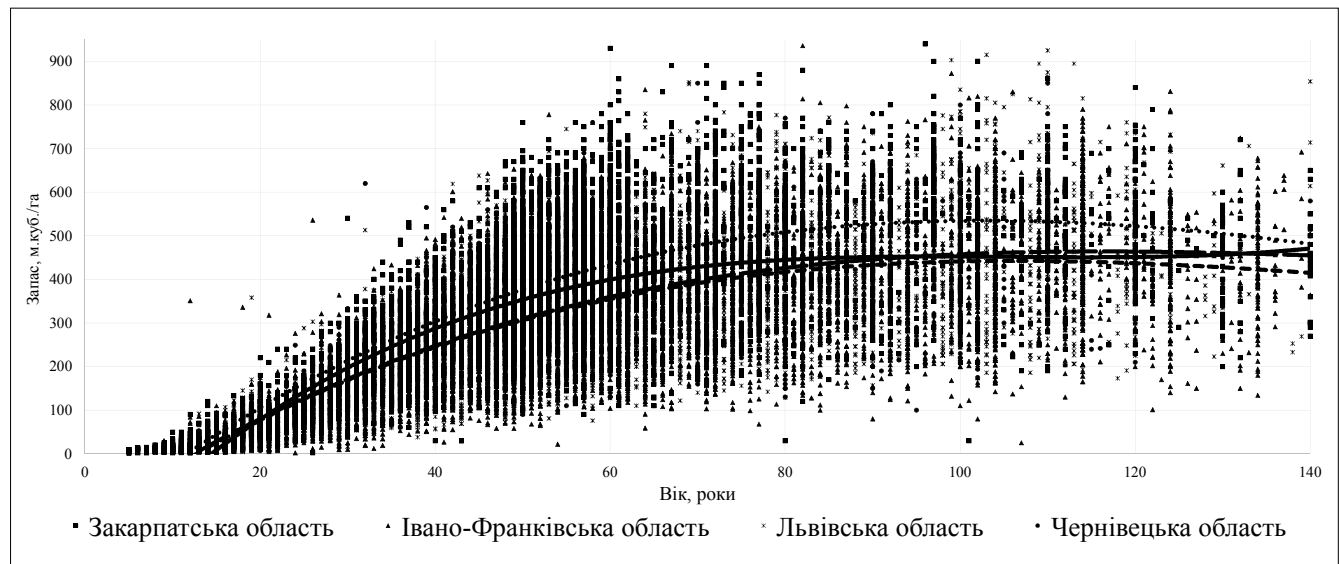


Рис. 1. Динаміка середнього запасу похідних ялинових деревостанів Українських Карпат залежно від їхнього віку

За запасом деревини розподіл похідних ялинових деревостанів у розрізі груп віку виглядає наступним чином: 32,9% запасу формують стиглі насадження, 27,5 – пристигаючі, 21,4 – середньовікові, 16,8 – перестійні і лише 1,4% запасу стовбурової деревини формують молодняки.

Вікова структура похідних ялинових деревостанів за площею рівномірно поділена між середньовіковими, пристигаючими і стиглими деревостанами (рис. 2). Перестійні деревостани займають 12,6% площі. Цей аспект пов'язаний із тим, що всихання дерев ялини призводить до інтенсивного їхнього зрубування у віці 60-80 років. Найнижчою є частка молодих похідних деревостанів ялини – лише 7,9%, що підтверджує той факт, що в останні десятиліття стали менше створювати лісові культури ялини європейської у невідповідних для неї типах лісу.

Похідні ялинові деревостани віком понад 100 років займають площу 13165 га (10,4% від загальної площі) із загальним запасом 6189,4 тис. м^3 деревини. Найстаріші чисті деревостани ялини із середнім віком дерев у 320 років ростуть в Карпатському біосферному заповіднику. Середня висота дерев ялини у цих деревостанах становить 38 м, середній діаметр – 68 см. Загалом середній вік похідних ялинових деревостанів Українських Карпат становить 56 років.

Серед типів лісу 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 кількість похідних ялиників сформувалася також у вологій смереково-буковій яличині –

17761,2 га (14,0%), вологій смереково-ялицевій суббучині – 10911,1 га (8,6%) та у сирій смереково-буковій суяличині – 10398,1 га (8,2%). Трохи менше похідних ялиників зосереджено у вологій чистій бучині (6235,9 га або 4,9%) та у вологій смереково-ялицевій бучині – 4839,9 га (3,8%).

Похідні ялинові деревостани відзначаються високою продуктивністю з переважанням I та I^a класів бонітету (рис. 3). Найбільшу площу займають деревостани I класу бонітету – 89631 га або 70,8% від загальної площі. Низькобонітетні деревостани (IV-V класи бонітету) серед похідних ялиників трапляються досить рідко, їхня площа становить лише 1179,5 га або 0,9% від загальної площі.



Рис. 2. Розподіл похідних ялинових деревостанів Українських Карпат за групами віку (% від загальної площі)

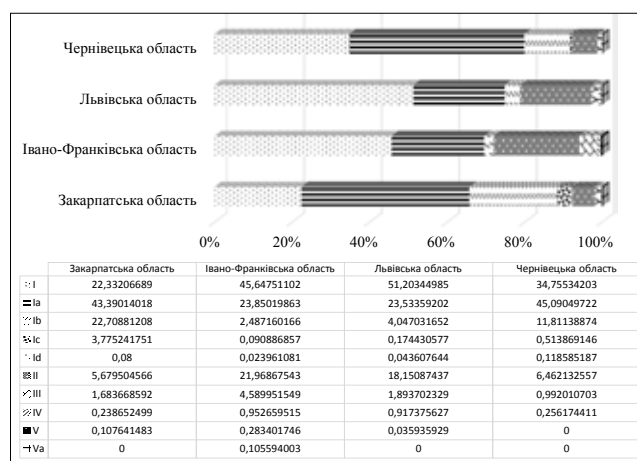


Рис. 3. Розподіл похідних ялинових деревостанів Українських Карпат за класами бонітету (% від загальної площі)

Одним із показників інтенсивності ведення лісового господарства є повнота деревостану (рис. 4).

За результатами аналізу, в регіоні досліджень переважають високоповнотні похідні ялинові деревостани з відносною повнотою 0,8-1,0, площа яких становить 67302,2 га або 53,1%. Середньоповнотні деревостани (повнота 0,6-0,7) займають площу 45160,7 га або 35,7%, низькоповнотні (повнота 0,4-0,5) – 12646,0 га або 10,0%. Рідколісся із похідних ялинових деревостанів (повнота до 0,3) займають 1520,5 га або 1,2%, а з повнотою більше 1,0 – лише 48,7 га або 0,04% від загальної площі похідних ялиників Українських Карпат.

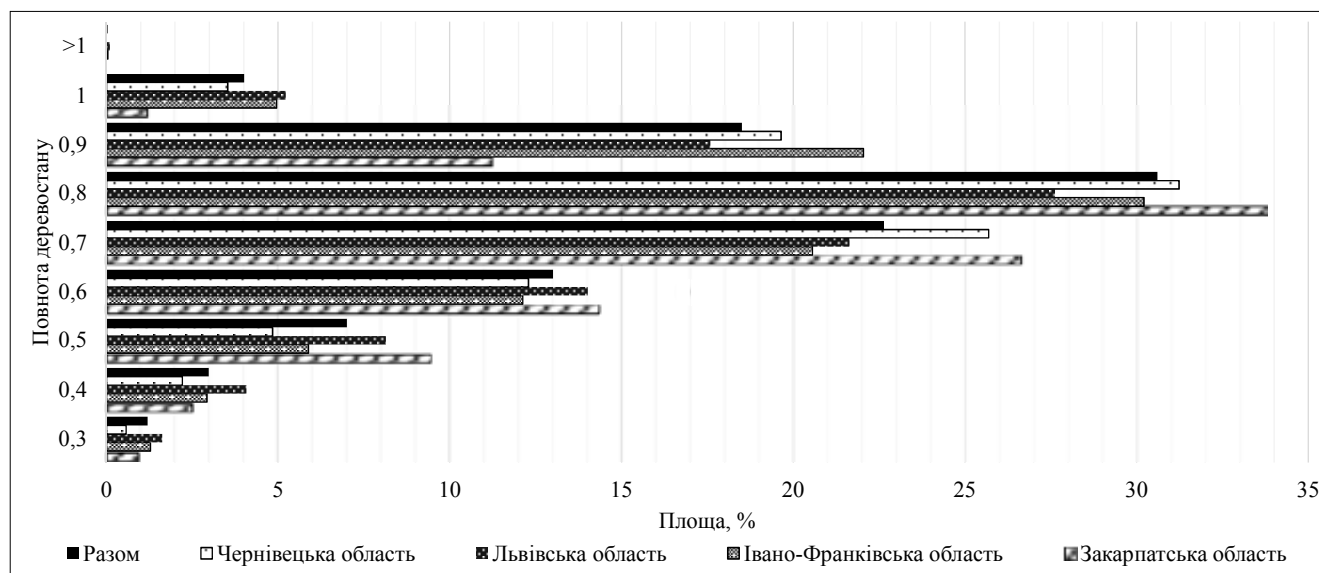


Рис. 4. Розподіл площ похідних ялинових деревостанів Українських Карпат за відносною повнотою

Останніми десятиліттями чітко простежується зниження біотичної та абіотичної стійкості ялиників – властивостей, які характеризують їхню здатність протистояти несприятливим впливам того чи іншого екологічного чинника, та підтримання

стабільності цих екосистем – узагальненої властивості, яка характеризує їхній нормальний розвиток у конкретних екологічних умовах відповідно до генетичної програми (Golubets & Tsaryk, 1992). У науковій лісівничій літературі добре описана дегра-

дація похідних ялинових деревостанів (Krynyskyu, 2005, Krynyskyu & Chernyavskyu, 2014, Parpan et al., 2014, Shparyk, 2017) та вплив цього негативного процесу на зниження рівня виконання лісовою екосистемою середовищевірних функцій, надання послуг лісових екосистем. Окрім цього, результати дослідження Shparyk (2017) засвідчили про значні збитки від всихання ялини, які будуть нести лісогосподарські підприємства Українських Карпат як у короткостроковій, так і довгостроковій перспективах. Відповідно до результатів дослідження, в основних ялинових типах лісу ці збитки становитимуть щорічно близько 7 тис. грн. на 1 га (рис. 5).



Рис. 5. Загальний вигляд всихаючих ялиників у лісовому фонді ДП «Вигодське лісове господарство»

Інтенсивне всихання похідних ялинових деревостанів Українських Карпат, яке за розрахунками науковців охоплює 19300 га із запасом 4,8 млн м³ деревини (Debryniuk, 2011, Parpan et al., 2014), впливає на зміну природної екосистеми, призводить до зменшення лісистості, зниження стабільності й стійкості деревостанів (у т. ч. ялинових), посилення впливу стихійних лих та зменшення біологічного різноманіття (Hlásny et al., 2016). Такий стан негативно впливає і на соціо-економічну систему, адже змінюється продуктивність лісів, спосіб життя лісозалежних громад, ринок праці та сировини, виникають додаткові витрати для лісогосподарських підприємств (Furdychko, 2002). Відтак, суспільство і політики змушені працювати у напрямі зменшення навантаження на гірські лісові екосистеми, раціонально використовувати та відтворювати лісові ресурси.

Узагальнення результатів досліджень науковців, які вивчали стан, причини розладнання та всихання похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах (Hensiruk, 1964, Furdychko, 2002, Krynyskyu, 2005, Slobodiyau, 2012, Krynyskyu & Chernyavskyu, 2014, Parpan et al. 2014, Shparyk, 2017) підтверджують, що для підвищення біотичної стійкості і стабільності, а також продуктивності цих лісових екосистем в Українських Карпатах пріоритетним є застосування рубок переформування – комплексних рубок, спрямованих на поступо-

ве перетворення одновікових чистих у різновікові мішані багаторічні лісові насадження (Lavnyu & Schnitzler, 2014, Pelyukh, 2018). Результати моделювання процесів переформування похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах підтверджують збільшення біологічного різноманіття, стійкості та стабільності цих деревостанів (Pelyukh et al., 2018), а дослідження інтересів та ролей стейкхолдерів у процесі реалізації цього лісогосподарського заходу показали значні вигоди майже всіх із ідентифікованих зацікавлених сторін (Pelyukh et al., 2019). Проте, за матеріалами Івано-Франківського та Чернівецького ОУЛМГ рубки переформування у похідних ялинових деревостанах у лісовому фонді підпорядкованих їм державних лісогосподарських підприємств ще не проводились і в найближчий час не проводитимуться. За матеріалами Закарпатського ОУЛМГ, у 2018 р. рубки переформування похідних ялинових деревостанів виконано лише на площі 1 га з вирубою 11 м³ деревини (на території НПП «Зачарований край»).

За матеріалами Львівського ОУЛМГ, рубки переформування здійснено на площі 756 га із заготовленою 48357 м³ деревини. Такий позитивний досвід відбувся у рамках запровадження системи вибіркового рубок на території підпорядкованих державних лісогосподарських підприємств за активної підтримки Національного лісотехнічного університету України (зокрема, проф. Г.Т. Криницького). Проте саме у похідних ялинових деревостанах рубки переформування не проводились. У 2019 р. було заплановано виконати рубки переформування у похідних ялинових деревостанах на території ДП «Сколівське лісове господарство» на площі близько 10 га.

Висновки. Аналіз таксаційних показників похідних ялинових деревостанів Українських Карпат засвідчив критичний санітарний стан цих лісових екосистем та їхні негативні наслідки для лісогосподарських підприємств регіону досліджень. Загальна площа похідних ялиників на території Українських Карпат становить 126,7 тис. га із загальним запасом деревини 43032,5 тис. м³. Найбільшу площу похідні ялиники займають на території Івано-Франківської та Закарпатської областей – майже 88760 га.

Поряд із низькою біотичною стійкістю, похідні ялинові деревостани відзначаються високою продуктивністю – переважають деревостани I класу бонітету – 89631 га або 70,8% від загальної площі похідних ялиників.

Існує негативний синергетичний вплив зміни клімату на стан, структуру та функціонування похідних ялинових деревостанів Українських Карпат. Обґрунтовано пріоритетність переходу до наближеного до природи лісівництва, зокрема, застосування рубок переформування з метою підвищення біотичної стійкості та стабільності цих деревостанів.

Незважаючи на критичний стан похідних ялиників Українських Карпат, впродовж минулих років лісові господарства регіону майже не

застосовували рубки переформування, що призвело до деградації і всихання ялинових деревостанів на значній площі. Такі розладнані похідні ялинники є найуразливішими до несприятливих біотичних та абіотичних чинників в сучасних умовах посилення антропогенного навантаження та змін клімату.

Рубки переформування дають можливість поступового формування мішаних різновікових ялинових деревостанів. У перспективі такі ліси будуть мати більші біотичну стійкість, біорізноманіття, рекреаційну цінність та краще виконуватимуть середовищно-захисні функції. З цього погляду, мішані різновікові лісостани найкраще поєднують екологічні, економічні та суспільні вимоги щодо ведення сталого багатофункціонального лісового господарства.

References

- Debryniuk, Yu. M. (2011). Dieback of the fir forest: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 21.16, 32-38. <https://cyberleninka.ru/article/n/vsihannyasmerekovih-lisiv-prichini-ta-naslidki/viewer> (in Ukrainian).
- Furdychko, O. (2002). *Carpathian forests: problems of ecological safety and sustainable development of the mountainous region*. Lviv: Biblos (in Ukrainian).
- Grom, M. M. (2005). *Forest assessment: Educational manual*. Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian).
- Hansen, J., Ruedy, R., Glascoe, J., & Sato, M. (1999). GISS analysis of surface temperature change. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 104 (D24), 30997-31022. <https://doi.org/10.1029/1999JD900835>
- Hensiruk, S. A. (1964). *Forests of the Ukrainian Carpathians and their use*. Kyiv: Harvest (in Ukrainian).
- Hlásny, T., Trombik, J., Dobor, L., Barcza, Z. & Barka, I. (2016). Future climate of the Carpathians: Climate change hot-spots and implications for ecosystems. *Regional Environmental Change*, 16 (5), 1495-1506. <https://doi.org/10.1007/s10113-015-0890-2>
- Golubets, M., & Tsaryk, Y. (1992). Sustainability and stability – important features of living systems. *Ukrainian Ecological Bulletin of Oikumen*, 2, 21-26 (in Ukrainian).
- Krynytskyy, H. (2005). Critical situation in spruce forests. *Forest and hunting journal*, 4, 17-19 (in Ukrainian).
- Krynytskyy, H., & Chernyavskyy, M. (2014). *Close to nature and multifunctional forest management in the Carpathian region of Ukraine and Slovakia*. Uzhgorod: PE «Kolo». http://www.forza.org.ua/sites/default/files/closetonureforestry_ukr_web_0.pdf (in Ukrainian)
- Lavnyy, V., & Schnitzler, G. (2014). Experience of conversion cuttings in the spruce forests of Germany. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. Collection of Research Papers*, 12, 73-78 http://www.foresterslearning.eu/storage/%D0%A0%D1%83%D0%B1%D0%BA%D0%B8-%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D1%84%D0%BE%D1%80%D0%BC_%D0%9D%D1%96%D0%BC_%D0%9B%D0%B0%D0%B2%D0%BD%D0%B8%D0%B9.pdf (in Ukrainian).
- Maxton, G., & Randers, J. (2016). *Reinventing prosperity: Managing economic growth to reduce unemployment, inequality and climate change*. Vancouver: Greystone books.
- MEA (Millennium Ecosystem Assessment) (2005). *Ecosystems and Human Well-Being: Synthesis*. Washington: Island Press. <https://www.millenniumassessment.org/documents/document.356.aspx.pdf>
- Pachauri, R. K., Allen, M. R., Barros, V. R. et al. (2014). *Climate Change 2014: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change / R. Pachauri and L. Meyer (editors), Geneva: IPCC.
- 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. <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/127> (in Ukrainian).
- Pelyukh, O. (2018). The essence and economic-legal foundation of secondary Norway spruce stands conversion process in the Ukrainian Carpathians. *Scientific Bulletin of Kherson State University*, 28, 36-41 (in Ukrainian). <http://ejournal.kspu.edu/index.php/ej/article/view/22>
- Pelyukh, O., Fabrika, M., Valent, P., Kuchel, S., & Zahvoyska, L. (2018). Modelling of secondary even-aged Norway spruce stands conversion using the tree growth simulator SIBYLA: SE «Rakhiv Forestry» case study. *Bulletin of the Transilvania University of Brasov. Series II: Forestry-Wood Industry-Agricultural Food Engineering*, 11.2, 29-46. http://webbut.unitbv.ro/Bulletin/Series%20II/Contents_II_2_2018.html
- 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>
- Shparyk, Yu. (2017). Economic results of spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. Collection of Research Papers*, 15, 129-139. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:hMCeENAQEHcJ:194.44.152.155/elib/local/hr2120>

docx+&cd=6&hl=en&ct=clnk&gl=ua&client=firefox-b-ab (in Ukrainian).

Shparyk, Yu. S., Parpan, T. V., Slobodyan, P. Ya., Savchyn, T. I., & Buniy V. Ya. (2013). Parching spruce forests on the north-eastern slope of the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 23.5, 141-147. <https://cyberleninka.ru/article/n/vsihannya-yalinnikov-na-pivnichno-shidnomu-megashili-ukrayinskih-karpat/viewer> (in Ukrainian).

Slobodyan, P. (2012). Condition of natural spruce stands Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 22.10, 45-50. <https://cyberleninka.ru/article/n/problemi-pohidnih-yalinnikov-ukrayinskih-karpat/viewer> (in Ukrainian).

Slobodyan, Ya. M., Shpilchak, T. G., & Slobodyan, P. J. (1999). Influence of microclimate on the development of foci of drying up of the Carpathian spruce forests. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 9, 193-197 (in Ukrainian).

Stanners, D. & Bourdeau, P. (Eds.). (1995). *Europe's environment: the Dobris assessment* (pp. 261-296). Copenhagen: European Environment Agency. Copenhagen. <http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:-gZ4egVisZ4J:www.aughty.org/pdf/dobris.pdf+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=ua&client=firefox-b-ab>

TEEB (The Economics of Ecosystems and Biodiversity) (2010). *Ecological and Economic Foundations*. P. Kumar (Ed.). London and Washington: Earthscan. http://webcache.googleusercontent.com/search?q=cache:E0qUM_oq1QJ:www.biodiversity.ru/programs/international/teeb/materials_teeb/TEEB_SynthReport_English.pdf+&cd=3&hl=en&ct=clnk&gl=ua&client=firefox-b-ab

Werners, S. E., Bos, E. J., Civic, K., Hlásny, T., Hulea, O., Jones-Walters, L. M., ... Velde, I. (2015). *Climate change vulnerability and ecosystem-based adaptation measures in the Carpathian region: final report-Integrated assessment of vulnerability of environmental resources and ecosystem-based adaptation measures* (No. 2572). Alterra, Wageningen-UR. <http://edepot.wur.nl/351036>

Zahvoyska, L. & Pelyukh, O. (2016). DPSIR-model of interaction between social and ecological systems: phenomenon of spruce stands drying in Ukrainian Carpathians. *Odessa National University Herald. Economy*, 8 (50), 82-88. <http://visnyk-onu.od.ua/index.php/uk/arkhiv-vidannya?id=153> (in Ukrainian).

Распространение и анализ состояния производных еловых древостоев Украинских Карпат

В. В. Лавный¹, О. Р. Пелюх²

Установлено негативное синергетическое воздействие изменений климата и усиления антропогенной нагрузки на состояние, структуру и функционирование производных еловых древостоев Украинских Карпат. Проведенный ретроспективный анализ процесса функционирования этих лесных экосистем показал, что ожидаемый экономический эффект от создания чистых еловых древостоев не оправдал себя и привел к крупномасштабному усыханию и отмиранию еловых насаждений.

Выполненный анализ состояния и динамики производных еловых древостоев Украинских Карпат показал критическое состояние этих лесных экосистем и их негативное влияние на экономическое положение лесохозяйственных предприятий региона. Общая площадь производных ельников на территории Украинских Карпат составляет 126678,1 га с общим запасом древесины 43032,5 тыс. м³. Наибольшую площадь производные еловые древостои занимают на территории Ивано-Франковской – 60514,8 га (47,8% от общей площади производных еловых древостоев), а наименьшую – в Черновицкой (13155,1 га или 10,4%) областях. Средний запас производных ельников составляет 340 м³·га⁻¹. По запасу древесины распределение производных еловых древостоев по группам возраста выглядит следующим образом: 32,9% запаса формируют спелые насаждения, 27,5 – приспевающие, 21,4 – средневековые, 16,8 – перестойные и только 1,4% запаса формируют молодняки. Средний возраст производных еловых древостоев Украинских Карпат составляет 56 лет.

Среди типов леса производные еловые древостои на территории Украинских Карпат чаще всего встречаются во влажных елово-буковых супихтачах, где их площадь составляет 47537,3 га или 37,5% от общей площади производных еловых древостоев. Значительное количество производных ельников сформировалась также во влажных елово-буковых пихтачах – 17761,2 га (14,0%). Производные еловые древостои отличаются высокой производительностью – наибольшую площадь занимают древостои I класса бонитета – 89631 га (70,8% от

¹ Лавный Василий Владимирович – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, проректор по научной работе. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.+38-098-859-72-07. E-mail: lavnyu@gmail.com ORCID: 0000-0003-2069-9026.

² Пелюх Оксана Романовна – магистр экономики окружающей среды и природных ресурсов, аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-096-748-82-70; E-mail: pelyukh.o@ukr.net ORCID: 0000-0002-1889-3623

общей площади). В регионе исследований преобладают высокополнотные производные еловые древостои (полнота 0,8-1,0), площадь которых составляет 67302,2 га (53,1%). Среднеполнотные древостои (полнота 0,6-0,7) занимают площадь 45160,7 га (35,7%), низкой полноты (полнота 0,4-0,5) – 12646,0 га (10,0%). Редколесья производных еловых древостоев (полнота до 0,3) составляют 1520,5 га (1,2%), а с полнотой более 1,0 – только 48,7 га (0,04%).

Для решения проблемы прогрессирующего усыхания еловых насаждений необходимо осуществлять мониторинг лесных экосистем, интегрировать в практику ведения лесного хозяйства основы приближенного к природе лесоводства. В частности, для повышения биотической устойчивости, стабильности и биоразнообразия производных еловых древостоев необходимо шире применять рубки перестройки лесов. На основе отчетности областных управлений лесного и охотничьего хозяйства региона Украинских Карпат установлено, что государственные лесохозяйственные предприятия пока в недостаточном объеме применяют рубки перестройки. Следовательно, вопрос локализации и предотвращения усыхания производных еловых древостоев все еще остается актуальным.

Ключевые слова: (*Picea abies* L. [Karst.]); производные ельники; лесоведение; лесоводство; рубки перестройки; Карпатский регион.

Distribution and analysis of the state of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians

V. Lavnyy¹, O. Pelukh²

The negative synergistic impact of climate change and the increase of anthropogenic pressures on the state, structure and functioning of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians have been established. A retrospective analysis of the functioning of these forest ecosystems showed that the expected economic effect of creating pure spruce stands did not justify itself and led to large-scale drying and dying of spruce plantations.

¹ *Vasyl Lavnyy* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Vice Rector for Research, Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-098-859-72-07. E-mail: lavnyy@gmail.com ORCID: 0000-0003-2069-9026

² *Oksana Pelyukh* – Master of Environmental and Natural Resource Economics, PhD student of the Department of Ecological Economics, Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-096-748-82-70; E-mail: pelyukh.o@ukr.net ORCID: 0000-0002-1889-3623

The performed analysis of the state and dynamics of secondary spruce stands of the Ukrainian Carpathians showed the critical situation of these forest ecosystems and their negative impact on the economic condition of the forestry enterprises of the region. The total area of secondary spruce stands on the territory of the Ukrainian Carpathians is 126678.1 hectares with a total growing stock of 43032.5 thousand m³. Secondary spruce stands occupy the largest area on the territory of Ivano-Frankivsk region – 60514.8 ha (47.8% of the total area of secondary spruce stands) and the smallest – in Chernivtsi region – 13155.1 ha (10.4%). The average growing stock of secondary spruce trees is 340 m³/ha. According to the distribution of secondary spruce stands in the age groups it is as follows: 32.9% of the growing stock is formed by the mature plantations, 27.5% – by the premature forest stands, 21.4% – by the middle aged, 16.8% – by the over mature and only 1.4% of the growing stock form young stands. In general, the average age of secondary spruce stands of the Ukrainian Carpathians is 56 years.

Among the forest types, secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians most often occur in the wet beech-spruce-silver fir forests on relative rich soils, where their area is 47537.3 ha (37.5% of the total area of secondary spruce stands). A significant number of secondary spruce stands were formed also in the wet beech-spruce-silver fir forests on rich soils – 17761.2 ha (14.0%). Secondary spruce stands have the high productivity – the largest area is occupied by the first site class of forest stands – 89631 ha (70.8% of the total area). In the study region dominate secondary spruce stands with the high stand density (0.8-1.0), the area of which is 67302.2 ha (53.1%). The stands with the middle stand density (0.6-0.7) cover an area of 45160.7 ha (35.7%), and the stands with the small stand density (0.4-0.5) 12646.0 ha (10.0%). Secondary spruce stands with the stand density up to 0.3 are 1520.5 hectares (1.2%), and more than 1.0 – only 48.7 hectares (0.04%).

It is established that in order to solve the problem of drying up of spruce plantations, it is necessary to monitor forest ecosystems and integrate into the forest management practices the principles of close-to-nature silviculture. In particular, to increase the biotic stability, sustainability and biodiversity of secondary spruce stand, it is necessary to apply more extensive conversion cuttings. Based on the reports of the regional forestry and hunting administrations in the Ukrainian Carpathian region, it is found that state forestry enterprises are still under-utilizing the conversion cuttings. Therefore, the issue of localization and prevention of secondary spruce stands still remains relevant.

Key words: (*Picea abies* L. [Karst.]); secondary spruce stands; forest ecology; silviculture; conversion cuttings; Carpathian region.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411928>
Article received 2019.03.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Viktor Tkach
Tkach@uriffm.org.ua
Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine

УДК 630*187 : 630*22

От создания классификации лесов как экосистем до формирования украинской школы лесной типологии (к 150-летию со дня рождения А. А. Крюденера)

В. П. Ткач¹, Е. С. Мигунова²

Понятие леса, как единства насаждения, климата и почвогрунта, т.е. как экосистемы впервые было определено А. А. Крюденером. Ученый разработал классификацию лесов по плодородию почвогрунтов, на которых они произрастают, в координатах их обеспеченности элементами питания и влагой. А. А. Крюденер предложил первую экологическую классификацию лесов Европейской России по принципу районирования ее территории по основным климатическим показателям, с последующим разделением лесов в пределах климатических зон и областей на типы насаждений по особенностям петрографического состава и водного режима почвогрунтов.

Определяющую роль в формировании типов насаждений внутри однородных в климатическом отношении территорий А. А. Крюденер, как и Г. Ф. Морозов, отводил почвенно-грунтовым условиям, подчеркивая при этом, что основополагающим фактором является не собственно почва как таковая, а почва как субстрат, как среда произрастания растений. Ученым, в процессе массового изучения почв разных типов леса, была выявлена тесная связь характера лесной растительности не с генетическими типами почв, а с их плодородием, с их лесорастительным потенциалом. При этом для оценки плодородия почв А. А. Крюденер использовал новый подход – метод фитоиндикации, то есть критерием качества почв им принята растительность, ее состав и производительность.

Суммарным показателем плодородия среды является количество, соотношение и распределение по сезонам года лимитированных экологических ресурсов – тепла, влаги и пищи. Лесотипологические классификационные модели построены в координатах этих ресурсов – климатическая сетка в координатах тепла и атмосферного увлажнения, эдафическая – в координатах пищи и влаги почвогрунтов. Поэтому они применимы не только для классификации лесов, но и природы в целом.

Охарактеризованы также основные достижения и вопросы сформировавшейся на этих принципах украинской экологической школы лесной типологии. Отмечены имеющиеся проблемы, требующие дальнейшего решения.

Ключевые слова: лесная типология; экология; природа; классификация; насаждения; климат; почвогрунты; плодородие.

¹ Ткач Виктор Петрович – академик Лесной академии наук Украины, член-корреспондент НААН Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, директор. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: (057) 704-10-02. E-mail: Tkach@uriffm.org.ua

² Мигунова Елена Сергеевна – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, главный научный сотрудник. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: (057) 707-80-71. E-mail: migunova-e-s@yandex.ua

Вступление. Артур Артурович Крюденер – крупный государственный деятель России начала XX века, руководитель Лесного отдела Удельного управления, в ведении которого находилось более 7 млн га лучших лесных массивов России, принадлежавших царской семье, в том числе Беловежская пуца. В подведомственных ему лесах А. А. Крюденер вел очень интенсивное лесное хозяйство, начиная от детального лесоустройства до главных рубок. Наши известные лесоводы – акад. А. Б. Жуков и первый заведующий отделом лесных культур ВНИИЛМ'а П. П. Кожевников с гордостью вспоминали, что их отцы трудились под началом А. А. Крюденера.

В связи с тем, что имя этого выдающегося отечественного лесовода, эмигрировавшего в 1918 г. в Германию, долгие годы было предано забвению и потому недостаточно широко известно, мы приводим некоторые данные его биографии. Артур Артурович (позже в Германии – Артур Фрейгер) Крюденер родился 23 февраля 1869 г. в поместье Ружен-Гроссхоф бывшей Лифляндии (ныне Эстония). Он происходил из знатной немецкой семьи, в течение многих поколений жившей в России и имевшей титул баронов, дарованный им Екатериной II. Представители этой семьи были крупными юристами, дипломатами, военачальниками. Артур Артурович избрал другую карьеру. Всю свою большую и сложную жизнь он посвятил служению горячо любимому им лесу. В 1894 г. он закончил Петербургский лесной институт и несколько лет работал таксатором в лесах России, многие из которых ранее никогда не обследовались. Впоследствии он писал: «От русского лесовода требуется не только весьма солидная естественно-научная подготовка, но и большой запас физических сил и редкое здоровье в борьбе со всеми невзгодами стихии и климата, в борьбе с теми лишениями, которые он среди лесной глуши испытывает на каждом шагу; от него требуется также сила духа и воли, железная энергия и главное – любовь и преданность своему делу» [7, с. 5].

В 1901 г. А. А. Крюденер становится лесничим Петербургского удельного округа. Период работы в Управлении уделов (1901-1918 гг.), в ведении которого находились огромные сельскохозяйственные и лесные массивы в разных частях России, был очень плодотворным как для служебной карьеры, так и для научной деятельности А. А. Крюденера. Он руководил крупными лесоустроительными партиями, а в 1904-1910 гг. организовал и провел беспрецедентные по масштабам работы по составлению первых русских объемных и сортиментных таблиц, таблиц сбежистости и формы стволов всех основных древесных пород Европейской России. Группа специалистов под его руководством заложила в эти годы более 6 тысяч пробных площадей в лесах разных регионов России и обработала более 108 тысяч (!) модельных деревьев. Результаты этих работ опубликованы в двадцати выпусках (Krüdenner, 1908-1913). В каждом выпуске имеется очень содержательная характеристика древесной породы,

которой он посвящен. Современники называли этот труд *историческим*. За него Крюденер получил высший в России гражданский чин *действительного тайного советника*, соответствующий воинскому званию маршала. Несколькими годами позже ему было поручено управление всеми лесами Удельного ведомства.

Результаты исследования. С первых лет производственной деятельности А. А. Крюденера ярко проявились его научные интересы. Ими были экология леса, изучение жизни леса во всем ее многообразии, обусловленном факторами внешней среды. А. А. Крюденер познакомился и подружился с проф. Г. Ф. Морозовым, который был вдохновителем и автором *идеи типов насаждений*. Эта идея сразу увлекла А. А. Крюденера. Он собрал огромный материал сопряженного изучения лесов разных типов и их почв. В отличие от большинства лесоводов того времени, рассматривавших типы насаждений как сугубо хозяйственные единицы, А. А. Крюденер подошел к их выделению с широкими теоретическими позициями. Еще до выхода в свет известной статьи Г. Ф. Морозова о типах насаждений (Morozov, 1904), А. А. Крюденер определил их как «сумму всех факторов, дающих понятие об известном лесе, в том числе климат, почвы, инсоляцию, определяющие состав насаждений, условия возобновления и характер ведения лесного хозяйства» (Krüdenner, 1903, p. 1440), что свидетельствовало о понимании им типа насаждения как лесной экосистемы. Позже он дал удивительно четкое как по смыслу, так и по форме классическое определение типа насаждения как экосистемы, выделив *три фактора – климат, почвогрунт и растительное сообщество*, – «которые, будучи связаны вместе, дают нам понятие о типе насаждения» [7, с. 23]. К сожалению, термина, определяющего в целом это единство живой и косной компонент природы, подобного *экосистеме* Tansley (1935) Крюденер не предложил, отнеся тип насаждения, как и Морозов, к географическому понятию – *элементарному ландшафту* (Krüdenner, 1926).

В 1901 г. А. А. Крюденер вступил в Петербургское отделение Лесного общества и в течение многих лет был одним из наиболее активных его членов. Он часто выступал на заседаниях общества, нередко читая доклады, богато иллюстрированные таблицами, фотографиями, гербарием, перед огромной по тем временам аудиторией – до 130-150 человек, тогда как обычно на заседаниях общества присутствовало 20-30 человек.

Основное внимание в своих исследованиях А. А. Крюденер сосредоточил на изучении влияния почвенно-грунтовых условий на состав и продуктивность лесов. В его первой публикации (Krüdenner, 1903) дана бонитировка лесных почв с выделением их классов по отношению к росту сосны в зависимости от условий увлажнения, и приведены списки растений напочвенного покрова, характерных для этих классов, – *сухих, свежих, влажных, сырых и болотистых*. По убеждению автора, эти растения

весьма достоверно отражают плодородие почв, их физические свойства и влажность.

Наиболее злободневным вопросом нового учения о типах насаждений была разработка их классификации. Решения этого вопроса ждали от Г. Ф. Морозова. Будучи приверженцем идей В. В. Докучаева, Г. Ф. Морозов попытался положить в основу классификации типов насаждений генетические типы почв (Mogozov, 1913). Однако эта попытка успехом не увенчалась. А. А. Крюденер в вопросах классификации лесов пошел другим путем – путем обобщения многовекового опыта сельского и лесного населения России, издавна разделявшего леса в зависимости от их состава и местоположения на ряд типов и давшего этим типам весьма образные названия – *боры, рамени, дубравы, ольсы* и др. В течение 25 лет он по крупницам собирал эти знания в разных районах России. Многие русские лесоустроители высоко ценили народные лесоводственные знания и термины, но только А. А. Крюденеру удалось наиболее полно обобщить народный опыт и создать на его основе единую классификацию лесов Европейской России, опубликованную им в монографии «*Основы классификации типов насаждений и их народнохозяйственное значение в обиходе страны*». Два ее тома вышли в выпусках «Материалов по изучению русского леса» (1916-1917), являвшихся бесплатным приложением к «Лесному журналу», редактировавшемуся в те годы Г. Ф. Морозовым. Третий том, который должен был содержать описания наиболее богатых типов леса (раменей, дубрав), к сожалению, не увидел света. В 1918 г. А. А. Крюденер был вынужден эмигрировать. Сначала он с семьей выехал в Финляндию, оттуда в Швецию, затем в Германию.

Трудно сложилась жизнь ученого за границей. В течение нескольких лет он в качестве лесного рабочего, а затем мастера-взрывника корчевал пни в лесах, вырубленных в период Первой Мировой войны, занимался другими временными работами. Знание нескольких иностранных языков позволило ему заняться реферированием научных журналов (1923-1926 гг.). Лишь спустя 10 лет, в 1928 г., он получил место специалиста-почвоведом, а позже – советника по благоустройству улиц и инженерно-биологическим вопросам.

Многие годы А. А. Крюденер пытался продолжить в Германии работы лесотипологического плана, начатые в России. Ему удалось переиздать там сокращенный вариант своей монографии (Krüdenner, 1927) и опубликовать ряд статей, в которых он излагал основы своей классификации с использованием русских народных названий типов леса. В одной из его первых статей, опубликованных в Германии, дан развернутый анализ природоведческих знаний «людей природы», жителей северных лесных районов России, обладавших значительным объемом сведений о своем климате, почвах, растительности и глубоко понимавших существующие между ними взаимосвязи. Мы переиздали эту часть работы (Krüdenner, 2008).

Однако русская типологическая классификация не получила распространения в Западной Европе, где леса сильно изменены человеком. Тем не менее, ряд более поздних работ А. А. Крюденера, касающихся выявленных им значительных потерь прироста древесины в связи с неполным использованием ресурсов их местообитаний чистыми культурами ели, способствовал формированию у немецких лесоводов представлений о местообитании как основе практического лесоводства. Он создал также Лесной отдел в Мюнхенском природоведческом музее, к сожалению, уничтоженный в годы войны. На его центральной экспозиции была размещена серия типов леса в виде экологического ряда от низкобонитетных сосняков к сложным смешанным высокопродуктивным насаждениям, а далее – к низкобонитетным чистым ельникам, с почвенными монолитами разных типов. Ранее в Петербурге он также создал Музей леса. В нем были представлены монолиты почв разных типов леса, гербарий лесных растений, сотни фотографий, в том числе цветных.

В последующие годы, в связи со спецификой своей трудовой деятельности, А. А. Крюденер занялся исследованиями на стыке биологии и инженерии, вопросами применения биологических и лесохозяйственных методов при закреплении оврагов и откосов, строительстве дорог, водохранилищ и др. В Германии он считается родоначальником новой научной отрасли – *инженерной биологии*, с помощью которой решаются проблемы охраны природы в союзе с техникой. Его монография «*Engineering Biologie*» (Инженерная биология) вышла в свет в год смерти автора – в 1951 году. Всего же в Германии А. А. Крюденер опубликовал более 150 работ, в т.ч. 60 типологических очерков и 10 монографий. Среди последних, два тома воспоминаний о России с поэтическим названием «*Unendliche Weiten*» (Бескрайние просторы). Присланный нам родными А. А. Крюденера список его трудов, опубликованных в Германии, приведен в статье М. Д. Мерзленка (Merzlenko, 2001). Следует заметить, что все эти работы написаны А. А. Крюденером в возрасте более 60 лет. Лесной институт в Эберсвальде присвоил ему звание почетного доктора. Однако, работая без отдыха до глубокой старости, ученый так и не смог получить пенсии. Скончался А. А. Крюденер 5 ноября 1951 г. в Мюнхене.

В ряде журналов, в том числе в Международном лесном журнале, были помещены некрологи, написанные видными немецкими лесоводами. Из некролога К. Рубнера (1952) мы почерпнули большую часть сведений о жизни А. А. Крюденера, поскольку автор пользовался его автобиографическим очерком. Из этого очерка, так же как и из публикаций самого А. А. Крюденера, следует, что он до последних дней оставался экологом в русском, морозовском значении этого слова. Он всегда подчеркивал, что родился и в течение четверти века работал в России, которую изъездил «от тундры у Ледови-

того океана и девственных лесов Севера до степей Туркестана и снежных вершин Кавказских гор». Его родные сообщили нам, что А. А. Крюденер всегда чувствовал себя связанным с Россией, служению которой он отдал лучшие годы своей жизни. В России же был создан главный его труд «*Основы классификации типов насаждений*», в котором он предложил первую в истории науки сопряженную классификацию лесов и почвогрунтов, *классификацию лесных экосистем*.

А. А. Крюденер начал разрабатывать типологическую классификацию лесов, ломая все утвердившиеся в научном познании классификационные каноны. В естественных науках с начала их развития утвердился выдвинутый Э. Кантом и поддержанный другими философами принцип, по которому классификация объектов разных наук должна основываться на свойствах самих этих объектов, на их так называемых «внутренних» свойствах. Этот краеугольный классификационный прием, вполне естественный и законный при систематизации автономных объектов, настолько прочно укоренился, что трудно представить, какие причины могли бы побудить профессионального ученого его нарушить. Однако в естественных науках этот прием практически полностью закрывает или во всяком случае крайне затрудняет возможности выявления существующих между разными природными факторами многообразных взаимосвязей, познание единства природы. В противоположность издавна идущей и все усиливающейся дифференциации, дробления и специализации естественных наук, в народе сформировалось и утвердилось синтетическое восприятие природы в единстве и тесной соподчиненности всех слагающих ее компонентов. Эти народные представления для А. А. Крюденера, на протяжении многих лет собиравшего их так, как собирают сказания, былины, явились основой, на которой он создал свою классификацию.

Так же, как и Г. Ф. Морозов, А. А. Крюденер отводил определяющую роль в формировании типов насаждений внутри однородных в климатическом отношении территорий почвенно-грунтовым условиям. Характеристика почвогрунтов и почвенно-грунтовых условий (А. А. Крюденер разделял эти два понятия, последнее шире, с учетом особенностей рельефа и условий увлажнения) дается им на основе всех последних достижений молодой тогда науки – генетического почвоведения. В то же время описания А. А. Крюденера очень самобытны, поскольку во главу угла им ставилась *не собственно почва как таковая, а почва как субстрат, как среда произрастания растений*.

В процессе предпринятого ученым массового изучения почв разных типов леса, которое он вел на протяжении многих лет, была выявлена тесная связь характера лесной растительности не с генетическими типами почв, а с их *плодородием*, с их *лесорастительным потенциалом*. Уже в своей первой публикации (Krüdenner, 1903) ученый очень убедительно показал значение условий увлажнения

для роста сосновых насаждений, определяющих их бонитет, их продуктивность. При этом он выделил ряд видов растений, позволяющих оценивать уровень обеспеченности почв влагой (от сухих до заболоченных), предприняв новый прием оценки качества почв – *метод фитоиндикации*. Позже им была установлена связь характера лесов с обеспеченностью почвогрунтов питательными веществами, обуславливающая, вследствие разной требовательности к ним древесных пород, разный состав насаждений.

Оценивая качество почв как поставщика элементов питания, ученый так же, как издревле землепашцы, ставит на первое место *механический, точнее петрографический (породный) состав грунтов*, из которых они образовались, поскольку существует тесная связь между механическим и минералогическим составом пород, а, следовательно, и их химическим составом: с утяжелением механического состава в них возрастает содержание всех элементов питания растений, отсутствующих в крупных песчаных фракциях. Эта связь очень жестко прослеживается повсеместно, в разных регионах, хотя она не абсолютна, и среди наиболее потенциально плодородных А. А. Крюденер выделил породы разного механического состава, богатые фосфором и калием, – *силурийские известняки, юрские глауконитовые пески, девонские глины*.

Характеризуя условия водообеспеченности, которым А. А. Крюденер отводил определяющую роль в жизни леса, он прежде всего учитывал положение в рельефе и степень дренированности территорий, глубину залегания и режим подвижности (проточности) грунтовых вод. Хорошим показателем условий увлажнения и питания насаждений на разных почвогрунтах ученый считал характер верхнего гумусового горизонта почв – мощность лесной подстилки, степень разложенности органического вещества, тип гумуса (кислый, нейтральный, сладкий) или торфа. На использовании этих показателей, а, именно, петрографического состава почвогрунтов, определяющего содержание в них элементов питания и хорошо отражаемого механическим составом, положения в рельефе, степени дренированности (глубины залегания и режима грунтовых вод), характера верхнего гумусового горизонта и создает А. А. Крюденер свою классификацию почвогрунтов, подразделяя их на типы *не по строению профиля, по которому определяются их генетические типы, а по различиям состава и продуктивности произрастающих на них насаждений*. Растительность, принята Крюденером как критерий качества почв, причем обязательно не только ее *состав*, но и *продуктивность*. Заметим, что лесоводы морозовского периода чаще использовали термин «почвогрунты», а не «почвы» не только потому, что древесные растения имеют заглубленные корневые системы, но и потому, что хорошо понимали, какое большое значение для почв имеют породы, из которых они сформировались.

Для типов почвогрунтов и лесов на них ученый сохранил народные названия (бор, суборь, рамень, согра и др.), которыми широко пользовались типологи морозовского периода. Но в его классификации эти типы размещены в строгой системе – *по нарастанию богатства и увлажнения субстрата*. Так появился координатный принцип оценки качества почвогрунтов по двум главным составляющим их плодородия – *обеспеченности элементами питания и влагой*, – ставший основой характеристики местообитаний во всех последующих классификационных построениях лесных типологов морозовской школы. Принцип обязательного одновременного учета двух факторов плодородия – пищи и влаги – настойчиво пропагандировали П. А. Костычев и В. Р. Вильямс. Обратим внимание на тот факт, что координатный принцип классификации А. А. Крюденер воспринял от Н. М. Сибирцева, создавшего классификацию почв в координатах их генетических типов и петрографических групп (от глин до песков) (Sibirtsev, 1951).

Классификационная таблица А. А. Крюденера состоит из двух частей. В верхней части (А) выделены три больших группы земель, существенно различающихся по степени и режиму увлажнения, а именно: *суходолы, поймы и заболоченные земли*. В этой же части, в зависимости от условий увлажнения и дренажа, указаны типы почв по характеру их гумусированности (нейтральный, кислый перегной, торф). В нижней части (В) дано деление почвогрунтов (субстратов) по петрографическому составу и степени увлажнения. Придавая определяющую роль влаге, Крюденер выделил 15 групп почвогрунтов по их влажности (степени увлажнения и характеру дренажа), в том числе *5 суходольных, 3 пойменных, 7 разной степени заболоченности*. По петрографическому составу субстратов выделено 7 групп: *3 однокорпусных (пески, супеси и суглинки) и 4 двухкорпусных, двучленных* (пески, подстилаемые суглинками и др.). Фрагмент этой части классификации приведен в таблице. Он прекрасно раскрывает главный ее принцип: рассматривая растительность как «отражение» субстрата, А. А. Крюденер разделяет почвогрунты на типы не по их особенностям, не по их «внутренним» свойствам, а по приуроченности к ним разных типов насаждений, состав и продуктивность которых обусловлены тем или другим уровнем их плодородия.

Особенно глубоко, как нам представляется (как никем ни до, ни после А. А. Крюденера), охарактеризованы в этом отношении почвогрунты. Здесь и значение почвенного климата, и закон минимума питательных солей и допустимого максимума вредных веществ, и характер круговорота веществ в процессе жизнедеятельности растительности и токов влаги, и роль тления, гниения и других микробиологических процессов в «кипучей» жизни почв. В данном случае безусловно имел значение тот факт, что в Лесном институте А. А. Крюденер слушал лекции П. А. Костычева, рассматривавшего почвы прежде всего как среду обитания растений. Очень

оригинально данное А. А. Крюденером определение производительности почв – *потенциальной*, как богатых элементами питания, но недостаточно обеспеченных водой и воздухом, и *актуальной*, при наиболее гармоничном сочетании воды и воздуха. Серьезное внимание уделено вопросам бережного отношения к природе («лесовод не хищник, девиз которого “после меня хоть потоп”»), в том числе необходимости учета разной устойчивости почвогрунтов, в частности «хрупкости» песчаных массивов, и значения болот как накопителей влаги и нецелесообразности в связи с этим их широкого осушения.

Очень большую ценность представляет лесохозяйственный аспект монографии, второй ее книги, изданной в 1917 году. Автор детально охарактеризовал в ней древостои разных типов и их вариации в зависимости от рубок, пожаров, выпаса скота, нападения вредителей. Даны подробные таксационные описания типичных типов насаждений в разных зонах и областях. Практическая направленность работы проявляется при анализе смен пород под влиянием рубок и стихийных факторов. Даются дифференцированные рекомендации по проведению рубок в разных типах леса с тем, чтобы повысить надежность естественного возобновления. Для каждого типа леса указаны его примерная стоимость для налогового обложения и пути наиболее рационального использования, в том числе в плане сельскохозяйственного освоения – под пашни, сенокосы, выпасы.

Классификационное построение А. А. Крюденера представляет первый опыт сопряженной классификации лесов и их местообитаний, *лесов и лесообразователей – климата* (классификации почвогрунтов предпослано первое лесорастительное районирование Европейской России, разработанное А. А. Крюденером) и *почвогрунтов*, – создающих в природе сложные единства, получившие позже название *экосистем* (см. табл.). Это совершенно новый тип классификации, основной принцип которого – классификация лесов по факторам среды, их формирующих, – почерпнут в народной среде («*каков грунт земли, таков и лес*»). Выделение ведущих признаков почвогрунтов – состава субстрата и уровня увлажнения, – положенных в основу классификации, и принцип ее построения – система координат – позволили привести в строгую систему все разнообразие насаждений лесной зоны – от чисто сосновых древостоев на бедных песчаных землях (боры) до раменей и дубрав (грудов) на богатых суглинках. Эти крупные обобщения явились результатом того, что А. А. Крюденеру удалось очень умело объединить многовековой народный опыт с новейшими достижениями лесоводства и почвоведения.

Заканчивая анализ исследования А. А. Крюденера подчеркнем, что он предложил первую экологическую классификацию лесов Европейской России по принципу районирования ее территории по основным климатическим показателям, с последующим разделением лесов в пределах

климатических зон и областей на типы насаждений по особенностям петрографического состава и водного режима почвогрунтов. Леса на породах одного минерального состава (например, боры на кварцевых песках) в разных зонах выделены им как географические формы одного типа. Это одно из наиболее крупных научных достижений ученого, первым показавшим, что в разных природных зонах на близких по потенциальному плодородию поверхностных отложениях формируются *аналогичные* местообитания (почвогрунты) и *аналогичные* типы растительных сообществ. На этом основании А. А. Крюденер отнес зональные типы тайги и лесостепи – рамени (сложные ельники) и дубравы – к одному типу, чего в свое время не смог воспринять даже Г. Ф. Морозов. Будучи руководителем Лесного отдела Управления уделов, в ведении которого находилось более 7 млн га лучших лесных массивов России, и проводя большие работы по их лесоустройству, А. А. Крюденер способствовал тому, что его классификация начала быстро внедряться в производство. Заметим, что экологическая сущность классификационных

построений А. А. Крюденера никогда ни кем не отмечалась. Более того, В. Н. Сукачев жестко критиковал этот классификационный прием за то, что он основывается не на признаках, присущих растительным сообществам, а на внешних по отношению к ним.

Однако бурный *морозовский этап* развития лесной типологии, во время которого работал А. А. Крюденер, был остановлен 1-ой Империалистической войной и революционными событиями. Когда в середине 1920-х годов начали разворачиваться широкомасштабные работы по инвентаризации лесов СССР и лесоустройству, положение в лесной науке было совсем другим. Г. Ф. Морозов в 1920 г. умер, А. А. Крюденер эмигрировал. Его классификация была изъята из употребления и заменена ботанической, точнее фитоценотической (от фитоценоз – растительное сообщество) классификацией Каяндера-Сукачева, не опирающейся на среду и почвогрунты (Cajander, 1909, Sukachev, 1972), как классификации Г. Ф. Морозова и А. А. Крюденера. Ряд крупных лесничих в знак протеста подали тогда прошения об отставке.

Таблица

Главные типы почвогрунтов и типичные почвенно-грунтовые условия в зависимости от увлажнения, доступа воздуха и характера верхнего слоя растительной почвы, дающие при наличии известного древостоя определенные типы насаждений (Krüdenner, 1926) (с сокращениями)

Петрографическая группа (субстрат)	Гигрометрическая группа					
	I					II
	Суходольные типы надлуговых террас					Припойменный тип
	По минеральному субстрату разных степеней опозоленности					
	1	2	3	4	5	6
<i>Одноярусные:</i> Песчаные Боры	Сухой бор	Свежий наземистый бор	Свежий бор кисло-перегонный	Влажный бор кисло-перегонный	Влажный наземистый бор	Илистый бор
Супесчаные Субори		Свежая наземистая суборь (грудовая)	Свежая суборь	Влажная суборь	Влажная наземистая суборь (грудовая)	Илистая суборь
Суглинистые Рамени		Свежая наземистая рамень (груд)	Свежая рамень	Влажная рамень	Влажная наземистая рамень (низкий груд)	Илистая рамень (грудовый олес)
<i>Двухъярусные:</i> сурамени		Свежая наземистая сурамень	Свежая сурамень	Влажная сурамень	Влажная наземистая сурамень	Илистая сурамень
Мелкие боры, субори		См. выше	См. выше	См. выше	См. выше	См. выше
Мелкие рамени на каменном субстрате		См. выше	См. выше	См. выше	См. выше	См. выше
Мелкая рамень на песчанистом субстрате		См. выше	См. выше	См. выше	См. выше	См. выше

Продолж. табл.

Петрографическая группа (субстрат)	Гигрометрическая группа								
	II			III					
	Припойменный тип			Типы, как результат постепенного заболачивания					
	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Одноярусные: Песчаные Боры	Лог	Пойма	Трясина	Подборье				Бор надболотный	Сырой бор
Супесчаные Субори				-''-				Суборь надболотная	Сырая суборь
Суглинистые Рамени				Подрамень	Согра			Рамень надболотная	Сырая рамень
Двухъярусные: сурамени				-''-	Пендус (боровая, раменный)	Сумшара (боровая, раменная)	Мшара (боровая, раменная)	Сурамень надболотная	Сырая сурамень
Мелкие боры, субори				См. выше				См. выше	См. выше
Мелкие рамени на каменном субстрате	-''-	-''-	-''-	-''-				-''-	-''-
Мелкая рамень на песчаном субстрате	-''-	-''-	-''-	-''-				-''-	-''-

Благодаря усилиям Г.Н. Высоцкого, классификация А.А. Крюденера сохранилась в Украине как классификация Е.В. Алексеева, использовавшего разработки А.А. Крюденера после переезда из Петербурга в Киев и создавшего на их основе сокращенный вариант его классификации применительно к украинским лесам (Alekseev, 1925). Ученик Г.Н. Высоцкого П.С. Погребняк, продолжая подходы Е.В. Алексеева, в процессе работ организованной Г.Н. Высоцким исследовательской партии, преобразовал центральный фрагмент таблицы А.А. Крюденера в очень удобную компактную классификационную модель в координатах четырех типов богатства (трофности) и шести типов увлажнения земель (Pogrebnyak, 1931, Pogrebnyak, 1955), получившую название *эдафической сетки* (от edaphos – почва, земля). При этом он объединил типы леса А.А. Крюденера на карбонатных и кислых породах (наземистые и кислоперегнойные), выделив их на уровне вариантов (кальциефильные и ацидофильные). С этого началось формирование украинской школы лесной типологии. Идеи А.А. Крюденера оказали влияние на воззрения известного геоботаника Л.Г. Раменского (Ramensky, 1938, Ramensky et al., 1956). Однако в целом научное наследие А.А. Крюденера не получило того широкого признания и применения, которого оно заслуживает.

Монография А.А. Крюденера, опубликованная в период первой мировой войны накануне больших революционных событий и эмиграция ее автора обусловили тот факт, что она осталась почти неизвестной и не была по достоинству оценена ни у нас, ни за рубежом. Между тем, теоретические разработки А.А. Крюденера, созданные в России, являются выдающимся вкладом не только в лесоводство, но и в естествознание в целом. Его сопряженная классификация лесов и основных факторов лесообразователей – климата и почвогрунтов – представляет высшую форму классификации, классификацию сложных природных объектов, природных систем. Ведущим фактором в этой классификации выступает абиотическая среда, но подразделение ее на типы произведено не по ее «внутренним» свойствам, как это общепринято, а по произрастающей растительности, которая признается главным критерием качества условий среды. Именно этот прием превращает классификацию А.А. Крюденера в классификацию экосистем, биогеоценозов.

Использование растительности для оценки условий среды в течение всей жизни оставалось постоянной и возможно самой большой научной привязанностью А.А. Крюденера. Он по праву может быть назван одним из зачинателей индикационной геоботаники. В Германии им были изданы специальная монография (1933, 1949) и большой атлас

растений-индикаторов (Krüdener, Becker, 1941). На фитоиндикации базируются и разработки его инженерной биологии.

А.А. Крюденер не был профессиональным ученым, он был прежде всего лесоводом-производственником, таксатором, лесоустроителем. Поэтому над ним не довели классификационные догмы естественных наук и ему оказалась совершенно чуждой та фитосоциальная шумиха, против которой не смог устоять даже Г.Ф. Морозов. А.А. Крюденер всегда оставался верным экологическим принципам. Такого счастливого сочетания качеств могло больше не повториться. А потому и классификация экосистем еще долгие годы не была бы создана. Тем более, что народные знания о природе к настоящему времени в значительной мере утрачены, а естественная растительность, наиболее адекватно отражающая природную среду, почти не сохранилась. Во всяком случае последователи А.А. Крюденера – П.С. Погребняк и Л.Г. Раменский всеми этими данными не располагали. И вряд ли они состоялись бы как столь крупные ученые, не будь основополагающего задела, созданного А.А. Крюденером. То, что они мало ссылались на его труды, вполне объяснимо – имя А.А. Крюденера было в те годы под запретом.

Весьма интересна последняя работа ученого – *«Инженерная биология»*, основной идеей которой является доказательство необходимости единения технических наук и биологии, познания инженерами законов живой природы. А.А. Крюденер убедительно раскрывает важность при проведении всех инженерно-технических работ в полевых условиях учета характера природных ландшафтов, их биологической компоненты, с тем чтобы не только не вызвать возникновения серьезных негативных последствий, но, наоборот, постараться повысить их производительные возможности и при этом сохранить красоту природы, «которая никогда не бывает в тягость, а наоборот снижает подавленность и улучшает настроение». Автор подчеркивает, что природа представляет нерасторжимое единство всех ее компонентов, из которого нельзя выделить отдельные звенья, не повредив целого, не нарушив ее гармонии, ее равновесия. Поэтому все технические изыскания должны быть пронизаны биологическим мышлением. «Природа разговаривает с нами без слов, но ее язык выразителен и красноречив. Мы должны всегда и везде, где это только возможно, учиться его понимать и делать практические выводы» (Krüdener, 1951, p. 65).

Обратим внимание на тот момент, что если в своих разработках проблем лесной типологии А.А. Крюденер первым дал определение и классификацию экосистем (его определение экосистемы как единства климата, почворунтов и растительности гораздо четче, чем у Тэнсли, который только высказал положение о том, что существование растительности без среды невозможно, и дано на 20 лет раньше), то созданная им инженерная биология является безусловно пионерным направлением новой экологии как на-

уки о среде и ее охране, промышленной экологии, столь стремительно развивающейся в наше время. К сожалению, ни в том, ни в другом случае приоритет за ученым не закрепился.

Хотя в Германии он смог спустя много лет заняться научной деятельностью, причем, несмотря на преклонный возраст, довольно интенсивной, однако он никогда не имел там таких условий жизни и работы, какие были у него в России. И он всегда помнил и любил ее. Ни революция, ни сталинские репрессии, ни германский фашизм не смогли убить эту его любовь. До конца жизни с ним оставались и «прекрасная» Волга, и «великий» Пушкин, и в целом родные ему русская природа и русский народ. Свидетельством тому являются его необыкновенно одухотворенные поэтические воспоминания «Необозримые просторы» (Krüdener, 2001), переизданные, также как и его монографии «Инженерная биология» и «Основы классификации...», благодаря поддержки профессоров М.Д. Мерзленка и В.Д. Никишова в 2001-2003 гг., МГУЛ'ом.

Наиболее важным результатом деятельности А.А. Крюденера является формирование украинской школы лесной типологии, которая уже многие годы служит в Украине теоретической основой научного лесоводства и лесохозяйственного производства (Pogrebnyak, 1931, 1955, Vorobiev, 1953, Lavrynenco, 1954, Belgard, 1971, Tkach, 1999, Ostapenko, & Tkach, 2002, Migunova, 2007, 2014). Поскольку изначально имя барона-эмигранта А.А. Крюденера в работах украинских типологов не называлось, со временем и сами типологии привыкли считать их результатом исследований представителей украинской школы лесной типологии. Когда в 1980 г. мы познакомились с монографией А.А. Крюденера 1916 г., нам пришлось потратить немало усилий на то, чтобы восстановить его приоритетную роль в создании украинских разработок и собрать в Германии с помощью немецких лесоводов его биографические и другие данные. В России, где он учился и работал, в то время о нем уже ничего не было известно.

Основные достижения украинской школы – создание на основе центрального фрагмента классификационной таблицы А.А. Крюденера учеником Г.Н. Высоцкого П.С. Погребняком весьма совершенной классификационной модели – *эдафической сетки*, систематизирующей в координатах четырех типов богатства (трофности) и шести типов увлажнения (плюс их вариации) все разнообразие лесов разных природных зон. Вторым крупным достижением украинских типологов является обоснование использования *метода фитоиндикации* как основного при оценке плодородия почв. Первые типологи определяющее значение придавали изучению почв. Это однако никак не отрицает необходимости изучения почв разных типов леса. Очень важным фактом является создание *климатических сеток*, подобных эдафической, что позволяет характеризовать зональное и внутризональное разнообразие не только лесов, но и природы в целом (Migunova,

2014). А. А. Крюденер учитывал климат, предложив первое лесорастительное районирование России. Им разработана система лесотипологических таксонов, дано их количественное обоснование. Безусловно украинские типологи внесли весьма существенный вклад в методы изучения и само изучение типологического разнообразия лесов, в том числе очень сложных в природном отношении лесов ряда горных систем (Карпаты, Крым, Кавказ). Очень большой объем работ проведен по внедрению разработок лесной типологии в лесохозяйственное производство. Мы не говорим уже о том, что украинские лесоводы спасли от полного забвения предложенный А. А. Крюденером *принцип экологической классификации лесов по обусловленности их состава и продуктивности плодородием среды – плодородием климата и почвогрунтов*.

Классификационные построения и ряд теоретических разработок украинской школы требуют доработки и совершенствования. Это касается прежде всего более четкого разграничения зонального и внутризонального разнообразия типов леса. До сих пор нет твердо установленного понимания того, что основная классификационная модель лесной типологии – эдафическая сетка – классифицирует разнообразие лесов в пределах однородного климата, ею не учитываются различия климатических особенностей, прежде всего обеспеченность теплом.

Климат оказывает огромное влияние на растительность, определяя ее главную особенность – зональность. Поэтому любая работа в лесу предполагает прежде всего установление зоны, в горах – высотного пояса, в которых объект находится. Типологическое разнообразие лесов обусловлено особенностями состава и строения поверхностных отложений, являющихся почвообразующими породами, внутри зон. Эдафическая сетка систематизирует древесные породы по их требовательности к пище и влаге, климатические – по теплолюбивости и морозоустойчивости.

А. А. Крюденер начал разработку своей классификации с лесорастительного районирования России – выделения территорий, однородных по климату. Сама классификация основана на результатах изучения лесов таежной зоны европейской части России. Объединение одинаковых по составу типов леса трех зон равнинной Украины (Полесья, Лесостепи и Степи), как это сделал Б. Ф. Остапенко при составлении кадастра типов леса (Мігунова, 2014), вследствие чего сухие боры Полесья и Степи оказались в одном типе, неправомерно. Нужно пользоваться кадастрами типов леса отдельных зон. Целесообразно также разделение Степи на две зоны – Степь и Сухая степь (южные черноземы и темно-каштановые почвы). В лесорастительном отношении эти две зоны различаются больше, чем типичная Степь и Лесостепь. В весьма совершенном лесорастительном районировании Украины Lavrynenko (1954) выделил Южную степь, аналогичную нашей Сухой.

Необходимо обратить больше внимания на различия карбонатности местообитаний. А. А. Крюденер относил леса на карбонатных и кислых породах к разным типам – наземистым и кислоторебристым. П. С. Погребняк выделил их на уровне вариантов – кальциефильных и ацидифильных. В последних кадастрах типов леса Украины этого деления нет. Примером кальциефильных (карбонатных) вариантов являются леса с участием ясеня обыкновенного (ясенево-липовые дубравы). Ацидифильными вариантами являются леса из пихты белой в зоне буковых лесов Карпат. Эти факты должны обязательно учитываться в лесокультурном деле при подборе пород.

В целом, широколиственные породы тяготеют к карбонатным почвогрунтам, хвойные – к кислым. Но даже главная порода таежных лесов – ель – на карбонатных породах отличается значительно более высокой продуктивностью, чем на кислых. Совершенствования требуют определения типов леса их четырех основных групп – боров, суборей, сугрудов и грудов (дубрав, бучин, раменей, пихтачей, ольсов) и их объединение в хозяйственные группы. А далее – разработка системы ведения лесного хозяйства на *зонально-типологической основе*.

Выводы. А. А. Крюденер создал классификацию типов насаждений, положив в ее основу плодородие почвогрунтов. *Плодородие, способность воспроизводить растения*, является главным качеством, отличающим почвы от всех других природных тел, представляет их ни с чем не сопоставимую *функцию, миссию* на Земле, поскольку без растений, осуществляющих процесс фотосинтеза, переводящего неорганические соединения в органические, жизнь невозможна. Когда типологи вслед за А. А. Крюденером разместили леса по плодородию их местообитаний, природа из живописного хаоса превратилась в строгую и стройную систему, в которой все можно пролонгировать и рассчитать. Суммарным показателем плодородия среды является количество, соотношение и распределение по сезонам года лимитированных экологических ресурсов – *тепла, влаги и пищи*, впервые определенных как «элементы жизни растений» Г. Н. Высоцким (Vysotsky, 1904). Они определяют все разнообразие природы нашей планеты. Лесотипологические классификационные модели построены в координатах этих ресурсов – климатическая сетка в координатах тепла и атмосферного увлажнения, эдафическая – в координатах пищи и влаги почвогрунтов. Поэтому они применимы не только для классификации лесов, но и природы в целом. Полагаем поэтому, что со временем эти принципы будут приняты во многих естественных науках.

Следует отметить, что основополагающие положения украинской школы лесной типологии восходят к А. А. Крюденеру, его монографии «Основы классификации типов насаждений». Но А. А. Крюденер был еще и крупным таксатором, лесоустроителем. И его вклад в эти разделы лесоводства также требует отдельного анализа и обобщения.

References

- Alekseev, E. V. (1925). *Types of Ukraine's forests*. Right bank of the Dnieper river. Kyiv (in Russian).
- Belgard, A. L. (1971). *Steppe Forestry*. Moscow: Forest Industry (in Russian).
- Cajander, A. K. (1909). *Über Waldtypen*. Acta forestalia fennica
- Krüdener, A. A. (1903). The experience of soil cover grouping in relation to site, soil, insolation and renewal under the canopy and on cutting areas. *Forest magazine*, 6, 1430-1468 (in Russian).
- Krüdener A. A. (1908-1913). Volume tables and taper tables of main tree species. Sankt-Petersburg (in Russian).
- Krüdener, A. (1926). Waldtypen als kleinste natürliche Landschaftseinheit – ten bzw. Mikrolandschaftstypen. Dr. A. Petermanns Mitteilutrgen aus Justus Peters geographischer Anstalt, 7-8, 150-158 (in German).
- Krüdener, A (1927). Waldtypen. Klassifikation und ihre volkswirtschaftliche Bedeutung. Germany: Verlag Neuman-Neudamm (in German).
- Krüdener, A. A. (1951). *Biology engineering*. Moscow: Moscow State Forest Institute (in Russian).
- Krüdener, A. A. (2001). *Wide open spaces*. 1927, 1937 editions. Moscow: Moscow State Forest Institute (in Russian).
- Krüdener, A. A. (2003). *Principles of classification of forest stand types and their economic importance in the life of the country*. 2nd edition. Moscow: Moscow State Forest Institute (in Russian).
- Krüdener, A. A. (2008). Forest typology by people of nature and its significance. 1926. *Forestry & Forest Melioration*, 113, 3-7 (in Russian).
- Lavrynenko, D. D. (1954). *Forest types of the Ukrainian SSR*. Moscow: Goslesbumizdat (in Russian).
- Merzlenko, M. D. (2001). In memory of A. A. Kruedener. *Forest Herald*, 5, 85-92 (in Russian).
- Migunova, E. S. (2007). *Forestry and natural sciences*. 2nd edition. Moscow: Moscow State Forest Institute (in Russian).
- Migunova, E. S. (2014). *Types of forests and types of nature (environmental relationships)*. Germany: Palmarium (in Russian).
- Morozov, G. F. (1904). About types of forest stands and their significance in forestry. *Forest Journal*, 1, 6-25 (in Russian).
- Morozov, G. F. (1913). Exploration of the forests of the Voronezh province. *Forest Journal*, 3-4, 463-481 (in Russian).
- Ostapenko, B. F., & Tkach, V. P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian).
- Pogrebnyak, P. S. (1931). Fundamentals of typological classification and methods for making it. Kharkiv (in Ukrainian).
- Pogrebnyak, P. S. (1955). *Fundamentals of Forest Typology*. Kyiv: Academy of Sciences of the USSR (in Russian).
- Ramensky, L. G. (1938). *Introduction to a comprehensive soil-geobotanical study of land*. Moscow-Leningrad: Selkhozgiz (in Russian).
- Ramensky, L. G., Tsatsenkin, I. A., Chizhikov, O. N., & Antipin N. A. (1956). *Ecological assessment of forage land by vegetation cover*. Moscow: Selkhozgiz (in Russian).
- Sibirtsev, N. M. (1951). *Soil Science 1900-1901*. Selected works. Moscow: Selkhozgiz (in Russian).
- Sukachev, V. N. (1972). *Fundamentals of forest typology and biogeocoenology*. Selected Works. Leningrad: Science (in Russian).
- Tansley, A. G. (1935). The use and abuse of vegetation concepts and terms. *Ecology*, 16 (3), 17-28.
- Tkach, V. P. (1999). *Floodplain forests of Ukraine*. Kharkiv: Right (in Ukrainian).
- Vorobiev, D. V. (1953). *Types of forests in the European part of the USSR*. Kyiv: Academy of Sciences of the USSR (in Russian).
- Vysotsky, G. N. (1904). About forest site types map. *Modern issues of Russian agriculture*, 81-94 (in Russian).

Від створення класифікації лісів як екосистем до формування української школи лісової типології (до 150-річчя від дня народження А. А. Крюденера)

В. П. Ткач¹, О. С. Мігунова²

Поняття лісу як єдності насадження, клімату і ґрунту, тобто як екосистеми, вперше було визначено А. А. Крюденером. Учений розробив класифікацію лісів за родючістю ґрунтів, на яких вони ростуть, в координатах їх забезпеченості елементами живлення і вологою. А. А. Крюденер запропонував першу екологічну класифікацію лісів Європейської Росії за принципом районування її території за основними кліматичними показниками, з наступним поділом лісів в межах кліматичних зон і областей на типи насаджень за особливостями петрографічного складу і водного режиму ґрунтів.

¹ Ткач Віктор Петрович – академік Лісівничої академії наук України, член-кореспондент НААН України, доктор сільськогосподарських наук, професор, директор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: (057) 704-10-02. E-mail: Tkach@urifm.org.ua

² Мігунова Олена Сергіївна – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, головний науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, м. Харків, Україна. Тел.: (057) 707-80-71. E-mail: migunova-e-s@yandex.ua

Визначальну роль у формуванні типів насаджень усередині однорідних в кліматичному відношенні територій А.А. Крюденер, як і Г.Ф. Морозов, відводив ґрунтовим умовам, підкреслюючи при цьому, що основним чинником є не власне ґрунт як такий, а ґрунт як субстрат, як середовище виростання рослин. Ученим, в процесі масового вивчення ґрунтів різних типів лісу, виявлено тісний зв'язок характеру лісової рослинності не з генетичними типами ґрунтів, а з їх родючістю, з їх лісорослинним потенціалом.

При цьому для оцінки родючості ґрунтів А.А. Крюденер використав новий підхід – метод фітоіндикації, тобто критерієм якості ґрунтів ним прийнята рослинність, її склад і продуктивність.

Розробляючи класифікацію лісів, А.А. Крюденер чітко дотримувався координатного принципу оцінки якості ґрунтів за двома головними складовими їхньої родючості – забезпеченості елементами живлення і вологою, який став визначальним у всіх наступних класифікаційних побудовах лісової типології морозовської школи.

Сумарним показником родючості середовища є кількість, співвідношення і розподіл за сезонами року лімітованих екологічних ресурсів – тепла, вологи і живлення. Лісотипологічні класифікаційні моделі побудовані в координатах цих ресурсів – кліматична сітка в координатах тепла і атмосферного зволоження, едафічна – в координатах живлення і вологи ґрунтів. Тому вони можуть бути застосовані не лише для класифікації лісів, але й природи загалом.

У статті також охарактеризовано основні досягнення сформованої на цих принципах української екологічної школи лісової типології. Відзначено питання, які потребують подальшого вирішення.

Ключові слова: лісова типологія; екологія; природа; класифікація; насадження; клімат; ґрунт; родючість.

From making a classification of forests as ecosystems to the foundation of the Ukrainian school of thought in forest typology (On the 150th anniversary of the birth of A. A. Krüdener)

V. Tkach¹, E. Migunova²

The concept of forest as the unity of growing stock (living tree component), climate and soil, that is, as ecosystems, was first defined by A. A. Krüdener. The scientist has developed a classification of forests according to the fertility of the soils on which they grow,

in the coordinates of their provision with nutrients and moisture. A. A. Krüdener proposed the first ecological classification of forests of European Russia on the principle of zoning its territory according to the main climatic indicators, with the subsequent division of forests within climatic zones and regions into types of stands according to the peculiarities of the petrographic composition and water regime of soils.

A. A. Krüdener, like G. F. Morozov, assigned the decisive role to the soil conditions in the formation of types of stands in the midst of homogeneous climatic areas, emphasizing that the main factor is not the soil itself as such, but the soil as a substrate, as a medium for plant growth. The scientist, in the process of intensive study of soils of different types of forest, revealed a close relationship of the nature of forest vegetation, not with the genetic types of soils, but with their fertility, and with their forest growth potential.

In so doing, to assess soil fertility, A. A. Krüdener used a new approach – the phytoindication method, that is, the vegetation, its composition and productivity were accepted as a criterion for the quality of soils.

In developing the classification of forests, A. A. Krüdener clearly adhered to the coordinate principle of soil quality assessment by the two main components of their fertility – the supply of nutrition and moisture, which became the determining factor in all subsequent classifications of the forest typology of the G. F. Morozov school. The total measure of fertility of the environment is the amount, proportion and distribution by seasons of limited environmental resources – heat, moisture and nutrition. Forest typological classification models are constructed in the coordinates of these resources – the climate grid in the coordinates of heat and atmospheric humidity, edaphic – in the coordinates of nutrition and soil moisture. Therefore, they can be used not only to classify forests, but also nature in general.

The article also describes the main achievements of the Ukrainian Ecological School of Forest Typology formed on these principles. The existing shortcomings and issues that need to be further addressed are noted.

Key words: forest typology; ecology; nature; classification; forest stand; climate; soil; fertility.

¹ *Viktor Tkach* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Corresponding Member of the National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, Doctor habil. (agricultural sciences), professor, director. Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky. Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: (057) 704-10-02. E-mail: Tkach@uriffm.org.ua

² *Elena Migunova* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (agricultural sciences), professor, Chief Research Fellow. Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky. Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: (057) 707-80-71. E-mail: migunova-e-s@yandex.ua



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411929>
Article received 2019.05.28
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Shparyk
yuriy.shparyk@gmail.com

Hrushevsky str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

УДК 630*187 : 631.524.85

Прогноз всихання ялиників в Українських Карпатах за типами лісу

Ю. С. Шпарик¹

Масове всихання ялинових лісів Українських Карпат в останнє десятиріччя вже у найближчому майбутньому зумовить дефіцит ялинової деревини, яка зараз є майже безальтернативною для різних галузей промисловості. Тому, актуальним є прогнозування площі та запасів ялини як з наукових позицій, так і для підприємств лісового господарства. Одним із найефективніших методів прогнозування є екстраполяція існуючих тенденцій, наприклад, всихання ялини, на перспективу. Закономірності всихання ялиників регіону були ідентифіковані на більш як 20 постійних дослідних об'єктах УкрНДІгріліс у 2010-2019 роках. Аналіз отриманих результатів дав змогу оцінити інтенсивність всихання ялиників за такими складовими: тип лісу, група віку, група повноти та частка ялини у породному складі.

Встановлено, що в умовах вологої чистої сушмеречини середня інтенсивність всихання (втрати запасу ялинової деревини) середньовікових і середньоповнотних лісів з часткою ялини у породному складі на рівні 6-7 одиниць склала 3, для вологої буково-ялицевої сушмеречини – 1, а для вологої буково-смерекової сушмеречини – 2% за рік. Виявлені тенденції всихання дали можливість підготувати схему розрахунку площі та запасу ялини на наступні 20 років. Прогнозування до 2040 р. дало такі результати: середні втрати площі ялиників у смерекових типах лісу складуть 28, в букових – 63, в ялицевих – 53%; середні втрати запасу ялинової деревини у смерекових типах лісу складуть 80, в букових – 92, в ялицевих – 80%. Сумарно в державних підприємствах лісового господарства Українських Карпат наслідком всихання стане зменшення площі ялиників з 425,6 до 328,9 тис. га, а запасу ялинової деревини – з 145,6 до 32,1 млн м³. Представлені розрахунки підтверджують необхідність розробки регіональної програми з відновлення ялинових лісів в Українських Карпатах.

Ключові слова: площа ялиників; запас ялинової деревини; інтенсивність всихання; лісорослинні умови; групи віку; повнота; склад деревостану; екстраполяція; державні підприємства лісового господарства.

Вступ. Багаторічні дослідження санітарного стану ялинових лісів Українських Карпат свідчать про наявність різнобічних проблем зі всиханням ялини в регіоні: швидкий ріст ялиників призводить до наявності в цих деревостанах мертвої деревини (відпаду), яка дає високий інфекційний фон і викликає потребу в проведенні заходів з поліпшення санітарного стану ялиників; коренева система смереки розташована у верхніх шарах ґрунту і за низької вологості повітря і відсутності постійних

опадів втрачає свою функціональність; розширення осередків *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. знижує стійкість ялиників; інтенсивне зростання чисельності *Ips typographus* L. за наявності сухою прискорює всихання ослаблених дерев ялини; похідні ялиники в переважній більшості ростуть у не властивих для смереки лісорослинних умовах, що зумовлює їх розладнання та всихання в більш молодому віці, порівняно з корінними деревостанами (Vasechko, 1967, Golubets, 1978, Bigun, 1990,

¹ Шпарик Юрій Степанович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, головний науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва імені П. С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: 0342-53-02-36, +38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

Trybun, 1996, Slobodyan, 2000, Debryniuk, 2011, Shparyk, 2013, Kramarets, 2018). А оскільки ці проблеми залежать від типів лісу, то прогноз всихання ялиників має базуватися саме на особливостях їхнього росту і розвитку, тобто – на результатах моніторингу дослідних об'єктів за типами лісу.

Всихання ялиників Українських Карпат в останні роки має поширення в усіх типах лісу, де росте ялина, а за охопленою площею (від 20 до 50 тис. га в рік) набуло характеру катастрофічного явища з антропогенних і природних причин. При цьому, масове всихання ялиників має місце не залежно від способів господарювання і типів деревостану. Під наметом більшості ялиників, що всихають, відмічено успішне природне поновлення, в якому не завжди переважає підріст ялини – частіше бук та ялиця (Fenton, Simard, & Bergeron, 2009, Mauér & Palátová, 2010, Janda et al., 2014, Debryniuk, 2014, Shparyk, 2014, Šebeň, Konôpka, Bošela, & Pajtk, 2015, FAO, 2016). Основним наслідком інтенсивного всихання ялини є зміна породного складу та головної породи в ялиниках Українських Карпат – місце *Picea abies* (L.) Karst. в деревостанах природним шляхом займає переважно *Fagus sylvatica* L., хоча в дубових типах лісу це може бути *Carpinus betulus* L., *Tilia cordata* Mill. чи клени, а в ялицевих – *Abies alba* Mill. Тобто, в лісівничому плані загрози втрати площі лісового фонду немає, хоча зрозуміло, що цінність ялинових та букових лісів для промислового використання різна. Розрахунок економічних (коротко- і довготермінових), екологічних (біорізноманіття, депонування вуглецю, продукування кисню) та соціальних (зайнятість місцевого населення, рекреаційна ємність) наслідків всихання ялиників регіону дає підстави говорити про наявність як негативних, так і позитивних аспектів у цьому процесі, і вони мають суттєві відмінності у різних типах лісу (Kirschbaum, 2004, Dunn et al., 2006, Feltona, Lindblad, Bruneta, J., & Fritz, 2010, UkrRIMF, 2014, Shparyk, 2017, 2019a).

При цьому ялинова деревина є основним круглим лісоматеріалом регіону, який використовують для виготовлення різноманітних пиломатеріалів. Так, за даними сортиментації деревини від рубок головного користування в 2020 р., вихід круглих лісоматеріалів у ялини майже в два рази більший, ніж у бука (75 проти 40%), а з урахуванням якості пиломатеріалів та їх ціни, про повноцінну заміну ялинових лісоматеріалів буковими говорити не доцільно. А незначні запаси ялицевої та модринової деревини в регіоні дають підставу говорити про винятково важливе економічне значення ялинової деревини для лісових та деревообробних підприємств Українських Карпат (SAFRU, 2019). Тому, прогнозування площі ялиників, які залишаться рости в перспективі, і особливо – запасів ялинової деревини в них, є актуальним для зміни пріоритетів у наукових дослідженнях і зміни лісівничих заходів у напрямі збереження ялини, а також для переорієнтації лісогосподарських підприємств на вирощування інших типів деревостанів.

Об'єкти та методика досліджень. Оскільки прогнозування – це оцінка (розрахунок) майбутнього стану предмету прогнозування на основі аналізу його попередньої динаміки (Bergha, 1998, Lavryk, 2010, Bokoch, Lakyda, Vasylyshyn, Terentjev, 2012, Lakyda & Blyshchik, 2014, Kansanen, Vauhkonen, Lähivaara, & Mehtälä, 2016), то для розрахунків змін в ялиниках Українських Карпат у найближчі роки використано інформацію про їх динаміку на постійних дослідних об'єктах за типами лісу. Об'єкти досліджень зосереджені більш як на 20-ти постійних пробних площах УкрНДІгріліс за участю смереки в основних типах лісу. Їхній лісівничо-таксаційний опис детально представлений в попередніх публікаціях (Shparyk, 2014, 2017, UkrRIMF, 2014). Предмет дослідження – інтенсивність змін запасів ялинової деревини та її частки в породному складі деревостанів в ялиниках регіону, які всихають, за типами лісу. Мета досліджень – дати прогноз площі ялиників та запасу ялинової деревини в Українських Карпатах за типами лісу на найближчі 20 років.

Інтенсивність всихання ялиників визначали на дослідних об'єктах у відсотках зменшення запасу деревини за роками. Для прогнозування змін санітарного стану ялиників прийнято базове положення, яке є результатом здійснених досліджень – інтенсивність всихання ялиників визначається трьома показниками в межах одного типу лісу: групою віку ялинових насаджень, повнотою деревостану, частотою ялини у породному складі. Для розрахунку прогнозних значень змін ялинових лісів використано функцію екстраполяції існуючих тенденцій цих змін. Великою перевагою такого методу є те, що існуючі закономірності в динаміці лісів мають місце на конкретних дослідних об'єктах і властиві саме для цих типів лісу.

Також як базове прийнято припущення, що кліматичні показники останніх років будуть мати сталі тенденції. Достовірні результати інтенсивності всихання ялиників були визначені лише для тих типів лісу, в яких було не менше трьох дослідних об'єктів – в умовах вологої чистої сушмеречини, вологої буково-ялицевої сушмеречини, вологої буково-смерекової сушмеречини. Для екстраполяції інтенсивності всихання ялиників на інші (не представлені на дослідних об'єктах) типи лісу використано наступні встановлені закономірності: за збільшення вологості типів лісу інтенсивність всихання ялини зменшується, а за зменшення вологості – збільшується; за збільшення трофності типів лісу інтенсивність всихання ялини зменшується, а за зменшення – збільшується; в мішаних лісостанах інтенсивність всихання ялини менша, ніж у чистих; в не смерекових типах лісу інтенсивність всихання ялини більша, ніж у смерекових, а в типах лісу за межами природного ареалу ялини інтенсивність всихання ще вища.

Методичні критерії прогнозування санітарного стану всихаючих ялиників підібрані через оцінку достовірності розроблених на їх основі прогнозів.

Її результатом стали наступні критерії прогнозування, які проранговані за впливом на інтенсивність всихання ялини: а) тип лісу визначає інтенсивність всихання, оскільки репрезентує лісорослинні умови та їх зміни за останні роки; б) група віку визначає певний рівень життєздатності ялиників, який зменшується з віком; в) повнота деревостану визначає мікроклімат у насадженні, який стає сухішим у випадку його розрідження (зменшення повноти); г) частка ялини в породному складі впливає на інтенсивність її всихання, оскільки всихання інших порід не таке суттєве.

Назви типів лісу, наведені у лісовпорядкувальних матеріалах, в окремих випадках нами уточнені згідно «Діагностичної характеристики типів лісу Українських Карпат» (Gerushinsky, 1996).

Макет прогнозу (електронну таблицю) всихання ялини розроблено у середовищі MS Excel. Для розрахунку використано розподіл площі ялиників та запасу деревини ялини за критеріями прогнозування (типи лісу, групи віку, групи повноти, частка ялини в породному складі) з реляційної бази даних

лісовпорядкування станом на 2019 р. для лісового фонду підприємств Державного агентства лісових ресурсів України (ДАЛРУ) в регіоні Українських Карпат. За подібністю інтенсивності всихання ялинові деревостани були згруповані в три групи повноти (менше 0,40; 0,41-0,80; 0,81 і вище) і прогноз зроблено для кожної групи окремо. Приклад розрахунку змін запасу ялиників з відотною повнотою 0,41-0,80 в умовах вологої буково-ялицевої сушмеречини для всіх підприємств ДАЛРУ в регіоні за період 2019-2021 рр. наведено в табл. 1. Такий підхід дав змогу встановити, що за використання зазначених критеріїв прогнозування запас ялинової деревини в цьому типі лісу зменшився з 43,5 до 37,5 млн м³, а площа – з 116,9 до 114,1 тис. га. Подібні таблиці, однак на значно більший віковий період (2019-2040 рр.), з прогнозами окремо для площі ялиників і окремо – для запасу ялинової деревини розроблені для всіх типів лісу регіону, де ростуть ялиники, і окремо для кожної з трьох груп повнот – всього опрацьовано більше 300 таких таблиць.

Таблиця 1

Прогноз запасів ялинової деревини у вологій буково-ялицевій сушмеречині на період 2019-2021 рр., тис. м³

Частка ялини	Молодняки 1 класу віку	Молодняки 2 класу віку	Середньо-вікові	Пристигаючі	Стигли	Перестійні
1	2	3	4	5	6	7
2019 рік						
10	19,43	566,29	12446,50	3267,80	2444,57	148,64
9	17,90	308,48	3852,77	1059,44	835,36	53,29
8	36,21	399,39	3932,27	1251,83	1105,74	129,81
7	61,31	300,23	2468,77	804,86	753,18	81,65
6	78,64	259,06	1672,60	719,30	618,24	98,13
5	49,89	150,56	1044,39	430,21	418,34	90,63
4	23,14	81,59	486,75	367,59	231,08	73,59
3	6,70	7,51	87,39	55,13	61,19	23,47
2	2,16	0	2,66	0	1,24	0
1	0	0	0	0	0	0
+	0	0	0	0	0	0
2020 рік						
10	18,225	528,547	11503,065	2990,782	2215,826	133,448
9	16,953	290,716	3595,303	979,043	764,545	48,308
8	34,295	376,390	3669,490	1156,833	1012,004	117,674
7	58,636	285,715	2326,377	751,074	696,090	74,742
6	75,210	246,535	1576,128	671,232	571,378	89,828
5	48,187	144,699	993,896	405,435	390,458	83,784
4	22,350	78,414	463,217	346,422	215,679	68,031
3	6,503	7,254	83,579	52,214	57,396	21,805

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7
2	2,097	0,000	2,544	0,000	1,163	0,000
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2021 рік						
10	17,095	493,320	10631,141	2737,247	2008,486	119,809
9	16,056	273,974	3355,042	904,747	699,733	43,792
8	32,480	354,715	3424,272	1069,045	926,214	106,673
7	56,079	271,901	2192,197	700,882	643,326	68,419
6	71,930	234,616	1485,221	626,376	528,068	82,229
5	46,541	139,067	945,843	382,088	364,435	77,455
4	21,587	75,362	440,821	326,472	201,304	62,892
3	6,313	7,006	79,934	49,452	53,837	20,258
2	2,035	0,000	2,433	0,000	1,091	0,000
1	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
+	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000

У схемі розрахунку враховано також наступні положення: всихання ялини призводить до зменшення запасів її деревини, а, значить, і до зменшення її частки у породному складі; розрахункову лісосіку для головного користування прийнято «за стиглістю», тобто щорічно зрубується десята частина стиглих і перестійних ялиників; розрахункову лісосіку санітарних рубок прийнято «за станом», тобто щорічно зрубується сухостій ялиників; інші рубки здійснюють разом із санітарними в обсязі щорічного приросту; лісовідновлення збільшує площу ялиників після переведення зрубів у вкриті лісовою рослинністю ділянки (під час повторного лісовпорядкування).

Результати та обговорення. Достовірні результати інтенсивності всихання ялиників за типами лісу були визначені тільки для трьох типів лісу: вологої чистої сушмеречини – середня інтенсивність всихання склала 3% за рік; вологої буково-ялицевої сушмеречини – всихання 1% за рік; вологої смереково-букової суяличини – всихання 2% за рік. Відмітимо, що саме в цих типах лісу площа ялиників у регіоні Українських Карпат найбільша. Встановлена на дослідних об'єктах частка всихання ялинових лісостанів характеризує середні значення всихання, а, саме, в середньовікових і середньоповнотних лісах з часткою ялини в породному складі на рівні 6-7 одиниць. На постійних дослідних об'єктах встановлено наступні тенденції всихання ялини: за групами віку інтенсивність всихання ялиників зменшується у випадку зменшення їхнього віку і, відповідно, збільшується – у випадку збільшення віку; за часткою ялини у складі деревостану тенденція всихання ялиників

подібна до такої за віком – інтенсивність всихання ялиників зменшується за зменшення частки ялини від 6-7 до 1-2 одиниць і відповідно збільшується – за збільшенні її частки до 9-10 одиниць; за повнотою деревостанів інтенсивність всихання збільшується за зменшення повноти від 0,6-0,7 до 0,1-0,2 і зменшується за збільшення повноти до 1,0; однак, за подальшого збільшення повноти інтенсивність всихання перегущених (повнота більше 1,0) ялиників знову починає зростати. Отримані результати дали можливість встановити інтенсивність всихання ялинових деревостанів за типами лісу (Shparyk, 2019b).

Оскільки найбільші площі ялиників зосереджені саме у смерекових типах лісу регіону, то аналіз результатів прогнозу щодо всихання смереки розпочнемо з них. Динаміка площі ялиників у смерекових типах лісу має певні відмінності (рис. 1). Якщо в умовах вологого кедрово-смерекового бору площа ялиників зменшилася на 66%, то для вологого смерекового субору це зменшення склало 35, для вологої чистої сушмеречини – 18, а для вологої буково-ялицевої смеречини – лише 3%. Такі значні відмінності в інтенсивності всихання ялиників (від 3 до 66%) значною мірою пояснюються їхнім розподілом за критеріями прогнозування, тому що навіть у близьких за лісорослинними умовами типах лісу інтенсивність всихання ялини дуже різниться: від 49% в умовах вологого кедрово-смерекового бору, 35% – для вологого смерекового субору, 18% – в умовах вологої чистої сушмеречини до 10% – для вологої буково-ялицевої сушмеречини (за даними лісовпорядкування площа лісів в останньому типі лісу перевищує 20 тис. га). Відзначимо,

що прогноз дає навіть незначне збільшення площ ялиників в 2030 і 2040 роках (проте не для всіх типів лісу), що пояснюється переведенням не вкритих у вкриті лісовою рослинністю ділянки під час лісовпорядкування (на місці ялиників, які всохли, знову формуються ялинові молодняки).

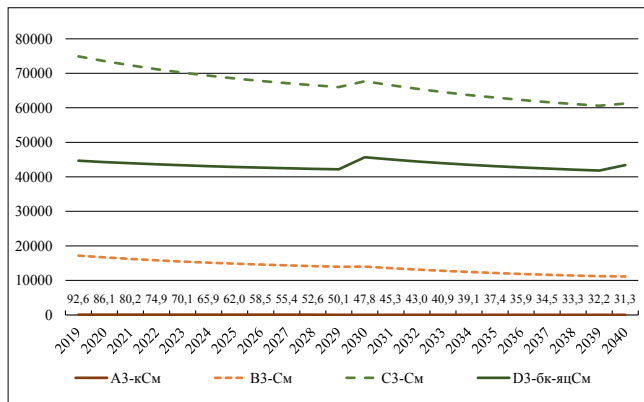


Рис. 1. Динаміка площі (га) ялиників у смерекових типах лісу (цифрами вказано прогнозовану динаміку площі ялиників в умовах A_3 -кСм)

Динаміка запасу деревини ялиників у смерекових типах лісу теж відрізняється, однак швидкість зменшення запасів значно вища в межах окремого типу лісу, ніж зменшення площі ялиників для цих же типів лісу (рис. 2). Так, в умовах вологого кедрово-смерекового бору запас деревини ялиників зменшиться прогнозовано на 95% (площа – лише на 66%). Для вологого смерекового субору це зменшення складе 89, для вологої чистої сушмеречини – 88, а для вологої буково-ялицевої смеречини – 48%. Таким чином, втрати ялинової деревини в смерекових типах лісу Українських Карпат у найближчі 20 років прогнозуються в межах 48-95% від існуючого запасу, за середнього значення 81%.

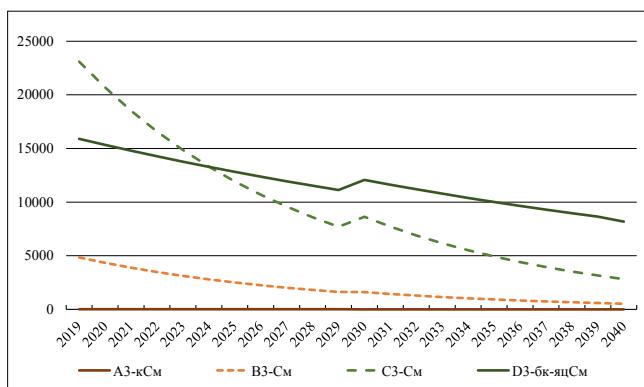


Рис. 2. Динаміка запасу деревини (тис. м³) ялиників у смерекових типах лісу

Площа ялиників у букових типах лісу, порівняно зі смерековими, змінюється не так різко (рис. 3). Про це свідчить менший розмах значень інтенсивності всихання ялиників – від мінімуму (55%) в умовах вологої чистої бучини до максимуму (73%) – в умовах вологої яворової субучини (на жаль, значна кількість букових типів лісу

не дає змоги представити всіх їх на графіку). Для найпоширеніших букових типів лісу цей діапазон ще менший: в умовах вологої чистої субучини площа ялиників зменшилася на 65%; для вологої смереково-ялицевої субучини це зменшення склало теж 65%; для вологої чистої бучини – 73; для вологої смереково-ялицевої бучини – 62%.

Запас деревини ялиників у букових типах лісу, порівняно зі смерековими, змінюється досить плавно, а швидкість зменшення запасів значно вища, ніж зменшення площі ялиників у конкретному типі лісу (рис. 4).

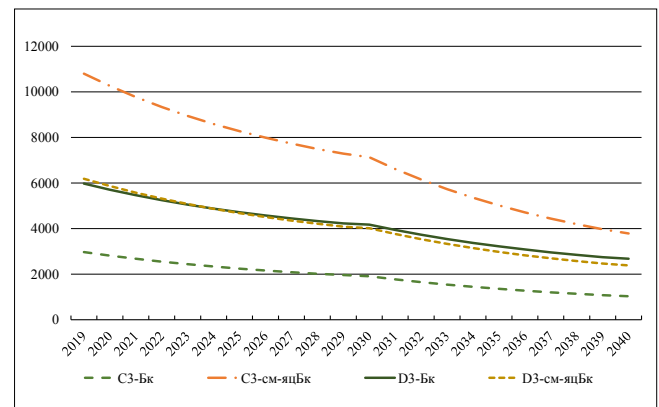


Рис. 3. Динаміка площі (га) ялиників у букових типах лісу

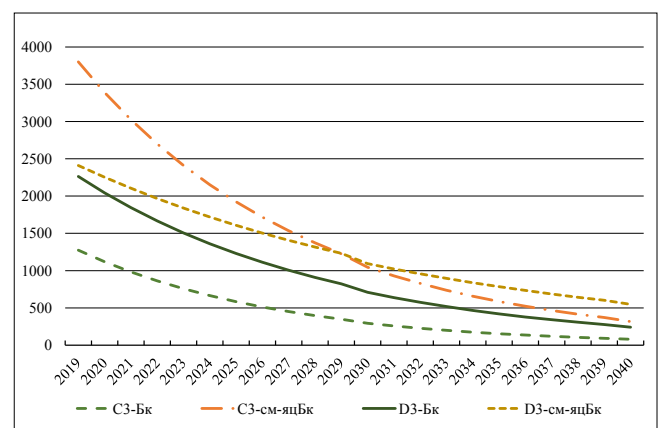


Рис. 4. Динаміка запасу деревини (тис. м³) ялиників у букових типах лісу

Так, в умовах вологої чистої субучини запас стовбурової деревини ялиників прогнозовано зменшиться на 94% (площа – на 65%), для вологої смереково-ялицевої субучини це зменшення склало 92, для вологої чистої бучини – 89, а для вологої смереково-ялицевої бучини – 77%. Тобто, втрати ялинової деревини в букових типах лісу Українських Карпат у найближчі 20 років прогнозуються в межах 77-97% від існуючого запасу за середнього значення в 92%, що на 10% більше, ніж у смерекових типах лісу.

Динаміка площі ялиників в ялицевих типах лісу значною мірою подібна до такої у букових типах (рис. 5). Такий самий незначний розмах зна-

чень інтенсивності всихання ялиників – від 55% в умовах вологої ялицевої судіброви (за реляційною базою даних лісовпорядкування станом на 1.01.2019 р. площа лісів в цьому типі лісу перевищує 1 тис. га) до 59% в умовах вологої смереково-букової суяличини значною мірою пояснюється подібними їх лісорослинними умовами та подібністю критеріїв прогнозування. Для найпоширеніших ялицевих типів лісу коливання за інтенсивністю всихання ялини склали: в умовах вологої ялицевої судіброви площа ялиників зменшилася на 55%; у вологій смереково-буковій суяличині – на 59%; у вологій смереково-буковій яличині – на 56%.

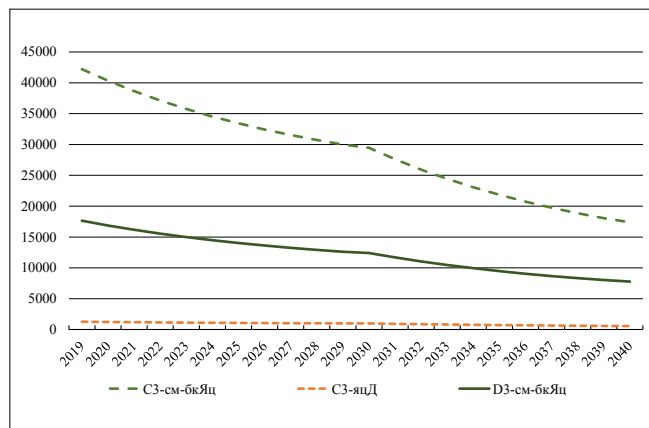


Рис. 5. Динаміка площі (га) ялиників в ялицевих типах лісу

Запас деревини ялиників в ялицевих типах лісу, порівняно зі смерековими типами лісу, змінюється плавно, однак швидкість зменшення запасів значно вища, ніж зменшення площі ялиників, в межах одного і того самого типу лісу (рис. 6). Так, в умовах вологої смереково-букової суяличини запас деревини ялиників зменшився на 81% (площа – на 55%), для вологої ялицевої судіброви це зменшення складало 89, а для вологої смереково-букової яличини – 71%. Тобто, втрати ялинової деревини в ялицевих типах лісу Українських Карпат у найближчі 20 років прогножуються в межах 71-89% від існуючого запасу за середнього значення в 80%, що навіть менше, порівняно зі смерековими типами лісу (рис. 7).

Сумарно за всіма типами лісу Українських Карпат прогноз вказує на зменшення площі ялиників внаслідок їхнього всихання на 96,7 тис. га (на 23%) вже в найближчі 20 років, тобто площа ялиників на підприємствах Державного агентства лісових ресурсів України в регіоні складе 328,9 тис. га в 2040 році.

Запас ялинової деревини теж має стійку тенденцію до зменшення, яке до 2040 р. складе 113,5 млн м³ або 78% (рис. 8). При цьому, інтенсивність зменшення запасу деревини ялини значно вища за відповідне зменшення площі ялиників (78 проти 23%), що пояснюється масовим всиханням ялини в чистих деревостанах і перетворенням чистих ялиників на мішані деревостани природним шляхом (поява природного поновлення бука, ялиці, берези, в'яза на місці ялини, що всохла).

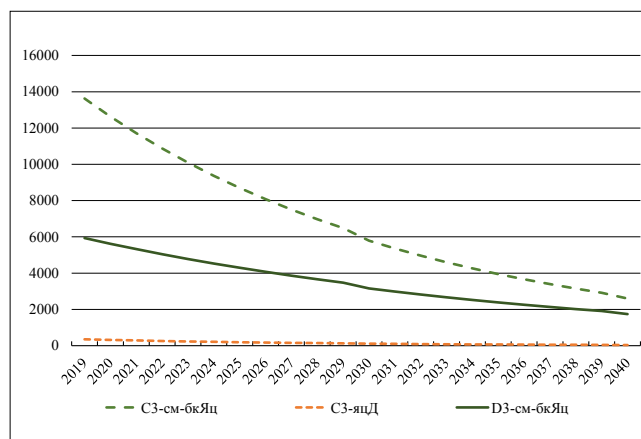


Рис. 6. Динаміка запасу деревини (тис. м³) ялиників в ялицевих типах лісу



Рис. 7. Фрагмент середньовікового похідного ялинового насадження в умовах СЗ-см-бкЯц Людвіківського л-ва ДП «Вигодське ЛГ»

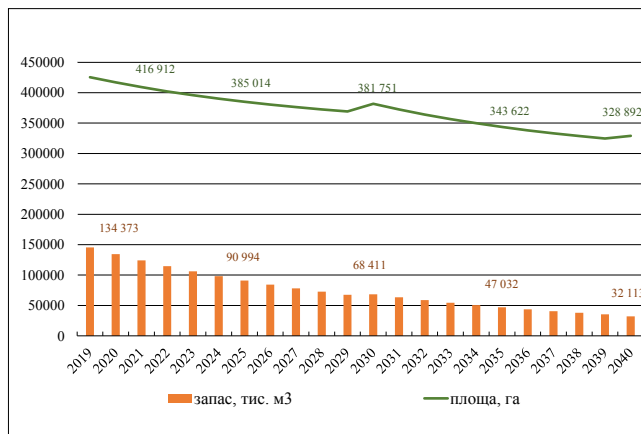


Рис. 8. Прогнозована динаміка всихання ялиників в Українських Карпатах на підприємствах ДАЛРУ

Зрозуміло, що для окремо взятого підприємства лісового господарства Карпатського регіону прогноз всихання ялини матиме свої конкретні значення як за площею, так і за запасом, тому що критерії прогнозування лісового фонду ялиників (типи лісу, групи віку, повнота деревостанів, частка ялини у породному складі) в межах кожного підприємства індивідуальні. Зокрема, цей метод апробовано для прогнозу площі і запасу ялиників для ДП «Надвірнянське лісове господарство» в умовах найбільш поширеного типу лісу – вологої буково-ялицевої сусмеречини. Отримані результати також підтверджують різке зменшення запасів ялиників унаслідок всихання – впродовж 20 років прогнозується зменшення запасів ялинової деревини з 2,29 млн м³ до 390 тис. м³ або на 83% (в середньому для цього типу лісу в регіоні прогнозується зменшення запасу стовбурової деревини на 77%). Площа ялиників при цьому зменшиться не так сильно – з 6,5 до 5,3 тис. га або на 19% (в середньому для регіону – на 9%).

Висновки. Ідентифіковані на постійних дослідних об'єктах УкрНДІгірліс зміни в структурі та породному складі всихаючих ялиників Українських Карпат впродовж 2010-2018 рр. дали можливість оцінити інтенсивність їх всихання, зокрема – відносну частку зменшення запасу стовбурової деревини живих дерев смереки за типами лісу. Так, для вологої чистої сусмеречини середня інтенсивність всихання склала 3% в рік, для вологої буково-ялицевої сусмеречини – 1%, а для вологої смереково-букової суяличини – 2% за рік. Також встановлено закономірності всихання *Picea abies* за типами лісу: за збільшення вологості повітря і ґрунту інтенсивність всихання ялини зменшується, а за зменшення вологості – збільшується; за збільшення родючості інтенсивність всихання ялини зменшується, а за зменшення родючості – збільшується. В мішаних деревостанах букових, ялицевих та смерекових типів лісу інтенсивність всихання ялини менша, ніж у чистих. У букових та ялицевих типах лісу інтенсивність всихання ялини більша, ніж у смерекових, а в типах лісу поза межами природного ареалу ялини інтенсивність всихання ще вища.

Оскільки катастрофічне всихання ялиників Карпатського регіону вже у найближчі десятиріччя призведе до дефіциту ялинової деревини, то прогнозування площі ялиників і запасів ялинової деревини є однією із найактуальніших наукових проблем для підприємств лісового господарства Українських Карпат. Здійснені дослідження дали змогу ідентифікувати основні складові ялинових лісів (критерії прогнозування), які найбільшою мірою впливають на результати прогнозу щодо всихання ялиників: тип лісу (визначає інтенсивність всихання ялини, оскільки представляє конкретний тип лісорослинних умов, а також відображає зміни в ньому по гіротопу і трофотопу); група віку насаджень (визначає життєздатність ялиників, яка зменшується з віком); повнота деревостану (визначає мікроклімат в лісі, який стає сухішим у випадку

розрідження деревостану – зменшенні повноти); частка ялини у породному складі (впливає на інтенсивність всихання ялиників, оскільки всихання інших деревних порід є помітно слабшим).

Відповідно до визначеної на постійних дослідних об'єктах інтенсивності всихання ялини, зроблено макет прогнозування, який базується на розподілі площ і запасів ялини за критеріями прогнозування з використанням відповідних даних лісовпорядкування. Результати прогнозу свідчать, що втрати ялинової деревини в смерекових типах лісу Українських Карпат у найближчі 20 років будуть коливатися в межах 48-95% залежно від лісорослинних умов, віку, повноти і частки ялини в породному складі деревостанів; середні втрати складуть близько 80%. Значний розмах коливань пояснюється високою мінливістю лісорослинних умов у смерекових типах лісу – від A_3 -кСм до C_4 -бк-яцСм. Для букових типів лісу ці коливання щодо втрати деревини складуть 77-97% (середні втрати – 92%), а для ялицевих – відповідно, 71-89 та 80%. Інтенсивність всихання ялини у смерекових та ялицевих типах лісу відносно подібна і є меншою, ніж для букових типів лісу.

Середні втрати площі ялиників значно менші, ніж втрати у запасі деревини: в смерекових типах лісу – 28, в букових – 63, в ялицевих – 53% до 2040 року. Відзначимо, що інтенсивність втрати площі ялиників близька для букових і ялицевих типів лісу, тоді як для смерекових вона значно менша. Тобто, під час всихання похідних ялиників має місце зміна головної породи, а при всиханні корінної породи площа ялиників не зменшується.

У підсумку зазначимо, що всихання ялиників Українських Карпат в наступні 20 років буде суттєвим для всіх державних підприємств лісового господарства і наслідком цього стане зменшення площі ялиників з 425,6 до 328,9 тис. га, а запасу ялинової деревини – з 145,6 до 32,1 млн м³. Втрати окремих підприємств залежать від переважаючих у держлісфонді типів лісу, груп віку ялиників, повноти і частки ялини в породному складі смерекових лісів.

References

- Bergha, J., McMurtrieb, R.E., & Linder, S. (1998). Climatic factors controlling the productivity of Norway spruce: A model-based analysis. *Forest Ecology and Management*, 110 (1-3), 127-139. Available at: https://www.academia.edu/20503188/Climatic_factors_controlling_the_productivity_of_Norway_spruce_A_model-based_analysis
- Bigun, N.Y. (1990). *Spruce forests of the beech zone in the Carpathians*. Uzhgorod: Karpaty (in Russian).
- Bokoch, V.V., Lakyda P.I., Vasylyshyn, A.I., Terentjev, A.Y. (2012). Modeling of the phytomass components indicators for forest stands of the Carpathian NPP. *Scientific bulletin of the National*

- Agrological University: Forestry*, 171.2, 18-25 (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2011). Dieback of the spruce forests: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 21.16, 32-38. http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_16/index21_16.htm (in Ukrainian).
- Debryniuk, Iu. M. (2014). Formative variety and Life condition *Picea abies* [L.] Karst. in the Western Forest-steppe of Ukraine. *Journal of Agrobiological and Ecology*, 4 (1), 97-102 (in Ukrainian).
- Dunn, A.L., Barford, C.C., Wofsy, S.C., Goulden, M.L., & Daube, B.C. (2006). A long-term record of carbon exchange in a boreal black spruce forest: means, responses to interannual variability, and decadal trends. *Global Change Biology*. Retrieved from <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/j.1365-2486.2006.01221.x/full>
- FAO (2016). *Global forest resources assessment 2015. How are the world's forests changing? Second edition*. Rome, FAO. Available at: <http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf>.
- Feltona, A., Lindbladh, M., Bruneta, J., & Fritz, Ö. (2010). Replacing coniferous monocultures with mixed-species production stands: An assessment of the potential benefits for forest biodiversity in northern Europe. *Forest Ecology and Management*, 260 (6), 939-947. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.06.011>
- Fenton, N.J., Simard, M., & Bergeron, Y. (2009). Emulating natural disturbances: the role of Silviculture in creating even-aged and complex structures in the black spruce boreal forest of eastern North America. *Journal of Forest Research*, 14, 5, 258-267. <https://doi.org/10.1007/s10310-009-0134-8>
- Gerushinsky, Z. Yu. (1996). *Typology of Ukrainian Carpathian forests*. Lviv: Pyramid
- Golubets, M.A. (1978). *Spruce forests of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv: Naukova dumka (in Russian).
- 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>
- Kansanen, K., Vauhkonen J., Lähivaara T., & Mehtätalo L. (2016). Stand density estimators based on individual tree detection and stochastic geometry. *Canadian Journal of Forest Research*, 46 (11), 1359-1366. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0181>.
- Kirschbaum, M.U.F. (2004). Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and transpiration. *Plant Biology*, 6 (3), 242-253. <https://doi.org/10.1055/s-2004-820883>
- Kramarets, V.O., Matsyak I.P. (2018). The role of biotic factors in the spruce forests decline of the Ukrainian Carpathians. *Scientific works of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences*, 17, 121-132. <https://doi.org/10.15421/411827> (in Ukrainian).
- Lakyda, P.I., & Blyshchuk, V.I. (2014). Forecast of carbon stock and oxygen production of alder forest in Ukrainian Polissya. *Bioresources and nature management*, 6, (1-2), 91-98 (in Ukrainian).
- Lavryk, V.I. (2010). *Modeling and forecasting of the environment*. Kyiv: Scientific thought (in Ukrainian).
- Mauer, O., & Palátová, E. (2010). Decline of Norway spruce in the Krkonoše Mts. *Journal of Forest Science*, 56 (8), 361-372. <https://doi.org/10.17221/95/2009-JFS>
- SAFRU (2019). Assortment structure of main use felling in 2020 for State Agency for Forestry Resources of Ukraine. Retrieved from https://drive.google.com/file/d/11YmR8HqKJKPQYs_U6HVOX6jJNa-0VnHc/view
- Šebeň, V., Konôpka, B., Bošela, M., & Pajčík, J. (2015). Contrasting development of declining and living larch-spruce stands after a disturbance event: a case study from the High Tatra Mts. *Forestry Journal*, 61 (3), 157-166. <https://doi.org/10.1515/forj-2015-0024>
- Shparyk, Y.S. (2014). Form diversity and health conditions of Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) in the main forest types of the Ukrainian Carpathians. *Forestry & Forest Melioration*, 125, 87-96. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&S21P03=FILA=&S21STR=lisam_2014_125_14 (in Ukrainian).
- Shparyk, Y.S. (2017). Economic results of spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Science of Ukraine*, 15, 129-139. <https://doi.org/10.15421/411717> (in Ukrainian).
- Shparyk, Y.S. (2019a). Ecologic results of spruce forests' decline in the main forest types of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Science of Ukraine*, 18, 145-153. <https://doi.org/10.15421/411915> (in Ukrainian).
- Shparyk, Y.S. (2019b). Empirical approaches to forecasting area and wood volume of spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) forests in the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the UNFU*, 29.3, 18-22. <https://doi.org/10.15421/40290303> (in Ukrainian).
- Shparyk, Y.S., Parpan, T.V., Slobodyan, P.Y., Savchyn, T.I., & Bunij, V.Y. (2013). Spruce forest decline on the north-eastern megaslope of the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 23.5, 141-147. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/141_Szp.pdf (in Ukrainian).
- Slobodyan, P. Ya. (2000). Areas of the spruce forest decline of Skole Beskids in different forest types. *Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 10.4, 182-184. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2000/10_4/index.htm (in Ukrainian).

- Trybun, P.A. (1996). Bioecological basis of forest plantations cultivation with resistant to fungal diseases in the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin: Forestry Research in Ukraine*, 5, 72-76 (in Ukrainian).
- UkrRIMF (2014). *Studying of Spruce forests decline reasons in the Carpathian region for the forestry instruction preparation on the management plane for these forests and on the forestry actions for their transformation on native stands*. Final report. Ivano-Frankivs'k, UkrRIMF (in Ukrainian).
- Vasechko, G.I. (1967) *Bark beetles and their control in the spruce forests of the Carpathians*. Doctoral dissertation, Ukrainian Agricultural Academy, Kyiv, Ukraine (in Russian).

Прогноз усыхания ельников в Украинских Карпатах по типам леса

Ю.С. Шпарык¹

Наиболее отрицательным последствием массового усыхания ельников Украинских Карпат является потеря большей части еловой древесины, которая практически безальтернативна для многих отраслей производства. Прогноз усыхания даст возможность предприятиям лесного хозяйства своевременно принять соответствующие меры. Исследования интенсивности усыхания ельников проведены в 2010-2019 гг. на 21-ом стационарном объекте в основных типах леса региона. Методика исследований предусматривала оценку запасов древесины *Picea abies* в разрезе категорий санитарного состояния деревьев этого древесного вида. Полученные результаты позволили идентифицировать зависимости интенсивности усыхания ельников от тех составляющих, которые собственно и являются определяющими для роста ели: тип леса, группа возраста, полнота, участие ели в породном составе. Для типов леса, в которых произрастают еловые древостои, установлены следующие закономерности: при увеличении влажности интенсивность усыхания ели уменьшается, а при её уменьшении – увеличивается; при увеличении плодородия почвы интенсивность усыхания ели уменьшается, а при его уменьшении – увеличивается; в смешанных насаждениях интенсивность усыхания *P. abies* меньше, чем в чистых (однопородных); в пихтовых и буковых типах леса интенсивность усыхания ели больше, чем в еловых. В типах леса за пределами

естественного ареала интенсивность усыхания ели наиболее высокая.

В соответствии с установленными интенсивностью и закономерностями усыхания *P. abies*, была разработана схема прогнозирования, которая базируется на распределении площади и запасов ели по критериям прогнозирования и рассчитана с использованием данных лесоустройства. По результатам прогноза, потери еловой древесины в еловых типах леса Украинских Карпат в ближайшие 20 лет будут колебаться в пределах 48-95 % в зависимости от лесорастительных условий, возраста насаждений, полноты и участия ели в породном составе древостоев; средние потери составят около 80 %. Значительный размах колебаний объясняется высокой изменчивостью лесорастительных условий в еловых типах леса региона – от влажного бора (A_3) до сырого гряда (D_4). Для буковых типов леса эти колебания составят в пределах 77-97 % при средних потерях в 92 %; для пихтовых типов леса, соответственно, 71-89 и 80 %. Лесоводственную достоверность полученных результатов подтверждает тот факт, что интенсивность усыхания ели в еловых и пихтовых типах леса довольно похожая и меньше, чем для буковых типов леса.

По сравнению с запасами древесины, средние потери площади ельников значительно меньше: в еловых типах леса не больше 28 % к 2040 году, в буковых – 63, в пихтовых – 53 %. Отметим, что интенсивность потери площади ельников довольно близка для буковых и пихтовых типов леса, тогда как для еловых она значительно меньше, поскольку при усыхании производных ельников имеет место замена главной породы, а при усыхании коренных насаждений такая замена не происходит.

Общий вывод заключается в том, что усыхание ельников Украинских Карпат в следующие 20 лет будет существенным вызовом для государственных предприятий лесного хозяйства и его следствием станет уменьшение площади ельников с 425,6 до 328,9 тыс. га, а запаса еловой древесины – с 145,6 до 32,1 млн м³. Конкретные потери отдельных предприятий будут зависеть от типов леса, возраста насаждений, полноты и участия ели в породном составе. Представленные расчеты подтверждают необходимость разработки региональных программ по восстановлению еловых лесов в Украинских Карпатах.

Ключевые слова: площадь ельников; запас еловой древесины; интенсивность усыхания; лесорастительные условия; группы возраста; полнота; состав пород; экстраполяция; государственные предприятия лесного хозяйства.

¹ Шпарык Юрий Степанович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, главный научный сотрудник. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства имени П.С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: 0342-53-02-36, +38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

Forecast of the Norway spruce forests' decline at the Ukrainian Carpathians according to forest types

Y. Shparyk¹

The most negative result of the mass decline of the spruce forests in the Ukrainian Carpathians is the loss of most of the spruce wood stock, which is practically uncontested for many industries. The decline forecast gives a chance for forestry enterprises to respond appropriately in good time. The studies of the decline intensity of the Norway spruce stands were in 2010-2019 at 21 stationary objects in the main forest types of the region. The research methodology provided for the assessment of spruce wood stock in the context of health conditions of this tree species. The results made it possible to identify the interrelations of the decline intensity of spruce forests according to the stand indicators that mainly determine its: forest type, age groups, basal area, and species composition. For example, the next interrelations have been established for forest types: with increasing of the forest types humidity, decline intensity of spruce forests decreases, and with humidity decreasing, intensity increases; with increasing of the forest types fertility, decline intensity of spruce forests decreases, and with fertility decreasing, intensity increases; in mixed forest types, decline intensity of spruce forests is less than in pure (one species) forest types; in non-spruce forest types, decline intensity of spruce forests is higher than in spruce ones; and in forest types outside the spruce areal it is even higher.

In accordance with the established intensity and trends of the spruce forests decline, a forecast scheme

was developed, which is based on the distribution of the area and wood stock of the Norway spruce according to the forecast's criteria and calculated according to forest inventory data. Results of the forecast indicate that the loss of spruce wood volume in the spruce forest types of the Ukrainian Carpathians in the next 20 years will fluctuate from 48 to 95 percent depending on site conditions, age, basal area, and proportion of spruce in the species composition of stands, and the average loss will be 80 %. A significant fluctuation of these percent is explained by the high variability of site conditions in the regional spruce forest types – from wet suboligotrophic to raw megatrophic. For Common beech forest types, these fluctuations will be from 77 to 97 percent and average losses – 92 %, and for Silver fir forest types – suitably 71-89 and 80 %. Decline intensity of spruce forests in the spruce and fir forest types is the same and less than for beech forest types, and that confirm forestry correctness of the prediction results. The average losses in the area of spruce forests are smaller than spruce wood volume: in spruce forest types – 28 percent to 2040, in beech – 63, in fir – 53 %. Note, that the loss of spruce forests area is closer for beech and fir forest types than for spruce ones, where for it is much less. It is because when the secondary spruce stands decline – the main species changes (for example, from Norway spruce on Common beech), but when the native spruce stands decline – it is not.

The spruce forests' decline in the Ukrainian Carpathians in the next 20 years will be significant for state forestry enterprises and its result will be decreasing in the area of spruce forests from 425.6 to 328.9 thousand hectares, and of the spruce wood volume – from 145.6 to 32.1 million m³. The individual enterprises' losses depend on the forest types, age, basal area and the spruce part in the species composition of their spruce forest. These predictions confirm a necessity to develop a regional program for the spruce forests restoration in the Ukrainian Carpathians.

Key words: spruce forest area; wood stock of spruce; decline intensity; site conditions; age groups; basal area; tree species composition; extrapolation; state forestry enterprises.

¹ *Yuriy Shparyk* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Chief Scientist of the Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry after P. S. Pasternak, Grushevsky str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: 0342-53-02-36, + 38-050-188-02-61. E-mail: yuriy.shparyk@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8047-6356>

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411930>
Article received 2019.04.13
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Mykola Vedmid
vedmedn@gmail.com

Kharkiv region, Kharkiv district, the village
of «Dokuchaevske-2» 62483, Ukraine

УДК 630*232 : 630*913

Основні засади стратегії лісорозведення в Україні

М. М. Ведмідь¹, Ю. М. Дебринюк², В. Ю. Юхновський³, С. П. Распопіна⁴, Ю. М. Біла⁵

Лісорозведення є вагомим складовою державної стратегії збереження навколишнього природного середовища, раціонального використання та примноження природно-ресурсного потенціалу України, вирішення проблем її екологічної та продовольчої безпеки. Реалізація стратегії лісорозведення в Україні дасть змогу підвищити стійкість лісової компоненти агроландшафтів; суттєво зменшити процеси ерозії та деградації ґрунтів; зберегти і збагатити біологічне та ландшафтне різноманіття; пришвидшити процеси природного відтворення агроландшафтів; оптимізувати лісомеліоративну складову еколого-ландшафтного облаштування агроландшафтів; підвищити рівень лісистості; забезпечити фільтрацію та очищення поверхневого стоку від шкідливих інгредієнтів; поліпшити меліоративні властивості захисних насаджень лінійного типу; збільшити врожайність сільськогосподарських культур; забезпечити додатковий обсяг поглинання вуглецю, що уповільнить процеси зміни клімату; підвищити ефективність впровадження державних екологічних програм. Виконання основних стратегічних напрямів лісорозведення в Україні загалом підвищить еколого-економічний потенціал агроландшафтів, диверсифікацію агропромислового виробництва, поліпшить умови проживання і

¹ Ведмідь Микола Максимович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, декан факультету лісового господарства, професор університету. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, п/в «Докучаєвське-2» Харківської обл., 62483, Україна. Тел.: 057-709-03-00, +38-050-217-31-69. E-mail: vedmedn@gmail.com

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. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

³ Юхновський Василь Юрійович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

⁴ Распопіна Світлана Петрівна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувачка кафедри лісових культур і меліорацій. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, п/в «Докучаєвське-2» Харківської обл., 62483, Україна. Тел.: 0572-99-72-56, +38-068-459-64-23. E-mail: s_raspopina@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

⁵ Біла Юлія Миколаївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісових культур і меліорацій. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, п/в «Докучаєвське-2» Харківської обл., 62483, Україна. Тел.: 0572-99-72-56, +38-050-619-46-46. E-mail: belay_1980@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1446-8168>

виробничої діяльності місцевого населення. За умови комплексного підходу до створення у необхідному обсязі захисних лісових насаджень та належного утримання існуючих, відбудеться істотне поліпшення мікрокліматичних умов меліорованих територій, підвищення продуктивності агроландшафтів, запобігання змінам клімату. Щорічні загальні орієнтовні витрати на всі заходи, пов'язані з лісорозведенням, можуть сягати 2,3 млрд грн. Поряд з цим, втрати чистого річного доходу сільськогосподарського виробництва через значну розораність території, недостатню кількість лісів та захисних лісових насаджень, сягають майже 3 млрд дол. США, що значно перевищує річні витрати на лісорозведення.

Ключові слова: захисні лісові насадження; лісистість; агроландшафт; ерозія; меліоративний вплив; законодавство; кадрове забезпечення.

Вступ. На стан екологічної ситуації в регіонах України впливає низка причин, серед яких найхарактернішими є недостатня площа лісів та захисних лісових насаджень, нераціональна структура землекористування агроландшафтів, інтенсифікація ерозійних процесів, зниження родючості ґрунтів, забруднення поверхневих і підземних вод, забруднення повітря, скорочення різноманіття рослинного і тваринного світу.

Сільськогосподарські угіддя займають 70% території України, з них рілля – близько 33 млн га або 80% їхньої площі (Sayko, 2008, Yukhnovskyi, 2003). Значна розораність території, недостатня кількість захисних лісових насаджень призвели до розвитку ерозійних процесів у значних обсягах. Так, щорічні втрати ґрунту становлять 600 млн т, гумусу – близько 20 млн т, води – 15 млрд м³. Площа деградованих ґрунтів щорічно збільшується на 80 тис. га. Майже кожен третій гектар сільськогосподарських угідь еродований, кожен другий – дефляційно небезпечний, кожен четвертий – кислий. Щорічні втрати чистого доходу від сільськогосподарського виробництва внаслідок значної розораності території, недостатньої кількості лісів та захисних лісових насаджень, сягають майже 3 млрд дол. США (Sayko, 2008).

Найбільша інтенсивність яругоутворення відбувається в умовах пересіченого рельєфу на землях лісостепової і степової зон України. Значні втрати орного шару ґрунту зафіксовано в Степу, в районах поширення звичайних чорноземів, де вони становлять понад 20 т·га⁻¹ в рік. Досить висока інтенсивність водної ерозії виявлена на Поділлі, Прикарпатті та в північно-західній частині Українських Карпат. Там щорічні втрати орного шару ґрунту сягають понад 15 т·га⁻¹ в рік (Sayko, 2008).

Найповніше використання всього комплексу корисних функцій і природоохоронних властивостей лісу в окремих географічних районах, з урахуванням соціально-економічних потреб та можливостей суспільства, забезпечує *оптимальна лісистість*. Вона представляє собою мінімально необхідну площу лісів та захисних насаджень різного цільового призначення, що задовольняють потреби промислового і сільськогосподарського комплексу, а також населення в захисних функціях і властивостях лісу та його продукції.

Лісистість окремих регіонів України у різні періоди її історії була неоднаковою. За загальноприй-

нятою вітчизняною методикою, на цей час вона складає 15,9% (Forestry of Ukraine, 2019). Однак, в жодній лісорослинній зоні не досягнуто оптимального значення лісистості (Byalovich, 1972) (табл. 1).

Таблиця 1

Лісистість території України за лісорослинними зонами, %

Лісорослинні зони	Фактична лісистість	Оптимальна лісистість
Полісся	26,8	32,0
Лісостеп	13,0	18,0
Степ	5,3	9,0
Карпати	42,0	45,0
Крим	10,4	19,0
Всього по Україні	15,9	19,0

Нинішні обсяги лісорозведення низькі, здійснюються безсистемно і фрагментарно, тому не можуть відчутно підвищити показник лісистості держави (табл. 2). Поряд з цим, Україна, як ніяка інша європейська держава, має 200-річний досвід лісорозведення, в тому числі і на землях, непридатних для сільськогосподарського виробництва (Hensiruk, 1992).

Таблиця 2

Обсяги лісовідтворення на підприємствах Держлісагентства, тис. га

Рік створення	Лісовідновлення	Лісорозведення
2005	39,5	9,5
2006	38,4	19,0
2007	39,1	24,6
2008	45,2	21,7
2009	38,6	31,1
2010	33,9	26,9
2011	39,1	22,4
2012	39,5	18,1
2013	41,3	14,1
2014	44,8	5,2
2015	48,6	2,4
2016	50,2	2,6
2017	52,1	1,7
2018	42,0	1,9

В останнє десятиліття максимальні обсяги лісорозведення припадають на 2007-2012 рр., коли з бюджету різних рівнів виділяли кошти на здійснення цих робіт. Зменшення обсягу лісовідновлення у 2018 р. пов'язано зі зменшенням площ суцільних рубок.

Починаючи з витоків лісорозведення, державні установи, а також приватні землевласники розробляли локальні сценарії лісорозведення, однак їх обсяги були невеликими і носили фрагментарний характер (Vakuluk, Samoplavsky, 2006).

Узагальнюючи роль держави стосовно проблем лісорозведення впродовж останнього сторіччя, можна умовно виділити шість періодів:

- перший період (1921-1930 рр.) пов'язаний із виконанням рішень квітневої 1921 р. постанови Ради праці та оборони, яка передбачала розвиток лісомеліоративних робіт у державному масштабі. До 1930 р. лісорозведення здійснювали шляхом проб і численних помилок, що підтверджують ухвали з'їздів лісівників, лісничих і вчених. До цього часу в Україні практично були відсутні офіційні настанови та рекомендації з лісорозведення. Лише у 1930 р. Наркомзем України затвердив перші типи лісових культур, складені за типами лісу Alekseev (1925);

- другий період (1931-1948 рр.) визначався виконанням рішень Всесоюзної конференції по боротьбі з посухою, яка відбулася в 1931 році. У 1935 р. були розроблені типи лісових культур для лісопромислової і лісокультурної зон України, а в 1938 р. опрацьовані типи лісових культур для всієї України;

- третій період (1949-1953 рр.) характеризувався найінтенсивнішим розвитком лісорозведення, який пов'язаний з постановою Ради Міністрів УРСР від 10.04.1948 р. «Про заходи щодо полезахисного лісорозведення в колгоспах Української РСР», постановою ЦК ВКП (б) та Ради Міністрів СРСР від 20 жовтня 1948 р. «Про план полезахисних лісонасаджень, впровадження травопільних сівозмін, будівництва ставків і водойм для забезпечення високих і сталих урожаїв у степових і лісостепових районах європейської частини СРСР». У повоєнні роки почали активізуватися науково-дослідні роботи з лісорозведення та розробки нормативної документації;

- четвертий період (1954-1966 рр.) пов'язаний із постановою Ради Міністрів СРСР від 20 квітня 1953 № 1144, і характеризується різким спадом лісорозведення та лісомеліоративних робіт в Україні;

- п'ятий період (1967-1990 рр.) пов'язаний із виконанням постанови Ради Міністрів УРСР від 16.05.1967 р. «Про невідкладні заходи щодо захисту ґрунтів від ерозії» та постанови Ради Міністрів УРСР від 1969 р. «Про створення закінченої системи захисних лісонасаджень», що дещо змінило ставлення до лісорозведення;

- шостий період (з 1991 р. по теперішній час) відзначається черговим спадом робіт з лісорозведення (особливо полезахисного), хоча було прийнято безліч різних нормативних документів щодо збільшення обсягів лісорозведення.

Після здійснення земельної реформи, станом на 01.01.2008 р. на землях запасу селищних рад знаходилося 318,1 тис. га полезахисних лісових смуг, у сфері управління Мінагрополітики – 115 тис. га (Yukhnovskyi, Malyuha, Shtofel, & Dudarets, 2009).

У полезахисних смугах, які знаходяться на землях запасу селищних рад, охорона, догляд та відтворення не здійснюються, що призводить до неможливості виконання насаджень своїх захисних функцій. Внаслідок зрідження насаджень самовільними рубками розвиваються процеси задерніння і ущільнення ґрунтів, поява порослевої і чагарникової рослинності. Часто лісові смуги стають місцем для випасання худоби, звалищ сміття, розсадниками бур'янів, потерпають від пожеж під час паління стерні тощо. Відсутність лісівничого догляду призводить до того, що лісові смуги втрачають захисні властивості. Проблема посилюється і тим, що державний облік цих насаджень не проводився з 1976 року (Yukhnovskyi, Malyuha, Shtofel, & Dudarets, 2009).

У зв'язку з цим, *актуальність проблеми лісорозведення* в Україні є дуже високою, проте її успішному вирішенню передують низка складних питань. Насамперед, відсутня кадастрова оцінка земель, яка могла б визначити доцільність передачі земель під лісорозведення; законодавчо не врегульована цільова передача земель для створення захисних лісових насаджень. Немає відповідної нормативної бази для оцінювання земель, придатних для лісовирощування, що не дає змоги скласти Генеральний план створення захисних лісових насаджень, відсутнє правове забезпечення мотивації та фінансування робіт з лісорозведення незалежно від форм власності на землю. Окрім цього, не виділяються фінансування на здійснення робіт з лісорозведення в обсягах, передбачених різними законами і державними програмами.

Теоретичною і методологічною основою лісорозведення є вчення про пертинентний вплив лісу, який здатний поширюватись як на території, зайняті лісовими насадженнями, так і на прилеглі безлісі площі, що забезпечує надійний захист сільськогосподарських угідь від несприятливих природних чинників, сприяє формуванню стійких і високопродуктивних лісоаграрних ландшафтів. Лісові насадження здатні поширювати свій позитивний вплив вище, глибше і далше за будь-яке інше рослинне угруповання. Принципові положення стратегії лісорозведення полягають в наступному.

Лісорозведення повинно здійснюватись відповідно до вимог законів України: «Про Червону книгу України», «Про рослинний світ», «Про тваринний світ», «Про природно-заповідний фонд України», Положення про «Зелену книгу України» та ін. (Water Code of Ukraine, 2001, Law of Ukraine, 2000, Land Code of Ukraine, 1995; The concept of reforming, 2006, Forest Code of Ukraine, 2006, The Concept of Agroforestry, 2013).

Лісорозведення повинно відповідати флористичному, геоботанічному, екологічному і природно-

кліматичному районуванню та зонуванню без порушення видового біорізноманіття локальних нелісових екосистем (Yukhnovsky, 2003, Vakuluk & Samoplavsky, 2006, Vysotsky, 1960, Presidential Decree, 2017). Заходи з лісорозведення доцільно планувати як обов'язкову складову частину загальнодержавних природоохоронних заходів, з фінансуванням переважно з державного бюджету.

Усі роботи із захисного лісорозведення необхідно здійснювати концентровано та спрямовувати на створення агролісокомплексів (сукупність усіх необхідних видів захисних лісових насаджень на сільськогосподарській території в рамках зональних геоморфологічних структур), у поєднанні з іншими агротехнічними, лукомеліоративними, гідротехнічними, культуртехнічними та іншими меліоративними заходами стабілізувати деградовані ландшафти і підвищити їхню продуктивність (Strategy for the development, 2012).

Агролісокомплекси доцільно створювати з метою забезпечення їхньої найвищої ефективності з охопленням цілих водозбірних басейнів або районів дефляції та опустелювання, незалежно від меж адміністративно-господарських формувань. Агролісокомплекси варто формувати, насамперед, у районах, де вони дадуть найбільшу віддачу та в коротший термін, а також у тих районах, де для завершення формування таких комплексів потрібні порівняно невеликі обсяги робіт.

Для розгортання робіт із захисного лісорозведення першочерговими є території екологічного лиха, де в небезпечних масштабах розвинені дефляція і водна ерозія, особливо на стрімких схилах, великих піщаних аренах, а також на зрошуваних землях в посушливих регіонах країни.

З погляду лісорозведення найпроблемнішою є зона Степу, тому необхідно визначити окремі категорії земель для Степу, на яких можливе та потрібне лісорозведення. Це дасть змогу юридично врегулювати статус малопродуктивних, деградованих і еродованих земель запасу та непридатних для ведення сільського господарства вкритих степовою рослинністю земель у земельному, природоохоронному та аграрному законодавствах.

Пріоритетними завданнями лісорозведення є здійснення повномасштабної інвентаризації захисних лісових насаджень на всіх категоріях земель, особливо полезахисних лісових смуг, отримання об'єктивної інформації про їх збереження, сучасний стан, меліоративну ефективність та потреби у проведенні лісогосподарських заходів. Необхідно науково обґрунтувати обсяги лісорозведення, започаткувавши створення лісомеліоративних комплексів за водозбірним або ландшафтним принципом. Головним пріоритетом степового лісорозведення має бути створення лісонасаджень на еродованих ділянках, де вони найнеобхідніші, а також на крутосхилах, балках, берегах і заплавах річок, яругах та сипучих пісках. З цього погляду доцільно розробити генеральну схему лісомеліоративного облаштування території.

Основою для заготівлі насіння для потреб лісорозведення повинні бути об'єкти постійної лісонасінної бази, де можна отримувати насінний матеріал з окремих особин та популяцій – найбільш стійких і продуктивних у конкретних природно-кліматичних та едафічних умовах. Такий підхід дасть змогу здійснювати лісорозведення шляхом використання садивного матеріалу, вирощеного із поліпшеного або сортового насіння з дотриманням лісонасінного районування та лісотипологічних засад.

Не менш важливими завданнями є вдосконалення нормативно-правової основи і системи державного стимулювання процесів лісорозведення, створення державного механізму управління захисним лісорозведенням – планування, проектування, організації, фінансування, контролю якості та ефективності виконаних робіт.

Розробка Національної і Регіональних програм лісорозведення на найближчу та довгострокову перспективу повинна передбачити шляхи ефективного наукового та нормативно-методичного забезпечення проектування і створення захисних лісових насаджень, матеріально-технічне та кадрове забезпечення всього процесу захисного лісорозведення. З цього погляду необхідно здійснити оновлення матеріально-технічної бази підприємств лісогосподарського профілю, комплектування їх технікою для заготівлі та переробки насіння, для роботи в розсадниках, створення лісових культур, технічними засобами для виконання протипожежних і лісозахисних заходів.

Обговорення основних положень стратегії лісорозведення. *Стратегія розвитку лісорозведення в Україні* передбачає створення завершеної системи захисних лісових насаджень, нових лісів на землях країни, незалежно від форм власності, як обов'язкової складової загальнодержавних та інших програм зі збереження навколишнього природного середовища.

Створення такої системи захисних насаджень забезпечить підвищення ефективності заходів боротьби з деградацією і опустелюванням земель, відновлення ґрунтової родючості, зниження рівня дискомфорту в місцях роботи та проживання людей, поліпшення екологічної і продовольчої безпеки країни.

Необхідно забезпечити відродження стійкого функціонування державного механізму планування, проектування та здійснення лісорозведення в комплексі з іншими засобами меліорації земель в обсягах і темпах, продиктованих сучасним станом захисних насаджень і небезпечним погіршенням екологічної ситуації в Україні.

Правовою базою реалізації положень стратегії лісорозведення є ратифіковані міжнародні конвенції (Конвенція про біологічне різноманіття, Всеєвропейська стратегія збереження біологічного та ландшафтного різноманіття, Європейська ландшафтна конвенція); Лісовий кодекс України (постанова Верховної Ради України № 3404-IV від 08.02.2006); Водний кодекс України (постанова Верховної Ради

України № 2768-III від 25.10.2001); Земельний кодекс України (постанова Верховної Ради України № 214 / 95 від 06.06.1995); закон України «Про загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр.» (від 21.09.2000 № 1989-III); закон України «Про меліорацію земель» (від 14.01.2000 № 1389-XIX); указ Президента України «Про деякі заходи щодо збереження та відновлення лісів і зелених насаджень» (від 04.11.2008 №995 / 2008; указ Президента України №381/2017 «Про додаткові заходи щодо розвитку лісового господарства, раціонального природокористування та збереження об'єктів природно-заповідного фонду»; постанова Кабінету Міністрів України від 01.03.2007 № 303 «Про затвердження Правил з відтворення лісів»; концепція реформування та розвитку лісового господарства (розпорядження Кабінету Міністрів України від 18.04.2006 № 208-р.); концепція розвитку агролісомеліорації в Україні (розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 вересня 2013 № 725-р.); план заходів щодо реалізації Концепції розвитку агролісомеліорації в Україні (розпорядження Кабінету Міністрів України від 18 червня 2014 р. № 582-р); наказ Держкомлісгоспу України від 19.08.2010 №260, яким затверджена «Інструкція з проектування, технічного приймання, обліку та оцінки якості лісокультурних об'єктів».

Визначаючи та обґрунтовуючи обсяги лісорозведення, важливим аспектом є *врахування показника оптимальної лісистості* для конкретного регіону. На цей час розроблені критерії для визначення кількох типів оптимальної лісистості – водоохоронної, полезахисної, протиерозійної, захисної (Lokhmatov & Romashov, 1992, Mihovich, 1973, Pylypenko, Yukhnovskiy, Vedmid, 2004). Показник лісистості у різні періоди помітно змінювався, залежно від підходів до його розрахунку, які визначалися Лісовим кодексом України, прийнятим у різний час (1978, 1994, 2006 рр.).

Під час встановлення показника оптимальної лісистості беруть до уваги не лише площі масивних лісонасаджень, але й площі інших багаторічних насаджень вузькоцільового призначення – полезахисні, водореґулюючі, прияружні, прибалкові, придорожні, яружно-балкові, берегозахисні насадження, а також лісопарки тощо. Тобто, під час розрахунку показника оптимальної лісистості до складу вкритих лісовою рослинністю земель зараховують полезахисні лісові смуги, а також інші захисні насадження лінійного типу, які не є лісом, оскільки не відповідають визначенню поняття лісу (ст. 1 Лісового кодексу України) та методикам визначення лісистості в інших європейських країнах. Нова редакція Лісового кодексу (2006 р.) також передбачає включення до складу лісового фонду лісових насаджень лінійного типу, що помітно збільшує площу лісів.

На наш погляд, під час розрахунку показника оптимальної лісистості важливим є розмежування двох понять – «вкриті лісовою рослинністю ділянки» і «вкриті лісом площі». До першого з них варто віднести як масивні лісонасадження, так і наса-

дження лінійного типу, а до другого – лише масивні лісонасадження, що відповідає європейським критеріям визначення лісистості територій.

Якщо брати до уваги співвідношення вкритих лісовою рослинністю ділянок до площі суші країни, то для досягнення показника оптимальної лісистості в Україні необхідно створити 1450,6 тис. га лісонасаджень як масивних, так і лінійного типу (табл. 3). Зокрема, у степових областях лісорозведення повинно бути здійснено на площі 838,1 тис. га (57,8%) з домінуванням захисних насаджень лінійного типу. З урахуванням нинішніх кліматичних, природних і соціальних змін, появи нових технологій у лісовому господарстві, на часі актуальним завданням є *опрацювання нових нормативів оптимальної лісистості територій*. З цією метою потрібно, насамперед, взяти до уваги збільшення техногенного та рекреаційного навантаження на довкілля, врахувати вплив глобальних змін клімату на стан навколишнього природного середовища, соціальні, політичні та економічні чинники.

Внаслідок удосконалення методів аналізу даних (зокрема, розвитком ГІС-технологій), необхідно уточнити структуру земельного фонду у зв'язку з інтенсифікацією ерозійних процесів (зокрема, збільшення площ неугідь та зменшення питомої ваги орних земель), площі і розташування орних земель, промислових підприємств, населених пунктів, еродованих земель тощо.

Потрібно уточнити площу яружно-балкових земель та густоту яружно-балкової мережі в межах конкретного району, врахувати сучасне розміщення автомобільних доріг і залізниць, науково обґрунтувати та передбачити збільшення ширини захисних смуг уздовж автодоріг у зв'язку зі збільшенням транспортних потоків та рівня забруднення повітря.

Важливим аспектом є корегування методологічних підходів до визначення показника оптимальної лісистості (комплексної, яка враховує не тільки масивні лісові насадження, але й лісові насадження лінійного типу) у зв'язку зі зміною соціально-економічних умов, прийняттям нової законодавчої та міжнародної нормативної бази, розробленої на основі концепції сталого розвитку. При цьому необхідно врахувати затверджені Кабінетом Міністрів України нормативні документи, зокрема, стосовно функціонального поділу лісів на категорії за екологічним та соціально-економічним значеннями, а також взяти до уваги прийняті Україною міжнародні угоди та зобов'язання.

Загалом, використання сучасних методичних підходів до удосконалення оцінки різноманітних функцій лісів і захисних лісових насаджень, аналізу даних, зокрема ГІС-технологій, дасть змогу підвищити точність моделювання показника оптимальної лісистості для окремих регіонів та її складових.

Для успішної реалізації стратегії лісорозведення в Україні необхідно сформувати, вирішити і впровадити у виробництво низку завдань. Зокрема, необхідно вивчити ефективність застосування повільно-розчинних мінеральних добрив, різних органічних

добрих, засобів захисту рослин від хвороб і шкідників, знищення бур'янів. Для поліпшення приживлюваності та інтенсивності росту деревних рослин у лісових культурах потрібно дослідити дію різних регуляторів росту рослин, вологонагромаджувальних речовин, фунгіцидів, інсектицидів та гербіцидів.

Необхідно розробити рекомендації з вирощування сіянців головних лісотвірних порід із закритою кореневою системою для потреб лісорозведення, а також ефективні технології щодо вирощування, зберігання і транспортування великомірних сіянців

деревних порід високого життєвого стану та високої швидкості росту в лісових культурах. Швидке відтворення лісового середовища забезпечить удосконалення технологій природного поновлення поблизу стін лісу з урахуванням світової практики та з метою збереження біорізноманіття, як основного джерела генетичного матеріалу для селекційного процесу. З цього погляду доцільним заходом є розробка регіональних підсистем лісорозведення, що включають комплексні заходи зі сприяння природному поновленню та створення лісових культур.

Таблиця 3

Додаткова потреба у створенні нових лісонасаджень різного цільового призначення

Адміністративно-територіальні одиниці	Загальна територія, тис. га	Площа суші, тис. га	Площа вкрита лісовою рослинністю, тис. га	в т.ч. площа ПЛС, тис. га	Фактична лісистість, до площі суші, %	Площа вкрита лісовою рослинністю, тис. га	Оптимальна лісистість, %	Додаткова потреба у створенні лісонасаджень, тис. га
АР Крим	2608,1	2391,5	78,7	24,3	11,7	452,6	9	173,9
Вінницька	2649,2	2606,2	346,5	17,6	13,3	390,8	15	44,3
Волинська	2014,4	1969,2	624,6	0,2	31,7	709,3	36	84,7
Дніпропетровська	3192,3	3035,8	179,2	42,8	5,9	243,0	8	63,8
Донецька	2651,7	2610,1	184,1	31,9	7,1	311,2	12	127,0
Житомирська	2982,7	2934,4	1001,6	5,0	34,1	1057,4	36	55,8
Закарпатська	1275,3	1257,1	656,7	0,1	52,2	691,9	55	35,2
Запорізька	2718,3	2542,8	101,0	51,8	4,0	126,2	5	25,2
Івано-Франківська	1392,7	1369,3	571,0	—	41,7	657,3	48	86,3
Київська	2812,1	2638,3	624,1	12,3	23,7	640,1	24	16,0
Кіровоградська	2458,8	2383,4	164,5	28,1	6,9	262,2	11	97,7
Луганська	2668,3	2646,4	292,4	30,2	11,1	421,5	16	129,1
Львівська	2183,1	2140,6	621,2	0,1	29,0	642,6	30	21,4
Миколаївська	2458,5	2331,0	98,2	34,3	4,2	163,7	7	65,5
Одеська	3331,3	3118,2	203,9	49,7	6,5	282,3	9	78,4
Полтавська	2875,0	2726,6	247,4	20,0	9,1	407,8	15	160,4
Рівненська	2005,1	1962,9	729,3	—	37,2	803,7	41	74,5
Сумська	2383,2	2352,6	425,0	13,0	18,1	469,6	20	44,6
Тернопільська	1382,4	1363,1	183,2	0,9	13,4	272,1	20	90,7
Харківська	3141,8	3081,9	378,3	26,7	12,3	461,3	15	83,0
Херсонська	2846,1	2412,9	116,3	29,0	4,8	193,8	8	77,5
Хмельницька	2062,9	2023,3	265,1	4,2	13,1	344,0	17	78,9
Черкаська	2091,6	1955,2	315,1	14,1	16,1	313,1	16	—
Чернівецька	809,6	791,1	236,7	—	29,9	261,2	33	24,5
Чернігівська	3190,3	3122,8	665,7	10,3	21,3	687,5	22	21,9
Україна	60354,8	57929,1	9573,9	446,6	16,5	11024,5	19	1450,6

Важливим напрямом є також розробка ефективних технологій для створення лісових плантаційних насаджень із відповідних видів деревних рослин (сосни, модрина, берези, робінії, гледичії тощо) в оптимальних для них едафо-кліматичних умовах та застосування високої агротехніки і прийомів інтенсифікації їхнього росту (використання добрив, стимуляторів росту, засобів боротьби з хворобами, шкідниками та бур'янами). Варто приділити увагу впровадженню двоприйомних лісових культур із введенням у перший прийом світлолюбних головних порід, а через певний період часу – тіньовитривалих, що сприятиме формуванню стійких лісових угруповань у жорстких лісорослинних умовах. З цього погляду важливим аспектом є створення та вирощування лісових культур з використанням сіянців із закритою кореневою системою.

Важливою складовою є розробка рекомендацій щодо вдосконалення лісорозведення на землях, виведених із сільськогосподарського користування в умовах Полісся та Лісостепу, розробка технологій, пошук технічних засобів для закладання та вирощування цільових лісових культур різного призначення – лісосировинних, санітарно-гігієнічних, ландшафтних, водоохоронних, ґрунтозахисних тощо. Потрібно запровадити картографо-аерокосмічний моніторинг стану, розвитку та оптимізації структури агроландшафтів за допомогою засобів лісової меліорації, що забезпечує відновлення і збереження їхнього біорізноманіття та продуктивності.

Для підвищення стійкості штучних лісових насаджень потрібно розробити сучасні високоефективні методи селекції нових високопродуктивних, екологічно адаптивних, господарсько цінних сортів і форм дерев і кущів, удосконалити ДСТУ на садивний матеріал лісових деревних видів, де передбачити стандарти на садивний матеріал із закритою кореневою системою для головних лісотвірних порід. Доцільно також внести окремі зміни та доповнення до «Нормативів оцінки якості лісових культур під час переведення їх у вкриті лісовою рослинністю землі», створених сіянцями із закритою кореневою системою.

Розробка проектно-кошторисної документації на створення та утримання захисних лісових насаджень передбачає організацію проектно-вишукувальних робіт із захисного лісорозведення із залученням спеціалізованих проектно-вишукувальних інститутів, землепорядних та інших спеціалізованих підприємств.

З метою підвищення оперативності та якості проектного забезпечення запланованих заходів, акумуляції в них останніх досягнень науки і техніки, використання вітчизняного та зарубіжного передового досвіду, доцільно створити тимчасові творчі колективи, постійні науково-проектні формування та інші структури, в яких повинні взяти участь науковці і практики-лісівники, що забезпечить ефективне виконання прикладних досліджень

по всьому циклу робіт з лісорозведення – від розробки територіального розташування насаджень різного призначення до технологій їх створення і вирощування та наукового супроводу робіт.

Під час проектування потрібно передбачити, насамперед, створення систем захисних лісових насаджень на водозбірних басейнах річкових і великих балкових систем, а також у районах активного прояву дефляції ґрунтів з урахуванням ступеня їх деградації та засолення, для отримання якнайшвидшого природоохоронного, екологічного, економічного та соціального ефекту. Проектування агролісокомплексів необхідно здійснювати одночасно із внутрішньогосподарським землеустроєм, а на зрошуваних землях – зі складанням проекту меліоративного будівництва та господарського освоєння іригаційних систем. В інших випадках лісомеліоративні заходи доцільно проектувати в порядку доповнення до землепорядного проекту з обґрунтуванням їхнього складу та обсягів.

Лісомеліоративні заходи варто проектувати в два етапи. Так, на першому етапі їх доцільно здійснити на рівні генеральних проектів, що розробляються для великих територій – окремих областей або басейнів великих і середніх річок. На другому етапі проектно-кошторисну документацію доцільно адаптувати для конкретної групи господарств або наділів землекористувачів, природних мезо- і мікрооб'єктів (балкові, долинно-річкові водозбори), об'єднаних спільністю геоморфоструктурної ситуації.

Проектування комплексного лісомеліоративного освоєння піщаних масивів включає оцінку кліматичних, фізичних, геоморфологічних, фітоценотичних, лісорослинних умов, визначення особливостей і форм перспективного використання земель. При цьому важливе місце займає визначення режимів користування із застосуванням певних обмежень, що дає змогу зберігати або посилювати природні функції екосистем (вологонагромадження, протидія ерозійним процесам, середовищотвірні функції тощо) та задовольняти інтереси місцевого населення.

Для земель лісогосподарського та рекреаційного призначення важливу роль відіграє оптимальна лісистість території, довговічність і продуктивність створених насаджень, їхня структура і породний склад, здатність витримувати рекреаційні навантаження.

В умовах багатоукладної економіки велике значення має організаційно-управлінське забезпечення створення і утримання захисних лісових насаджень, оскільки це пов'язано з вилученням орних, пасовищних та інших угідь, переведенням їх у землі, зайняті деревно-чагарниковою рослинністю.

Відповідно до чинної правової бази, замовниками на створення захисних лісових насаджень для державних потреб є галузеві міністерства, центральні органи виконавчої влади та їхні територіальні органи управління, чия діяльність тим чи іншим чином пов'язана із землекористуванням.

Захисні лісові насадження можуть створювати землевласники (землекористувачі) або спеціалізовані підрозділи на умовах підяду. Самостійними замовниками можуть бути також адміністрації територіальних утворень, об'єднання підприємств, окремі підприємства, установи, організації та приватні особи, власники землі, землекористувачі. Загальні щорічні витрати на заходи, пов'язані з лісорозведенням, можуть сягати понад 3 млрд грн.

Реалізація стратегії лісорозведення повинна опиратися на чітко налагоджену роботу підприємств лісового господарства, сільського господарства, а також промисловості, що випускає машини та знаряддя для лісорозведення. Для цього необхідно передбачити відродження наукових підрозділів, випробувальних полігонів і конструкторських бюро, заводських цехів, зайнятих розробкою технічної документації, випробуванням і серійним виробництвом нової техніки.

Для успішної реалізації положень стратегії лісорозведення виникає потреба *внесення змін у законодавчі акти та нормативні документи*. Зокрема, доцільно внести відповідні уточнення до Лісового кодексу України (ст. 1, 2, 4 та інші статті, які пов'язані з цими статтями). Так, до складу вкритих лісовою рослинністю ділянок потрібно включити як масивні зімкнуті лісонасадження, так і лінійні лісонасадження заввишки більше 20 м та площею понад 0,5 га тощо.

Уточнення до Земельного кодексу України стосуються ст. 22, 25 в частині лісонасаджень лінійного типу, віднесених до лісового фонду. Доцільно дозволити зміну цільового призначення земельної ділянки сільськогосподарського призначення на природоохоронне призначення, тобто для консервації через залуження або заліснення, залежно від географічного та природно-кліматичного її розташування. Також необхідно законодавчо зобов'язати власників та землекористувачів здійснювати заліснення низькопродуктивних і невикористовуваних земель усіх форм власності та забезпечити фінансування робіт з лісорозведення до переведення лісонасаджень у вкриті лісовою рослинністю ділянки або початку виконання ними захисних функцій.

Для реалізації стратегічних завдань *на законодавчому рівні необхідно впровадити низку положень*. Так, землі, передані під лісорозведення, повинні бути звільнені від сплати відшкодування втрат до місцевого бюджету; також потрібно звільнити від сплати податку на земельну ділянку у разі її консервації для природоохоронного використання.

Необхідно законодавчо передбачити відшкодування втрат доходів землевласників, землекористувачів від недоотримання сільськогосподарської продукції на землях, переданих під створення захисних лісонасаджень, до початку виконання ними захисних функцій. Потрібно також запровадити 50%-не зменшення земельного податку на сільськогосподарські угіддя, на яких здійснюють лісорозведення в передбачених проектом обсягах на період до введення захисних лісових насаджень в ек-

плуатацію (цю пільгу підтверджують щорічно на ту площу сільгоспугідь, де був закладений лісомеліоративний комплекс). Потрібно також відмінити податок на додану вартість та прибуток з додаткової продукції, отриманої внаслідок позитивного меліоративного впливу захисних лісових насаджень.

Для реалізації стратегії лісорозведення в Україні необхідно підготувати постанову Кабінету Міністрів України, в якій визначити виконавців та фінансове забезпечення робіт з метою здійснення оцінки земель, які можуть бути передані під заліснення, а також подальше використання земель, на яких вже відбулося самозаліснення; проведення інвентаризації захисних лісонасаджень, у т.ч. полезахисних лісових смуг; здійснення лісовпорядних робіт для оцінки стану захисних лісонасаджень, встановлення господарських заходів відповідно до цільового призначення насаджень, а також лісонасаджень, які знаходяться на землях запасу; закріплення лісових насаджень і захисних лісонасаджень за користувачами та власниками земель.

Необхідно розробити для всіх лісорослинних зон нормативну базу оцінки земель, придатних для лісорозведення, а також методики оцінки не вкритих лісовою рослинністю земель для визначення доцільності віднесення їх до об'єктів природно-заповідного фонду.

Для ефективного управління реалізацією заходів з лісорозведення необхідне відповідне *кадрове забезпечення*. З цією метою доцільно створити при Міністерстві розвитку економіки, торгівлі та сільського господарства України, при облдержадміністраціях і райдержадміністраціях служби з агролісомеліорації.

У вищих навчальних закладах III-IV рівнів акредитації доцільно відновити підготовку фахівців з агролісомеліорації, забезпечити перепідготовку управлінського та інженерно-технічного персоналу, підготовку наукових кадрів.

Засоби для виконання завдань з лісорозведення забезпечуються переважно з державного бюджету, а також місцевих бюджетів, коштів землевласників, землекористувачів, інвесторів, меценатів, міжнародних фондів та інших коштів відповідно до чинного законодавства України. Потрібно також створити систему фінансового кредитування заходів з лісорозведення, лізингової поставки машин і механізмів, у т.ч. імпортних.

Висновки. Лісорозведення потрібно розглядати як важливий елемент державної стратегії збереження навколишнього природного середовища, раціонального використання та примноження природно-ресурсного потенціалу країни, вирішення проблем її екологічної і продовольчої безпеки, поліпшення комфорту проживання людей.

Ксерофітизація лісорослинних умов, як один із негативних наслідків прояву кліматичних змін, що виявляє суттєвий вплив на лісову рослинність, у т.ч. і на процеси лісорозведення, передбачає використання певного видового складу деревної рослинності. Тому під час лісорозведення потрібно передбачити використання деревних і кущових рослин з

широкою екологічною амплітудою, що дасть змогу сформувати біотично стійкі та відносно довговічні насадження.

Реалізація стратегії лісорозведення в Україні дасть змогу підвищити стійкість біологічної компоненти агроландшафтів; забезпечити фільтрацію та очищення поверхневого стоку від шкідливих інгредієнтів шляхом переведення його у підґрунтовий; суттєво зменшити процеси ерозії та дефляції ґрунтів; поліпшити лісівничо-меліоративні функції захисних лісових насаджень лінійного типу шляхом проведення необхідних лісогосподарських заходів; зберегти біологічне та ландшафтне різноманіття, посилити інтенсивність процесів природного відтворення агроландшафтів; оптимізувати розміщення систем захисних лісових насаджень лінійного типу на адаптивно-ландшафтних засадах; підвищити рівень полезахисної лісистості; зменшити забруднення ґрунтів хімічними сполуками; підвищити врожайність сільськогосподарських культур у міжсмугових полях; забезпечити додатковий обсяг поглинання вуглецю та виділення кисню лісовими насадженнями; підвищити ефективність впровадження державних екологічних програм, пов'язаних із поліпшенням стану навколишнього природного середовища.

Виконання основних стратегічних напрямів лісорозведення в Україні загалом забезпечить значний еколого-економічний ефект – як безпосередній (підвищення врожайності, додаткове зволоження території, охорона земель від ерозії тощо), так і опосередкований (збільшення біологічного різноманіття, поліпшення умов існування фауни, підвищення комфортності проживання людей, зниження рівня захворюваності тощо). За умови комплексного підходу до створення захисних лісових насаджень у необхідному обсязі буде забезпечено позитивний вплив на регіональні мікрокліматичні умови.

Щорічні загальні орієнтовні витрати на всі заходи, пов'язані з лісорозведенням, можуть сягати понад 3 млрд грн. Поряд з цим, втрати чистого річного доходу сільськогосподарського виробництва через значну розораність території та недостатню кількість лісів і захисних лісових насаджень сягають майже 3 млрд дол. США (Consolidation of forest policy in Ukraine, 2015).

На основі викладених базових положень стратегії лісорозведення в Україні повинні бути розроблені правові основи організації управління лісорозведенням, наукове, нормативно-методичне забезпечення, проектування заходів з лісорозведення та процедури виконання. Вкрай необхідною є підготовка постанови Кабінету Міністрів України з метою визначення виконавців та шляхів фінансування Національної програми лісорозведення до 2050 року.

References

- Alekseev, E. V. (1925). Types of Ukrainian forest. Right-Bank Forest-Steppe. Kyiv (in Ukrainian).
- Biallovich, Yu. (1972). Standards for optimal forest cover in the plain part of the Ukrainian SSR. *Forestry and agroforestry*, 28, 54-65 (in Russian).
- Consolidation of forest policy in Ukraine: FAO projekt (2015). Available online: <https://www.openforest.org.ua/25232/>
- Forest Code of Ukraine (2006). Decree of the Supreme Soviet, dated 08.02.2006, № 3404-IV (in Ukrainian).
- Forestry of Ukraine (2019). Reference material. Kyiv: State Agency of Forest Resources of Ukraine (in Ukrainian).
- Hensiruk, S. (1992). *Forests of Ukraine*. Kyiv: Scientific thought (in Russian).
- Land Code of Ukraine (1995). Decree of the Supreme Soviet, №214 / 95 of 06.06.1995 (in Ukrainian).
- Law of Ukraine (2000). On Land Reclamation. Dated 14.01.2000, № 1389-XIX (in Ukrainian).
- Law of Ukraine (2000). On the National Program of Formation of the National Ecological Network of Ukraine for 2000-2015. Dated September 21, 2000, № 1989-III (in Ukrainian).
- Lokhmatov, M., & Romashov, M. (1992). State of erosion control forest cover of Forest-Steppe and Steppe of Ukraine. *Forestry and agroforestry*, 85, 64-68 (in Ukrainian).
- Mikhovich, A. (1973). To the establishment of standards for water conservation forest cover in the Ukrainian SSR and the Moldavian SSR. *Forestry and agroforestry*, 33, 3-11 (in Russian).
- Plan of Measures for Implementation of the Concept of Development of Agroforestry and Reclamation in Ukraine (2014). Order of Cabinet of Ministry of Ukraine dated 18.06.2014, № 582-p (in Ukrainian).
- Presidential Decree (2017). On Additional Measures for Forestry Development, Rational Use of Nature and Preservation of Natural Reserve Fund Objects. № 381/2017 (in Ukrainian).
- Pylypenko, O., Yukhnovskyi, V., & Vedmid, M. (2004). *Soil protection systems of erosion control*. Kyiv: Zlatoyar (in Ukrainian).
- Saiko, V. (2008). Scientific substantiation of agriculture in the context of climate change. *Bulletin of agrarian science*, 9, 5-10 (in Ukrainian).
- Strategy for the development of protective deforestation in the Russian Federation for the period up to 2020 (2012). Approved by the Scientific Council of the Federal Forestry Agency on 21.02.2012 (in Russian).
- The concept of reforming and development of forestry (2006). Order of Cabinet of Ministry of Ukraine dated 18.04.2006, № 208-p (in Ukrainian).
- The Concept of Agroforestry Development in Ukraine (2013). Order of Cabinet of Ministry of Ukraine dated 10.09.2013, № 725-p (in Ukrainian).
- Yukhnovskyi, V. (2003). *Forest agrarian landscapes of plain Ukraine: optimization, standards, environmental aspects*. Kyiv: Institute of Agrarian Economy (in Ukrainian).
- Yukhnovskyi, V., Malyuha, V., Shtofel, M., & Dudarets, S. (2009). Ways to solve the problem of field afforestation in Ukraine. *Proceedings of the*

Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 7, 62-65 (in Ukrainian).

Vakuluk, P., & Samoplavsky, V. (2006). *Reforestation and afforestation in Ukraine*. Kharkiv: Flag Publishing House (in Ukrainian).

Vysotskyi, G. (1960). *Selected Works*. Moscow: Agropublishing (in Russian).

Water Code of Ukraine (2001). Decree of the Supreme Soviet, № 2768-III. 25, October 2001. (in Ukrainian).

Основные принципы стратегии лесоразведения в Украине

Н. М. Ведмидь¹, Ю. М. Дебринюк²,
В. Ю. Юхновский³, С. П. Распопина⁴, Ю. Н. Била⁵

Лесоразведение является важной составляющей государственной стратегии сохранения окружающей природной среды, рационального использования и приумножения природно-ресурсного потенциала Украины, решение проблем ее экологической и продовольственной безопасности. Реализация стратегии лесоразведения в Украине позволит повысить устойчивость лесной компоненты агроландшафтов; существенно уменьшить процессы

эрозии и деградации почв; сохранить и обогатить биологическое и ландшафтное разнообразие; ускорить процессы естественного воспроизводства агроландшафтов; оптимизировать лесомелиоративную составляющую эколого-ландшафтного обустройства агроландшафтов; повысить уровень лесистости; обеспечить фильтрацию и очистку поверхностного стока от вредных ингредиентов; улучшить мелиоративные свойства защитных насаждений линейного типа; увеличить урожайность сельскохозяйственных культур; обеспечить дополнительный объем поглощения углерода, замедлить процессы изменения климата; повысить эффективность внедрения государственных экологических программ.

Для успешной реализации стратегических задач на законодательном уровне необходимо: освободить земли, переданные под лесоразведение, от уплаты возмещения потерь в местный бюджет, а землепользователей – от уплаты налога на земельный участок в случае ее консервации для природоохранного использования; предусмотреть возмещение потерь доходов землепользователей от недополучения сельскохозяйственной продукции на землях, переданных под создание защитных лесонасаждений, до начала выполнения ими защитных функций; ввести уменьшение земельного налога на сельскохозяйственные угодья, на которых осуществляют лесоразведение в предусмотренных проектом объемах на период до введения защитных лесных насаждений в эксплуатацию; отменить налог на добавленную стоимость и прибыль с дополнительной продукции, полученной в результате положительного мелиоративного влияния защитных лесных насаждений. Для эффективного управления реализацией мероприятий по лесоразведению необходимо подготовить соответствующее кадровое обеспечение с образованием районных лесомелиоративных служб. В высших учебных заведениях восстановить подготовку специалистов по агролесомелиорации, обеспечить переподготовку управленческого и инженерно-технического персонала.

Выполнение основных стратегических направлений лесоразведения в Украине в целом повысит эколого-экономический потенциал агроландшафтов, диверсификацию агропромышленного производства, улучшит условия проживания и производственной деятельности местного населения. При комплексном подходе к созданию в необходимом объеме защитных лесных насаждений и надлежащего содержания существующих, произойдет существенное улучшение микроклиматических условий мелиорированных территорий, повышение производительности агроландшафтов, предотвращение изменения климата. Ежегодные общие ориентировочные расходы на все мероприятия, связанные с лесоразведением, приближенно оценены в 3 млрд грн. Наряду с этим, потери чистого годового дохода сельскохозяйственного производства из-за значительной распаханности территории, недостатка лесов и защитных лесных

¹ Ведмидь Николай Максимович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, декан факультета лесного хозяйства, профессор университета. Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, п/в «Докучаевское-2» Харьковской обл., 62483, Украина. Тел.: 057-709-03-00, +38-050-217-31-69. E-mail: vedmedn@gmail.com

² Дебринюк Юрий Михайлович – академик Лесной академии наук Украины, академик-секретарь ЛАН Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесных культур и лесной селекции. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

³ Юхновский Василий Юрьевич – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры возобновления лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: +38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

⁴ Распопина Светлана Петровна – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой лесных культур и мелиораций. Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, п/в «Докучаевское-2» Харьковской обл., 62483, Украина. Тел.: 0572- 99-72-56, +38-068-459-64-23. E-mail: s_raspopina@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

⁵ Била Юлия Николаевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и мелиораций. Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, п/в «Докучаевское-2» Харьковской обл., 62483, Украина. Тел.: 0572-99-72-56, +38-050-619-46-46. E-mail: belay_1980@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1446-8168>

насаждений, составляют почти 3 млрд долл. США, что значительно превышает годовые расходы на лесоразведение.

Ключевые слова: защитные лесные насаждения; лесистость; агроландшафт; эрозия; мелиоративное влияние; законодательство; кадровое обеспечение.

Main foundations of the afforestation strategy in Ukraine

M. Vedmid¹, Yu. Debryniuk², V. Yukhnovskyi³,
S. Raspopina⁷, Yu. Bila⁵

Afforestation is a significant component of the state strategy of environment conservation, rational use and increasing Ukraine's natural resource potential, solving problems of its ecological and food security. Implementation of the afforestation strategy in Ukraine will increase the sustainability of the forest component

of agricultural landscapes; significantly reduce soil erosion and degradation processes; preserve and enrich biological and landscape diversity; accelerate the processes of natural restoration of agricultural landscapes; to optimize the forest-meliorate component of ecological and landscape arrangement of agro-landscapes; increase forest cover; ensure filtration and purification of surface runoff from harmful ingredients; improve the ameliorative properties of shelterbelts; increase crop yields; provide additional carbon sequestration that will mitigate climate changes; to increase the efficiency of state environmental programs implementation.

For the successful implementation of strategic tasks at the legislative level, it is necessary: to free the land transferred for afforestation from paying compensation for losses to the local budget, and to land users from paying tax on the land if it is conserved for environmental use; provide for compensation for losses of land users' incomes from the shortage of agricultural products on lands transferred for the protective afforestation, before they begin to perform protective functions; introduce a reduction in the land tax on agricultural land on which afforestation is carried out in the volumes stipulated by the project for the period until the introduction of protective forest plantations into operation; to abolish value added tax and profit on additional products received as a result of positive effect of protective forest plantations restoration. For effective management of the implementation of afforestation measures it is necessary to prepare the appropriate staffing with the formation of regional forest management services. It is needed to restore the training of specialists in agroforestry in the higher educational institutions, to provide retraining of managerial and engineering personnel.

Implementation of the main strategic areas of afforestation in Ukraine in general will increase the ecological and economic potential of agricultural landscapes, diversify agro-industrial production, and improve the living conditions and production activity of the local population. It would be provided a comprehensive approach to the creation of the necessary area of protective forest plantations and proper maintenance of existing plantations; there will be a significant improvement in the microclimatic conditions of the reclaimed territories, increase the productivity of agro-landscapes, prevention of climate changes. The annual estimated afforestation cost related activities is estimated at approximately UAH 3 billion. Along with this, the loss of net annual income from agricultural production, due to huge plowing of the territory, the lack of forests and protective forest plantations amounts to almost \$3 billion, that far exceeding the annual cost of afforestation.

Key words: protective forest plantations; forest cover; agro-landscape; erosion; amelioration impact; legislation; staffing.

¹ *Mykola Vedmid* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor, Dean of the Faculty of Forestry, university professor. Kharkov National Agrarian University after V.V. Dokuchaev. The village «Dokuchaevske-2», Kharkiv district, Kharkiv region, 62483, Ukraine. Tel. 057-709-03-00, +38-050-217-31-69. E-mail: vedmedn@gmail.com

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 of the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University. 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-235-30-12, + 38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

³ *Vasyl Yukhnovskyi* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the department of forests restoration and forest meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, st. General Rodimtsev, 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: + 38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

⁴ *Svitlana Raspopina* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Assistant professor of the Department of Forest Crops and melioration. Kharkov National Agrarian University after V.V. Dokuchaev. The village «Dokuchaevske-2», Kharkiv district, Kharkiv region, 62483, Ukraine. Tel.: 0572- 99-72-56, + 38-067-195-78-36. E-mail: s_raspopina@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

⁵ *Yuliia Bila* – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forest Crops and melioration. Kharkov National Agrarian University after V.V. Dokuchaev. The village «Dokuchaevske-2», Kharkiv district, Kharkiv region, 62483, Ukraine. Tel.: 0572-99-72-56, +38-050-619-46-46. E-mail: belay_1980@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1446-8168>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411931>
Article received 2019.05.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Rimma Matveeva
matveevaRN@yandex.ru
peace Avenue, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russia

УДК 630*232.31

Изменчивость показателей семян сосны кедровой сибирской, произрастающей в разных лесорастительных районах Сибири

Р. Н. Матвеева¹, О. Ф. Буторова², С. Н. Дырдин³, И. Г. Тарасенко⁴

Приведены показатели семян сосны кедровой сибирской (*Pinus sibirica* Du Tour), произрастающей в разных лесорастительных районах Красноярского края и Иркутской области. Объектом исследований явились семена, заготовленные в насаждениях на территории 20 лесничеств. Шишки были собраны в насаждениях и на постоянных лесосеменных участках (ПЛСУ) в конце августа – начале сентября 2016 и 2018 годов. Семена хранились в складских помещениях в ящиках, мешках или россыпью. Исследования проводились с целью изучения массы, жизнеспособности, зрелости семян. Сопоставлены биометрические показатели семян и их посевные качества. Массу 1000 шт., жизнеспособность, класс качества семян определяли на лесосеменной станции Красноярского края. Биометрические показатели и зрелость семян определяли в СибГУ: зрелость устанавливали по заполнению зародышем семенного канала, выраженную в процентах. Размеры, масса семян, их жизнеспособность и зрелость отличались в зависимости от места сбора. Длина семян варьировала от 10,4 до 12,2 мм, ширина – от 7,8 до 9,8 мм, масса 1000 шт. – от 224,8 до 362,2 г, жизнеспособность составила 78-94%, степень зрелости – 73,1-95,0%. В 2018 г. масса 1000 шт. семян была больше на 17,9%. Уровень изменчивости показателей семян в основном низкий и средний. Выделены насаждения, в которых семена имели наибольшие показатели: Назаровское, Козульское (Средне-Сибирский подтаежно-лесостепной район лесостепной зоны), Саяно-Шушенское, Верхне-Манское (Алтае-Саянский горно-таежный район Южно-сибирской горной зоны) лесничества. Установлена значительная и умеренная зависимость между размерами семян и их массой.

Ключевые слова: *Pinus sibirica*; семена; урожай; жизнеспособность; зрелость; корреляция; лесничество; популяция; географическое происхождение; Красноярский край; Иркутская область.

Введение. Эффективность работ по воспроизводству лесных ресурсов непрерывно связана с качеством используемого посадочного материала. Особая роль отводится изучению полиморфизма

древесных растений в высокопродуктивных популяциях. Экологический оптимум сосны кедровой сибирской приурочен к низкогорным районам Алтая, Западного Саяна, где наблюдается высокая

¹ Матвеева Римма Никитична – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции и озеленения. Сибирский Государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, г. Красноярск, 660049, Россия. Тел.: (391)227-58-09. E-mail: matveevaRN@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3476-9622>

² Буторова Ольга Федоровна – доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры селекции и озеленения. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, г. Красноярск, 660049, Россия. Тел.: (391)227-58-09. E-mail: Butorova.olga@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-7464>

³ Дырдин Сергей Николаевич – кандидат технических наук, доцент кафедры автомобилей и транспортных технологических машин, Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, г. Красноярск, 660049, Россия. Тел.: (391)2275809. E-mail: Sergdirdin@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6352-2381>

⁴ Тарасенко Ирина Генриевна – инженер I категории лесосеменной станции «Центр защиты леса Красноярского края» филиала ФБУ «Рослесозащита», ул. Академгородок, 50а, г. Красноярск, 660036, Россия. Тел.: (391)2907523. E-mail: tarasenkoig@rctf.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9976-4576>

относительная влажность воздуха при годовом количестве осадков не менее 600 мм, сумме температур выше 10°C в пределах 1600-1800°C (Krylov et al., 1983 и др.). Климатические экотипы существенно различаются по скорости роста, фенологии, характеру семеношения и другим показателям (Patlaj, 1976, Hagner, 1980, Matveyev & Semerikov, 1995, Xu Li-an et al., 1999, Kroon et al., 2008). Исследования особенностей роста и семеношения хвойных видов с учетом географического происхождения проводятся в больших масштабах как в России, так и за рубежом (Nakvasina, 2001, Gabrilavicius, 2002, Xu Liang et al., 2004, Blada, Popescu, 2017, Kuzmina & Kuzmin, 2017).

Изменчивость показателей семян древесных растений, произрастающих в разных условиях, отражена в литературных источниках (Iroshnikov, 1967, Spodarev, 1967, Zemljanoi, 1974, Vorobiev et al., 1979, Avrov, 1989, Debrinjuk & Veremchuk, 2014, Matveeva et al., 2017). Размеры, масса семян являются основными показателями, с которыми связаны наследственные свойства и посевные качества. Масса семян считается стабильным популяционным признаком. Установлено, что, несмотря на колебания массы семян у отдельных деревьев в различные годы, их относительный ранг в популяции сохраняется из года в год (Tcherepnin, 1980). Рассматриваются возможности селекции кедров сибирского по таким показателям, как размеры, семенная продуктивность шишек, полнотелость семян и др. (Putenihina et al., 2014).

Т. Hanson (2018) отмечает, что всхожесть семян зависит от развития зародыша, т.е. их зрелости. Влияние качества семян сосны кедровой сибирской на их всхожесть и рост сеянцев рассмотрено в статье Bruncsev (1996). Известно, что семена сосны кедровой сибирской дают всходы при осеннем посеве или весеннем после их стратификации. Но если зародыш не полностью заполнил семенной канал, то всходы могут появиться только через год. Поэтому кроме показателей семян, характеризующих крупность и жизнеспособность, большое значение имеет степень развития зародыша, т.е. их зрелость.

Особенно актуально изучение показателей семян сосны кедровой сибирской, поскольку необхо-

димо сохранять ценный генофонд в связи с сокращением кедровых насаждений вследствие пожаров.

Объекты и методы исследований. Объектом исследований явились семена сосны кедровой сибирской, заготовленные в насаждениях, произрастающих на территории 20 лесничеств, расположенных в разных лесорастительных зонах Красноярского края и Иркутской области. *Предмет исследований* – популяции сосны кедровой сибирской, произрастающие в Алтае-Саянском горно-таежном и Среднесибирском подтаежном лесорастительном районах. *Цель работы* – изучение массы, жизнеспособности, зрелости семян сосны кедровой сибирской в 2016 и 2018 годах.

Место сбора шишек, таксационная характеристика насаждений (состав, класс бонитета), способ хранения семян устанавливали по паспортам, составленным на каждую партию семян. Массу 1000 шт., жизнеспособность, класс качества семян определяли на лесосеменной станции в Центре защиты леса Красноярского края.

Биометрические показатели и зрелость семян определяли в СибГУ: жизнеспособность – по ГОСТ 13056.7-93, массу – по ГОСТ 13056.4-67. Зрелость семян устанавливали по заполнению зародышем семенного канала, выраженную в процентах.

Сравнительный анализ показателей семян проводили на основе территориально-производственного деления (On approval of the List, 2019). Уровень изменчивости показателей устанавливали по шкале Mamaev (1973).

Статистическую обработку данных, корреляционный, регрессионный анализы проводили, используя пакет программ Microsoft Office.

Результаты и их обсуждение. Анализ материалов по изменчивости размеров, массы, жизнеспособности, зрелости семян позволил выявить некоторые закономерности. Исследования, проведенные в 2016 г. (Matveeva et al., 2017), показали, что масса 1000 шт. семян, их жизнеспособность и зрелость отличались в зависимости от места их сбора. В 2018 г. масса 1000 шт. семян была больше на 17,9%, жизнеспособность – на 6,5%, зрелость – ниже на 8,0% в сравнении с 2016 годом (табл. 1).

Таблица 1

Показатели семян урожая 2016 и 2018 гг.

Показатель	max	min	Хср.	±m	V, %	P, %	Уровень изменчивости
2016 г.							
Масса 1000 шт., г	317,4	211,8	253,4	5,33	10,7	2,2	низкий
Жизнеспособность, %	95	70	83,5	1,31	6,4	7,7	низкий
Зрелость, %	99,0	76,0	94,7	1,20	6,2	1,3	низкий
2018 г.							
Масса 1000 шт., г	362,2	224,8	298,8	7,10	12,3	2,4	средний
Жизнеспособность, %	94	78	88,9	1,14	4,8	1,3	низкий
Зрелость, %	95,0	73,1	87,7	1,90	6,7	2,2	низкий

Уровень изменчивости показателей семян в 2018 г. в основном низкий (4,8-6,7%) и по массе (12,3%) средний. По данным Putenihina (2015), в 50-летних культурах сосны кедровой сибирской, произрастающих в Башкирском Предуралье, длина семян в среднем составила 10,7 мм, ширина – 7,6 мм, масса 1000 штук – 207,0 г.

Максимальные показатели семян в 2016 г. были зафиксированы при сборе шишек в насаждении, произрастающем на территории Верхнеманского, и на ПЛСУ Саяно-Шушенского (Алтае-Саянский горно-таежный лесосеменной район), а также Усинского (Средне-сибирский подтаежный лесосеменной район) лесничеств. Определено наличие связи между размерами и массой семян (табл. 2).

Наличие связи между размерами, массой семян и жизнеспособностью, зрелостью не установлено ($r=0,012-0,201$).

В насаждениях лесничеств, относящихся к Среднесибирскому подтаежно-лесостепному райо-

ну, средняя длина семян варьирует от 10,4 (Усинское) до 11,8 мм (Б.-Муртинское, Емельяновское, Назаровское, Усольское), то есть различия между вариантами достигают 13,5%, по ширине семян – до 20,5% (табл. 3).

По массе выделяются семена из насаждений Назаровского и Усольского лесничеств, которые превосходят среднее значение на 6,2-21,6%.

Таблица 2

Коэффициенты корреляции и теснота связи показателей семян

Показатель	r	Теснота связи
Длина (L) и ширина (d) семян	0,549	значительная
Длина и масса семян	0,303	умеренная
Масса и $L \times d$	0,462	умеренная
Масса и $L \times d^2$	0,487	умеренная

Таблица 3

Показатели семян сосны кедровой сибирской, заготовленных в насаждениях Среднесибирского подтаежно-лесостепного района лесостепной зоны

Лесничество	Длина		Ширина		Масса 1000 шт.		Жизнеспособность		Зрелость	
	мм	% к Хср.	мм	% к Хср.	г	% к Хср.	%	% к Хср.	%	% к Хср.
Ачинское	10,5	92,9	8,0	90,9	269,5	90,5	94	104,3	82,6	96,6
Б.-Муртинское	11,8	104,4	9,0	102,3	300,2	100,8	93	103,2	81,6	95,4
Емельяновское	11,8	104,4	8,9	101,1	277,9	93,3	81	89,9	94,8	110,9
Козульское	11,0	97,3	7,8	88,6	304,8	102,4	94	104,3	95,0	111,1
Назаровское	11,8	104,4	9,4	106,8	362,2	121,6	92	102,1	84,3	98,6
Тулунское	11,7	103,5	9,1	103,4	268,1	90,0	92	102,1	86,4	101,1
Усинское	10,4	92,0	8,6	97,7	283,8	95,3	88	97,7	73,1	85,5
Усольское	11,8	104,4	9,4	106,8	316,2	106,2	87	96,6	86,3	100,9
Среднее значение	11,3	100,0	8,8	100,0	297,8	100,0	90,1	100,0	85,5	100,0

Жизнеспособность семян колеблется в значительных пределах (81-94%), при этом самой низкой жизнеспособностью отличаются семена из Емельяновского лесничества. Однако по степени зрелости семена из этого и Козульского лесничеств превосходят семена других вариантов на 12,7-29,7%, кроме семян из Тулунского и Усольского лесничеств.

В Алтае-Саянском горно-таежном лесорастительном районе длина, ширина, абсолютная масса семян сосны кедровой сибирской варьируют в тех же пределах, что и в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе (табл. 4). Наибольшая длина была у семян, заготовленных в насаждениях

Идринского, ширина – Идринского, Даурского, масса – Саяно-Шушенского лесничеств: на 12,6-53,6% больше, чем в других насаждениях. Мелкие семена сформировались в насаждениях В.-Манского, Ирбейского, Саянского лесничеств.

Жизнеспособность семян в насаждениях данного региона ниже, чем в Среднесибирском подтаежно-лесостепном районе, особенно в насаждениях Манского, Ермаковского лесничеств. Высокой жизнеспособностью (92,5-94%) отличались семена В.-Манской, Курагинской популяций. Зрелость семян колеблется в пределах 79,4 (С.-Шушенское) – 95,0% (Манское лесничество).

Показатели семян по Западносибирскому южно-таежному равнинному району приведены по Пировскому и Тюхтетскому лесничествам (табл. 5).

Длина, ширина, масса, жизнеспособность и зрелость семян в сравниваемых вариантах отличаются незначительно (на 0,8-3,4 %).

В 2016 г. наибольшие размеры и масса 1000 шт. семян отмечены в вариантах, где шишки были собраны в насаждениях Назаровского, жизнеспособность и зрелость семян – Козульского лесничеств. Проведен сравнительный анализ средних значений показателей семян в зависимости от лесорастительной зоны (табл. 6).

Таблица 4

Показатели семян в насаждениях, произрастающих в Алтае-Саянском горно-таежном районе южно-сибирской горной зоны

Лесничество	Длина		Ширина		Масса 1000 шт.		Жизнеспособность		Зрелость	
	мм	% к Хср.	мм	% к Хср.	г	% к Хср.	%	% к Хср.	%	% к Хср.
В.-Манское	11,2	100,0	8,2	92,1	224,8	75,3	94,0	106,1	93,3	103,9
Даурское	11,2	100,0	9,8	110,1	310,8	104,2	88,5	99,9	93,8	104,4
Ермаковское	10,6	90,6	9,0	101,1	305,6	102,4	85,0	95,9	92,1	102,6
Идринское	12,0	107,1	9,4	105,6	315,2	105,6	89,0	100,4	88,8	98,9
Ирбейское	10,8	96,4	8,7	97,8	274,6	92,0	91,7	103,5	86,5	96,3
Кизирское	11,4	101,8	8,9	100,0	303,6	101,7	91,0	102,7	93,4	104,0
Курагинское	11,4	101,8	9,1	102,2	312,3	104,6	92,5	104,4	84,6	94,2
Манское	10,6	90,6	8,4	94,4	300,4	100,7	78,0	88,0	95,0	105,8
Саянское	11,3	100,9	9,1	102,2	291,3	97,6	87,5	98,8	90,8	101,4
Саяно-Шушенское	11,4	101,8	8,8	98,9	345,2	115,7	89,0	100,4	79,4	88,4
<i>Среднее значение</i>	11,2	100,0	8,9	100,0	298,4	100,0	88,6	100,0	89,8	100,0

Таблица 5

Показатели семян из насаждений Западносибирского южно-таежного равнинного района таежной лесорастительной зоны

Лесничество	Длина		Ширина		Масса 1000 шт.		Жизнеспособность		Зрелость	
	мм	% к Хср.	мм	% к Хср.	г	% к Хср.	%	% к Хср.	%	% к Хср.
Пировское	11,4	96,6	9,5	102,2	308,3	101,0	86,5	100,8	83,4	97,0
Тюхтетское	12,2	103,4	9,0	96,8	302,2	99,0	85,0	99,1	88,5	102,9
<i>Среднее значение</i>	11,8	100,0	9,3	100,0	305,2	100,0	85,8	100,0	86,0	100,0

Показатели семян сосны кедровой сибирской, произрастающей в разных лесорастительных зонах, колеблются в небольших пределах. Различия по длине семян не превышает 5,4%, ширине – 6,9%, массе – 3,7%, жизнеспособности – 5,7%, зрелости – 4,4%. Наибольшие различия проявлялись в насаждениях, расположенных в лесничествах внутри лесорастительных зон. Отношение

ширины семени к его длине колеблется от 0,71 до 0,88. По данным Nekrasova (1972), это отношение варьирует от 0,70 до 0,72.

В пределах каждого лесорастительного района выделены лесничества, где семена имели наибольшие показатели. Таксационные показатели насаждений значительно отличаются по составу и классу бонитета (табл. 7).

Таблиця 6

**Средние показатели семян сосны кедровой сибирской из насаждений
разных лесорастительных зон**

Лесорастительная зона	Лесной район	Длина		Ширина		Масса 1000 шт.		Жизне-способность		Зрелость	
		мм	% к Хср.	мм	% к Хср.	г	% к Хср.	%	% к Хср.	%	% к Хср.
Лесостепная	Средне-сибирский подтаежно-лесостепной	11,3	100,0	8,7	97,8	295,2	98,8	90,6	101,9	85,4	97,4
Южно-сибирская горная	Алтае-Саянский горно-таежный	11,2	99,1	8,9	100,0	298,4	99,9	88,5	99,6	89,8	102,4
Таежная	Западно-Сибирский южно-таежный равнинный	11,8	104,4	9,3	104,6	305,2	102,1	85,5	96,2	86,0	98,1
Среднее значение по опыту		11,3	100,0	8,9	100,0	298,8	100,0	88,9	100,0	87,7	100,0

Таблиця 7

Таксационные показатели насаждений, где семена имели наибольшие значения

Лесорастительная зона	Лесной район	Лесничество	Состав древостоя	Класс бонитета
Лесостепная	Среднесибирский подтаежно-лесостепной	По массе семян		
		Назаровское	3К5П2Е	II
		По зрелости семян		
Южно-сибирская горная	Алтае-Саянский горно-таежный	Козульское	4К2Е2П2Б	III
		По массе семян		
		С.-Шушенское	10К (ПЛСУ)	I
		По жизнеспособности семян		
		В.-Манское	6К4Б	III

Крупные семена (урожай 2018 г.) сформировались в насаждениях, произрастающих в Назаровском лесничестве и на ПЛСУ Саяно-Шушенского лесничества. Наибольшая зрелость была у семян из насаждения Козульского, жизнеспособность – В.-Манского лесничеств. Класс бонитета – I-III, в составе насаждения, кроме сосны кедровой сибирской, произрастают пихта, ель, береза.

Выводы. Показатели семян сосны кедровой сибирской варьируют в зависимости от многих факторов, включая генетические и условия произрастания. Сопоставляя данные урожая 2016 и 2018 гг. установлено, что наибольшая масса семян была при сборе шишек в течение двух лет в насаждении Назаровского и на ПЛСУ Саяно-Шушенского лесничеств. По жизнеспособности и зрелости семена

отличались в зависимости от года сбора шишек. Учитывая, что посевные качества семян влияют на всхожесть и дальнейший рост сеянцев, целесообразно при выращивании посадочного материала использовать в первую очередь семена из выделенных насаждений и ПЛСУ на территории определенного лесного района лесорастительной зоны.

References

Avrov, F.D. (1989). Sowing quality of seed and phenology development trees township pine stands. In *The problem of Cedar. Organization of complex economy* (pp. 113-121). Tomsk: Center of the USSR Academy of Sciences (in Russian).

- Blada, I. & Popescu, F. (2017). Swiss stone pine provenance experiment in Romania: II variation in growth and branching traits to age 14. *Silvae Genetica*, 56 (1-6), 148-158. <https://doi.org/10.1515/sg-2007-0023>
- Bryncev, V.A. (1996) Influence of seed quality cedar on dirt germination and seedling growth. *Forestry*, 6, 39 (in Russian).
- Debrinjuk, Y.M., & Veremchuk, Yu. S. (2014). Seeding quality of seeds in Abies white in stands of the Ukrainian Carpathians In *Gardening, seed growing, introduction of woody plants*, 23-26. Krasnoyarsk, Russia: SibSTU (in Russian).
- Gabrilavicius, R. (2002). Distribution of Lithuanian Scots pine trees according to breeding categories and their seed production in seed stands. *Dendrobiology*, 47, 89-92. file:///C:/Users/User/Downloads/47s_89_92.pdf
- Hagner, M. (1980). Geographical variation in seed quality of lodge pole pine and within stands. Res. Notes. Pep. Forest Genet. Sured Univ., 30, 275-286.
- Hanson, T. (2018). *Triumph of seeds: seed subdued flora and impacted on human civilization*. Moscow: Alpina non fiction (in Russian).
- Iroshnikov, A.I. (1967). Cedar Siberian seeds quality in mountain areas. In *Geographical aspects of Mountain Forestry and forest management* (pp. 153-155). Chita: TRANS-Baikal branch (in Russian).
- Kroon, J., Wennstrom, U., Prescher F., Lindgren D., & Mullin T.J. (2008). Estimation of clonal variation in seed cone production over time in a Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) seed orchard. *Silvae genetica*, 58 (1-2), 53-62. <https://doi.org/10.1515/sg-2009-0007>
- Krylov, G. V., Talancev, N. K., & Kozakov N. F. (1983). *Cedar*. Moscow: Forest industry (in Russian).
- Kuzmina, N.A., & Kuzmin, S.R. (2017). Analysis of the dynamics of growth of Scots pine provenances in geographic cultures in central Siberia. *Siberian Journal of Forest Science*, 2, 31-39 http://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/upload/iblock/1ad/1adfc4cd11ec_05938ddd10a984045a8.pdf (in Russian).
- Mamaev, S.A. (1973). *Forms of intraspecific variability of woody plants*. Moscow: Science (in Russian).
- Matveyev, A. V., & Semerikov, L. F. (1995). Ecology of Siberian larch. *Ecology*, 1, 8-19 (in Russian).
- Matveeva, R.N., Dyrdin, S.N., & Tarasenko, I.G. (2017). Variability of *Pinus Siberian* pine seeds indicators in forest areas of Krasnoyarsk region. In *Gardening, seed growing, introduction of woody plants*, 103-105. Krasnoyarsk, Russia: SibSTU (in Russian).
- Nakvasina, E.N. (2001). Selective evaluation of Climatypes of Common pine in the geographical cultures of the Arkhangelsk region. *Forestry Journal*, 3, 27-34 <https://cyberleninka.ru/article/n/selektcionnaya-otsenka-klimatipov-sosny-obyknovennoy-v-geograficheskikh-kulturah-arhangel'skoy-oblasti> (in Russian).
- Nekrasova, T.P. (1972). *Biological basis of seed production of Siberian cedar*. Novosibirsk: Science
- On approval of the List of forest growing zones of the Russian Federation and the List of forest regions of the Russian Federation (2019). Order N 367 of 08/18/2014 as amended on 02/19/2019 Moscow: Ministry of Natural Resources and Ecology of the Russian Federation (in Russian).
- Patlaj, I.N. (1976). Growth and stability of pine in geographic cultures of the second generation in Trostjanec forestry, Sumy region. *Forestry Journal*, 5, 34-37 (in Russian).
- Putenihina, K. V., Shigapov, Z.H., Mkrtchyan, M.A. & Putenihin V.P. (2014). Quantitative values of Cones and Seeds in introduced siberian Stone pine. *Coniferous of the boreal zone*, 32 (5-6), 59-64 <https://cyberleninka.ru/article/n/kolichestvennyepokazateli-shishek-i-semyan-kedra-sibirskogo-priintroduktsii> (in Russian).
- Putenihina, K. V. (2015). Variability of Cedar generative organs when introduced in Bashkir Predural: breeding opportunities. In *The conservation of forest genetic resources of Siberia* (pp. 146-147). Krasnoyarsk: Siberian Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian).
- Spodarev, N. N. (1967). About the influence of external conditions on the seeding quality cedar siberian seeds. In *Works on forestry in Western Siberia* (pp. 62-106). Novosibirsk (in Russian).
- Tcherepnin, V.L. (1980). *Variability of Scots pine seeds*. Novosibirsk: Science (in Russian).
- Xu Li-an, Wang Z., & Cao H. (1999). Study variability of offspring free pollinate of *Pinus massoniana* plus trees in Fujian province. *Fujian Linxueyuan Xuebao = Journal of Fujian College of Forest*, 19 (2). 114-117.
- Xu Liang, Bao W., & He Y. (2004). Morphological characteristics and geographical variability in cones and seeds in four populations *Cupressus chenggiana* S.Y. Hu. *Yingyong yu Huanjing Shengwu Xuebao = Chin. J. Appl. and Environ. Biol.*, 10 (6), 707-711.
- Vorobiev, V.N. et al. (1979). *Cedar seeds*. Novosibirsk: Science (in Russian).
- Zemljanoi, A.I. (1974). About the nature of the genetic diversity of Cedar seeds in relation to altitudinal zonation in Altai. In *State and prospects of development of forest genetics, plant breeding, seed production and introductions. Methods of selection of woody plants* (pp. 239-242). Riga (in Russian).

Variability of pine cedar siberian seeds, which grow in different forest areas of Siberia

R. Matveeva¹, O. Butorova², S. Dyrdin³, I. Tarasenko⁴

The indicators for seeds of Pine cedar Siberian (*Pinus sibirica* Du Tour) growing in different forest areas of the Krasnoyarsk territory and Irkutsk region have been presented. The object of research was the seeds harvested in the 20 populations. Cones were collected in plantations and on permanent forest seed plots (PFSP) in late August – early September of 2016 and 2018. Seeds were stored in the warehouses in boxes, bags or in bulk. Biometric indicators of seeds and their sowing qualities were compared. Research was conducted to study the mass, viability, and maturity of seeds. A mass of 1000 pcs., viability and quality class of seeds were determined at the forest seed station of the Krasnoyarsk territory. Biometric indicators and seed maturity were determined at SibSU: maturity was specified by filling the seed canal with the embryo, expressed in a percentage. The research conducted in 2016 showed that the mass of 1000 pcs. of seeds, their viability and maturity differed depending on the place of their collection. The largest sizes and weight for 1000 pcs. of seeds are marked in the variants where the cones were collected in the Nazarovsky plantations, the viability and maturity of the seeds – from the Kozulsky forestry. In 2018, the mass of 1000 pcs. of seeds was 17.9% more, viability – 6.5%, maturity was lower by 8.0% compared to 2016. The level of seed indicators variability is mainly low (4.8-6.7%) and by mass (12.3%) it was average in 2018. The maximum seed indicators were found when collecting cones in the plantation of the Verkhnemansky territory, and on the PFSP of the Sayano-Shushensky (Altai-Sayan mountain-taiga forest seed region), as well as the Usinsky (Middle Siberian subtaiga forest seed region) forestry. The relationship between size and weight

of the seeds ($r=0.303-0.549$) was determined. The relationship between size, seed weight and viability, maturity has not been established ($r = 0.012-0.201$). A comparative analysis of the average values of seed indicators depending on the forest zone was carried out. Indicators of seeds of *Pinus sibirica* Du Tour, growing in different forest zones, fluctuate within small limits. The difference in seed length does not exceed 5.4%, width – 6.9%, weight – 3.7%, viability – 5.7%, maturity – 4.4%. The greatest differences were manifested in the stands located in the forest areas inside the forest zones. It has been established that indicators for seeds of *Pinus sibirica* Du Tour vary depending on many factors, including genetic and growing conditions. Comparing the harvest data of 2016 and 2018, it was found that the largest mass of seeds was during the collection of cones for two years in the Nazarovsky plantation and on the PFSP of the Sayano-Shushensky forestry. Viability and maturity of the seeds differed depending on the year of collection of cones. Considering that the sowing qualities of seeds affect the germination and further growth of seedlings, it is advisable to use seeds from selected stands and PFSP in a particular forest area for growing the planting material.

Key words: *Pinus sibirica*, seeds, harvest, vitality, maturity, correlation, forestry, population, geographical origin, Krasnoyarsk region, Irkutsk region.

Мінливість показників насіння сосни кедрової сибірської в різних лісорослинних районах Сибіру

Р.Н. Матвєєва¹, О.Ф. Буторова², С.Н. Дирдін³,
І.Г. Тарасенко⁴

Наведено біометричні та якісні показники насіння *Pinus sibirica* Du Tour), що росте у насадженнях різних лісорослинних районів Красноярського

¹ Rimma Matveeva – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of breeding and planting SibSU, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: matveevaRN@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3476-9622>

² Olga Butorova – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of breeding and planting SibSU, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: selekcia@sibgtu.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-7464>

³ Sergiy Dyrdin – PhD of Technology, Associate Professor, Department of Automobiles and Transport Technological Machines, Reshetnev Siberian State University of Science and Technology Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: Sergdirdin@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6352-2381>

⁴ Iryna Tarasenko – Engineer of the 1 category of the Forest seed Station «Center for Forest Protection of the Krasnoyarsk region» of the FSBI «Roslesozashita», str. Akademgorodok, 50a, Krasnoyarsk, 660036, Russian Federation. Tel.: (391)290-75-23. E-mail: tarasenkoig@rcfh.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9976-4576>

¹ Матвєєва Рімма Нікітічна – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри селекції та озеленення. Сибірський Державний університет науки і технологій імені академіка М.Ф. Решетньова, пр. Миру, 82, м. Красноярськ, 660049, Росія. Тел.: (391)227-58-09. E-mail: matveevaRN@yandex.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3476-9622>

² Буторова Ольга Федорівна – доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри селекції та озеленення. Сибірський Державний університет науки і технологій імені академіка М.Ф. Решетньова, пр. Миру, 82, м. Красноярськ, 660049, Росія. Тел.: (391)227-58-09. E-mail: Butorova.olga@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-7464>

³ Дирдін Сергій Миколайович – кандидат технічних наук, доцент кафедри автомобілів і транспортних технологічних машин, Сибірський Державний університет науки і технологій імені академіка М.Ф. Решетньова, пр. Миру, 82, м. Красноярськ, 660049, Росія. Тел.: (391)2275809. E-mail: Sergdirdin@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6352-2381>

⁴ Тарасенко Ірина Генрієвна – інженер I категорії лісонасінної станції «Центру захисту лісу Красноярського краю» філіалу ФБУ «Рослісозахист», вул. Академгородок, 50а, м. Красноярськ, 660036, Росія. Тел.: (391)2907523. E-mail: tarasenkoig@rcfh.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9976-4576>

краю Іркутської області. Об'єктом досліджень було насіння, заготовлене в насадженнях на території 20-ти лісництв. Шишки заготовляли у насадженнях та на постійних лісонасінних ділянках (ПЛНД) наприкінці серпня – початку вересня 2016 і 2018 років. Насіння зберігали у складських приміщеннях в ящиках, мішках або розсипом. Дослідження здійснювали для вивчення маси, життєздатності, зрілості насіння.

Було співставлено біометричні показники насіння та їхні посівні якості. Масу 1000 шт., життєздатність, клас якості насіння визначали на лісонасінній станції Красноярського краю. Біометричні показники і зрілість насіння визначали в лабораторії Сибірського ДТУ: зрілість встановлювали щодо заповнення зародком насіннєвого каналу, виражену у відсотках. Розміри, маса насіння, його життєздатність і зрілість відрізнялися залежно від місця заготівлі. Довжина насіння варіювала від 10,4 до 12,2 мм, ширина – від 7,8 до 9,8 мм, маса 1000 штук – від 224,8 до 362,2 г, життєздатність становила 78-94 %, ступінь зрілості – 73,1-95,0%. У 2018 р. маса 1000 шт. насіння була більшою на 17,9%. Рівень мінливості показників насіння переважно низький і середній. У низці лісництв виділено насадження, в яких насіння мали найбільші показники: Назаровське,

Козульське (Середньо-Сибірський підтайгово-лісостеповий район лісостепової зони), Саяно-Шушенське, Верхньо-Манське (Алтайо-Саянський гірничо-тайговий район Південно-сибірської гірської зони) лісництва. Встановлено значну і помірну залежність між розмірами насіння та їхньою масою.

Показники насіння сосни кедрової сибірської варіюють залежно від багатьох чинників, враховуючи генетичні та умови зростання. Зіставляючи дані врожаю 2016 і 2018 рр. встановлено, що найбільша маса насіння була під час збирання шишок впродовж двох років у насадженні Назаровського і на ПЛНД Саяно-Шушенського лісництв. За життєздатністю та зрілістю насіння відрізнялося залежно від року заготівлі шишок. З огляду на те, що посівні якості впливають на схожість насіння і подальший ріст сіянців, доцільно під час вирощування садивного матеріалу використовувати передусім насіння з виділених насаджень і ПЛНД на території певного лісового району конкретної лісорослинної зони.

Ключові слова: *Pinus sibirica*; насіння; урожай; життєздатність; зрілість; кореляція; лісництво; популяція; географічне походження; Красноярський край; Іркутська область.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411932>
Article received 2019.05.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Svitlana Raspopina
s_raspopina@ukr.net

Kharkiv region, Kharkiv district, the village
of «Dokuchaevske-2» 62483, Ukraine

УДК 630*91: 631.459.3

Піщані ґрунти та стан лісорозведення у зоні інтенсивної дефляції України

С. П. Распопіна¹

Надмірна розораність земель України спричинила інтенсивний розвиток ерозійних процесів і як наслідок – деградацію її ґрунтового покриву. Для зупинення процесу деградації необхідно вилучити з обробітку від 6,5 до 10 млн га малопродуктивних земель, здебільшого у Степу, територія якого є найбільш розораною. Частину вилучених земель передають під заліснення. З'ясовано, що найбільші обсяги лісорозведення останніх десятиліть збігаються з виконанням Державної цільової програми «Ліси України» на 2010-2015 рр., упродовж якої під заліснення було прийнято близько 210 тис. га малопродуктивних земель, здебільшого (понад 190 тис. га) держлісгоспами степового регіону. На 01.01.2019 р. загальна площа прийнятих, але незаліснених земель, зменшилась до 44777 га, причому абсолютно більша їх частина (96,9%) припадає на держлісгоспи у Степу. Наведено показники приживлюваності та збережуваності лісових культур, створених під час лісорозведення у цій природно-кліматичній зоні, які є значно нижчими за нормативні. Показано, що максимальні площі загиблих культур у Степу зосереджені на територіях державних лісгосподарських підприємств Донецького, Миколаївського та особливо Херсонського ОУЛМГ. Охарактеризовано дернові опідзолені піщані ґрунти, які, унаслідок вкрай несприятливих для сільськогосподарських культур властивостей (безструктурність, низькі вологоємність, гумусованість, трофічність тощо), значною мірою передають під заліснення. Доведено, що рівень їхньої родючості цілком залежить від вмісту глинистих часток. Запропоновано маркери для визначення як дефляційного впливу на ґрунти піщаного складу, так і їхньої лісотипологічної оцінки.

Ключові слова: вітрова ерозія; степ; малопродуктивні землі; заліснення; лісові культури; вміст фізичної глини.

Вступ. Ситуація, що нині склалася з ефективним використанням земель в Україні, близька до критичної. Надмірна розораність земель (близько 57% території) зумовила значне зниження стійкості агроландшафтів до несприятливих природних чинників, зокрема спричинила інтенсивний розвиток ерозійних процесів і як наслідок – деградацію ґрунтового покриву. Площі земель країни, які потерпають від дії водної ерозії, становлять 13,3 млн га, дефляції – 6 млн га, а в роки із масштабними пиловими

бурями – 20 млн га (Baliuk & Tovazhnianskyi, 2010). У березні 2007 р. зафіксовано одну із наймасштабніших в Україні пилових бур останніх років, яка охопила 20% території України: частину Одеської, всю Миколаївську, Херсонську, Запорізьку області, північ Автономної Республіки Крим, південні райони Кіровоградської й Дніпропетровської та західні Донецької областей. Втрати ґрунту з не вкритої рослинністю площі в епіцентрі пилової бурі становили 150-400 т·га⁻¹ (Chornyi & Chorna, 2008), а загалом

¹ Распопіна Світлана Петрівна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувачка кафедри лісових культур і меліорацій. Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, п/в «Докучаєвське-2» Харківської обл., 62483, Україна. Тел.: 0572-99-72-56, +38-068-459-64-23. E-mail: s_raspopina@ukr.net
ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

від ерозії в Україні щорічно втрачається чистого доходу сільськогосподарського виробництва майже на 3 млрд доларів США (Sayko, 2008).

Найдієвішим засобом зупинення та запобігання деградації ґрунтів є оптимізація співвідношення площі ріллі й екологічно стабілізуючих угідь. Вона досягається шляхом вилучення з обробітку деградованих і малопродуктивних земель із наступною їхньою консервацією й трансформацією у лісові та кормові угіддя. За різними оцінками (Baliuk & Tovazhnianskyi, 2010), вилучення потребує від 6,5 до 10 млн га ріллі, здебільшого у Степу, територія якого найбільш розорана (табл. 1).

Таблиця 1

Розораність (поточна та оптимальна) сільськогосподарських угідь степової зони за адміністративними областями України, %

Область	Поточна	Оптимальна
Луганська	77	41
Дніпропетровська	88	44
Донецька	71	66
Запорізька	88	36
Кіровоградська	89	56
Миколаївська	88	32
Одеська	85	39
Херсонська	87	23

Визначено, що для рівнинної частини України оптимальне співвідношення між площею ріллі, кормових угідь і лісів має становити 1 : 1,6 : 3,6, а лісистість території Степу залежно від умов зволоження – від 5,3 до 10,6%, а фактично зазначене співвідношення становить 1 : 0,2 : 0,3 (Biallovich, 1972), а лісистість – 3,7-6,9%. Одним із стратегічних завдань лісового господарства України є збільшення лісистості території до нормативного рівня – 20% (State Target Program «Forests of Ukraine», 2010). Для його досягнення необхідно додатково заліснити щонайменше 2,5 млн га земель, причому це здебільшого виведені з-під сільськогосподарського користування малопродуктивна рілля та різні види деградованих ґрунтів.

У Степу України одними із основних видів малопродуктивних ґрунтів є ґрунти легкого гранулометричного складу, зокрема дернові опідзолені на давньоалювіальних або еолових пісках (Gladkiy, 1960, Gael & Smirnova, 1999). У цій зоні піщані ґрунти, зважаючи на їхню сухість, є безперспективними для використання у сільськогосподарському виробництві, водночас на них формуються типи лісорослинних умов, придатні для росту соснових насаджень, які виконують важливі різноманітні захисні функції та, подекуди, є доволі продуктивними. Рівень трофності місцезростань залежить від вмісту глинистих часток та підвищується з його

зростанням у межах від борового до сугрудового типів (Raspopina, 2017). Лісорозведення на прийнятих держлісгоспами землях потрібно проводити з максимальним урахуванням лісорослинного потенціалу ґрунтів (Raspopina, 2017). Особливо це стосується піщаних ґрунтів, розташованих у зоні впливу несприятливих природно-кліматичних умов та небезпечних процесів, зокрема дефляції, які зумовлюють їхню деградацію (Prymak, 2001).

На піщаних землях, переданих у лісомеліоративний фонд, здебільшого створюють ліси захисно-господарського призначення, захисні насадження для закріплення рухомих пісків, культури спеціального призначення (вербові плантації тощо) (Dryuchenko, 1962). Черговість заліснення піщаних ділянок визначають залежно від господарської доцільності. Так, наприклад, рухомі піски, які загрожують засипанням господарських об'єктів, мають пріоритет заліснювання. Загалом найбільші масиви піщаних ґрунтів розташовані у південно-східній частині України, де під дією природних чинників сформувалася зона активної дефляції. Останнім часом тут, унаслідок потужного впливу антропогенного чинника, зокрема надмірної розораності території, поряд з інтенсивним знищенням деревної рослинності (здебільшого через лісові пожежі та несанкціоновані вирубки), відбувається активізація ерозійних процесів. З огляду на значну дефляційну вразливість та вкрай низький рівень родючості піщаних ґрунтів південно-східної частини України, оцінювання рівня еродованості та загалом їхнього лісорослинного потенціалу є особливо актуальною проблемою.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – лісорозведення та піщані ґрунти в умовах Лівобережного Степу України. Предмет дослідження – стан лісорозведення і трансформація властивостей піщаних ґрунтів у провінції інтенсивної дефляції України. Мета роботи – оцінити стан лісорозведення та властивості піщаних ґрунтів у провінції інтенсивної дефляції (Луганська та Херсонська області), запропонувати маркери для визначення ступеня їхньої дефляції та лісотипологічної оцінки.

Стан лісорозведення у степових умовах України оцінювали на основі аналізу статистичних даних Держлісагентства України щодо обсягів лісорозведення, приживлюваності та збережуваності 1-3-річних лісових культур за окремими обласними управліннями лісового та мисливського господарств (ОУЛМГ) степового регіону.

Властивості піщаних ґрунтів (натурні та лабораторні) оцінювали на прикладі дернових опідзоленних ґрунтів на давньоалювіальних (еолових) пісках і примітивних ґрунтів початкових стадій формування, розташованих у зоні інтенсивної дефляції (південний схід України). Натурні – за методикою польових досліджень ґрунтів (Polupan et al., 1981) на землях державних лісгосподарських підприємств Харківського, Луганського, Херсонського ОУЛМГ, лабораторні – за загальноприйнятими у ґрунто-

знавстві методиками (Methods for determining, 2003, 2005). Для аналізу та узагальнення отриманих результатів застосовували методи математичної статистики.

Результати та обговорення. Найбільші обсяги лісорозведення останніх десятиліть збігаються з виконанням Державної цільової програми «Ліси України» на 2010-2015 рр. (State Target Program, 2009). Так, упродовж 2010-2014 рр. держлісгоспами під заліснення було прийнято близько 210 тис. га деградованих і малопродуктивних земель, зокрема у Поліссі – 4981,9, Лісостепу – 13540,5, Степу – 190931,9, Карпатах – 578,6 га. Внаслідок низки причин, насамперед через недофінансування, складність процедури прийняття земель, а також політичну ситуацію в Україні, зазначену Програму було реалізовано частково, а після закінчення терміну її дії цілком призупинено. На 01.01.2019 р. загальна площа прийнятих, але незаліснених земель, порівняно з 2014 р., зменшилась до 44777 га, тобто майже у п'ять разів, більшість з яких (96,9%) припадає на підприємства степового регіону, особливо Одеського – 12710 га (29,3%), Луганського – 12674 (29,2), Херсонського – 6272 (14,5%) ОУЛМГ (Public report, 2018) (рис. 1).

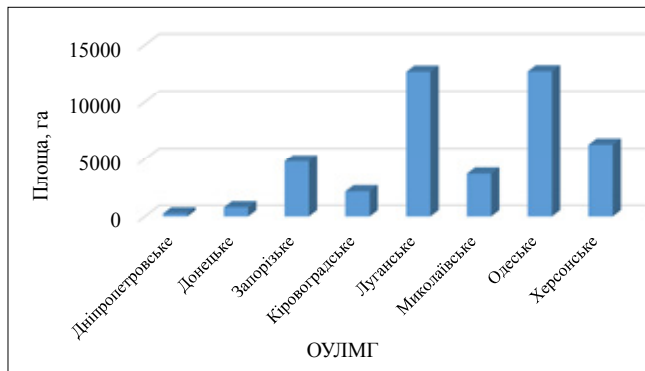


Рис. 1. Площі незаліснених земель, прийнятих ОУЛМГ для заліснення станом на 01.01.2019 р.

Створення лісових насаджень у степових умовах завжди було і є значною проблемою. Так, упродовж останніх трьох років (2016-2018 рр.) середня величина фактичної приживлюваності 1-3-річних лісових культур під час лісорозведення становить 60,9% за нормативної – 70,1% (Public report, 2018). Найвищі значення фактичної приживлюваності зафіксовано на підприємствах Кіровоградського (78,0%), Донецького (71,6), Одеського (70,2), Запорізького ОУЛМГ (68,6%), а найнижчі – Дніпропетровського, Луганського та особливо Херсонського ОУЛМГ – 50,0, 50,1, 34,2% відповідно.

Аналіз обсягів загиблих культур, створених під час лісорозведення у попередні роки, показав, що їхні максимальні площі зосереджені на підприємствах Донецького, Миколаївського та Херсонського ОУЛМГ, причому у Херсонському ОУЛМГ загинуло 100% культур, а загалом для степової зони їхня частка становить 61% (рис. 2). Основною причиною загибелі лісових культур є посуха, від якої на

землях Дніпропетровського, Луганського та Херсонського ОУЛМГ всохло 97,3, 94,3 та 65% деревних рослин відповідно.

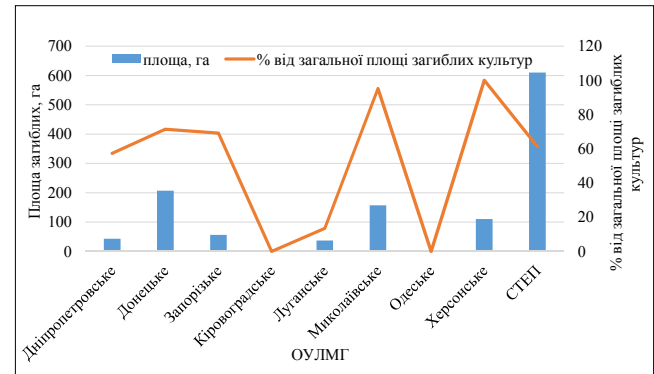


Рис. 2. Загиблі під час лісорозведення лісові культури попередніх років створення на підприємствах ОУЛМГ степового регіону (станом на 01.01.2019)

Загальна частка загиблих лісових культур від посухи у держлісгоспах степової зони становить 66,3%, ще 10% загинуло від пожеж, 7,8% – від диких тварин, 1,2% – внаслідок недостатнього догляду, 14,2% – з інших причин. Наведені дані з приживлюваності та збережуваності лісових культур свідчать про значну їхню варіабельність (див. рис. 2), яка зумовлена неоднорідністю ґрунтово-кліматичних умов у межах степової зони. Так, якщо ґрунтовий покрив підприємств, підпорядкованих Кіровоградському, Донецькому, Одеському ОУЛМГ, переважно представлений родючими ґрунтами чорноземного типу – чорноземами звичайними та південними, то на території Луганського, й особливо – Херсонського ОУЛМГ значною мірою поширені малопродуктивні ґрунти піщаного складу – дернові опідзолені, а подекуди – дефльовані примітивні початкових стадій формування (рис. 3).

Примітивні ґрунти, поряд із дерновими опідзоленими, поширені на аренах Нижньодніпровських (Олешковських) пісків. Дернові опідзолені ґрунти належать до ґрунтів початкових стадій опідзолення. Відомо, що так їх уперше назвав видатний учений-лісознавець Г.М. Висоцький (Migunova, 2010), їхня інша поширена назва – дернові борові (Polupan, 1981). Подібними до цих ґрунтів є дерново-лісові (формується під ксерофітно-рідкотрав'яними сосняками), які виділено у національній класифікації ґрунтів Російської Федерації (Shishov, 2004). Дернові опідзолені ґрунти характеризуються недиференційованим за мулом профілем, яскраво вираженим максимумом гумусу та біогенних елементів (на фоні їх дуже низького вмісту) у верхніх горизонтах і класичним докучаєвським набором генетичних горизонтів: (А) (гумусовий), (В) (перехідний), (С) (порода), власне підзолистий горизонт відсутній (див. рис. 3). Типовою їхньою рисою є деяка освітленість гумусового горизонту та наявність на глибині 40-60 см горизонту жовтого (жовтувато-іржавого) забарвлення. Характерними ознаками також є літогенність (присутність вже з поверхні майже не зміненої

грунтоутворенням материнської породи), щільність складення, безкарбонатність, незначні потужність, гумусованість і трофність, піщаний або глинисто-

піщаний гранулометричний склад (табл. 2). Досить часто у їхньому профілі трапляються поховані ґрунти (див. рис. 3).



Типовий профіль дернового опідзоленого ґрунту



Типовий профіль дефльованого примітивного ґрунту



Похований (на глибині 38 см) ґрунт у профілі дефльованого примітивного ґрунту

Рис. 3. Дерновий опідзолений ґрунт (ДП «Ізюмське ЛГ» Ізюмське лісництво, кв. 385, вид. 4) і дефльовані слабогумусовані та негумусовані піски на аренах Нижньодніпров'я (Голопристанське лісництво кв. 16, вид. 6)

Таблиця 2

Середньопрофільні значення показників ґрунтів арен Степу (n – 37-92)

Потужність Н-горизонту, см	Вміст ФГ, %	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Гумус	N	P	K
				%			
26±8,0	5,7±0,38	4,8±0,10	3,8±0,06	0,80±0,187	0,05±0,004	0,02±0,003	0,08±0,009

Отже, дернові опідзолені ґрунти лісових місцезростань об'єднують у собі групу ґрунтів легкого гранулометричного складу, які сформувалися під добре освітленими сосновими лісами з розвиненим трав'яним покривом (Gael, 1998, Driuchenko, 1962, Hladkyi, 1960).

Гранулометричний склад, зокрема вміст глинистих часток, є одним із основних чинників, який визначає лісорослинний потенціал ґрунтів, особливо соснових місцезростань (Raspolina, 2017). За результатами наших досліджень, збільшення вмісту фізичної глини у гумусовому шарі легких ґрунтів на 1 % сприяє підвищенню середньої висоти соснових деревостанів приблизно на 0,6 м (Raspolina, 2011). Доведено, що гранулометричний склад піщаних ґрунтів у зоні Північного (Луганська та Харківська обл.) та Сухого Степу (Херсонська обл.) є подібним та характеризується домінуванням фракції середнього піску у доволі вузькому діапазоні значень – 61,0 та 65,8 % відповідно (рис. 4).

Відомо, що саме піщані ґрунти є найуразливішими щодо дефляції (Scientific and applied bases, 2010). В Україні провінція активної дефляції розташована на південному сході (Донецька, Луганська та південні частини Миколаївської, Запорізької й Херсонської

областей), тобто саме там, де зосереджені найбільші площі прийнятих, проте незаліснених земель (див. рис. 1). З огляду на те, що під час дефляції відбувається механічна руйнація та переміщення ґрунту, однією з основних діагностичних ознак його еродованості є зміна потужності генетичних горизонтів, насамперед гумусового, або ж потужності усього ґрунтового профілю (Sobolev, 1955). Унаслідок вітрової ерозії утворюються дві зони – дефляції (звідки ґрунт видувається) та акумуляції (де він нагромаджується). Якщо дефляції піддаються ґрунти чорноземного типу, то одним із основних маркерів ступеня їхнього руйнування є зменшення потужності Н-горизонту. Так, під час слабкої дефляції цей горизонт скорочується менш як на 10 %, середньої – 10-20 %, сильної – понад 20 % (Prymak, 2001). Визначити тільки за цією ознакою еродованості піщаних ґрунтів у степових умовах доволі проблематично внаслідок низки причин, зокрема – здебільшого дуже незначної потужності гумусового горизонту (подекуди він взагалі відсутній або перебуває на стадії формування) та її високої варіабельності через складний рельєф сухих арен. Насамперед виникають труднощі під час вибору ґрунту, профіль якого б слугував еталоном (контролем) оцінювання

рівня дефляції. Тому як основний маркер дефляції піщаних ґрунтів ми пропонуємо використовувати не потужність, а один із головних морфологічних показників ґрунту – забарвлення, а також вміст фізичної глини у горизонті, який виходить на поверхню (табл. 3). Вибір забарвлення як маркера зумовлений різкими переходами за кольором між

генетичними горизонтами у верхній частині профілю. Так, у посушливому кліматі забарвлення піщаних ґрунтів здебільшого змінюється від світло-сірого у He-горизонті до брудно-жовтого (жовтого, жовтувато-іржавого) у перехідному (Ph) та світло-жовтого (жовтувато-сталевого) у Р-горизонті.

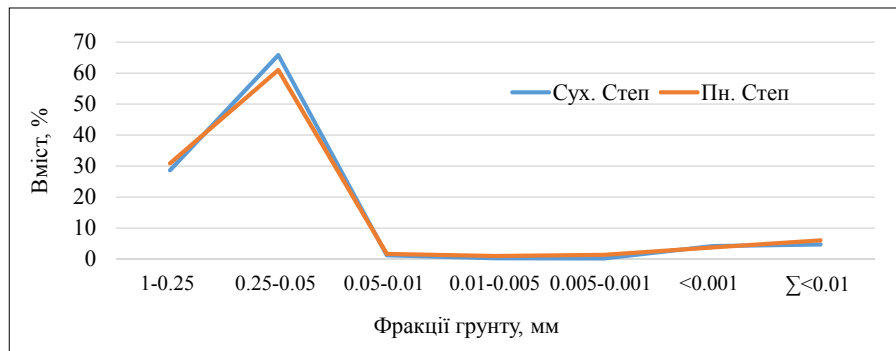


Рис. 4. Гранулометричний склад ґрунтів піщаного складу в степових умовах, % (n – 92)

Таблиця 3

Визначення ступеня дефляції і трофності ґрунтів піщаного складу у зоні інтенсивної дефляції (Південний Схід України)

Ступінь дефляції	Горизонт ґрунту, задіяний в ерозійному процесі		Трофотоп (вміст ФГ, %)		
	символ	забарвлення	A	B	C
слабкий	He	світло-сірий	$\frac{A}{<5}$	$\frac{B}{5-7}$	$\frac{C}{7-12}$
середній	Ph (HP)	брудно-жовтий (жовтий)	$\frac{A}{<5}$	$\frac{B-A}{5}$	$\frac{C-B}{7}$
сильний	P (Ph)	світло-жовтий	$\frac{A}{<5}$	$\frac{A}{<5}$	$\frac{B}{5-7}$

Щодо використання вмісту фізичної глини, то цей показник є найінформативнішим як під час визначення ступеня дефляції ґрунту, так і загалом його лісотипологічного оцінювання. Зважаючи на те, що наслідком дефляції є зниження родючості ґрунту, то, визначаючи ступінь ерозійного впливу, ми фактично оцінюємо його лісорослинний потенціал (див. табл. 3). Зауважимо, що наведені у табл. 3 величини вмісту фізичної глини, за якими визначається трофотоп ділянки, відповідають певному різновиду ґрунту: < 5 – пісок, 5-7 – пісок глинистий, 7-12% – супісок легкий (Rasporina, 2017). Такий підхід дає змогу визначити трофотоп ділянки вже під час натурного дослідження як за забарвленням ґрунту, так і за допомогою польового «сухого» методу визначення гранулометричного складу. Щодо вологості піщаних ґрунтів, то вона значною мірою залежить від рельєфу території, проте здебільшого у степових умовах переважають сухі місцезростання.

Висновки. Для зупинення деградації ґрунтового покриву необхідно вилучити з обробітку від 6,5 до 10 млн га малопродуктивних земель, насамперед у Степу, територія якого є найбільш розораною в Україні, із наступною їх консервацією і трансформацією у лісові та кормові угіддя. Найбільші обсяги лісорозведення останніх десятиліть збігаються з виконанням Державної цільової програми

«Ліси України» на 2010-2015 рр., упродовж якої під заліснення було прийнято близько 210 тис. га деградованих і малопродуктивних земель, здебільшого (понад 190 тис. га) держлісгоспами степового регіону. На 01.01.2019 р. загальна площа прийнятих, але незаліснених земель, порівняно з 2014 р., зменшилась до 44777 га, причому абсолютно більша їх частина (96,9%) припадає на підприємства степової зони.

Середня величина фактичної приживлюваності 1-3-річних лісових культур, створених у Степу впродовж 2016-2018 рр. під час лісорозведення, становить 60,9%, що значно нижче від нормативного показника (70,1%). Вкрай низькою є також збережуваність культур. На 01.01.2018 р. загинуло 61,2% культур попередніх років створення, причому здебільшого (66,3%) – від посухи.

ґрунти легкого (піщаного, глинисто-піщаного) гранулометричного складу унаслідок несприятливих фізичних та агрохімічних властивостей (щільність складення, безструктурність, незначні гумусованість і вологемність, вкрай низький вміст поживних елементів тощо) відносять до категорії малопродуктивних. Рівень їхньої трофності залежить від вмісту глинистих часток та підвищується з його зростанням у межах від борового до сугрудового типів місцезростань.

Грунти арен, унаслідок складного рельєфу, характеризуються високою варіабельністю та незначною потужністю гумусового горизонту, який подекуди взагалі перебуває на стадії формування, що ускладнює оцінку ступеня їхньої еродованості. Як основні маркери дефляції піщаних ґрунтів пропонуємо використовувати вміст фізичної глини у верхньому горизонті та його забарвлення. Зважаючи на те, що наслідком дефляції є зниження родючості ґрунту, визначаючи ступінь ерозійного впливу, ми фактично оцінюємо його лісорослинний потенціал.

References

- Baliuk, S.A., & Tovazhnianskyi, L. L. (2010). *Scientific and applied bases of soil protection against erosion in Ukraine*. Kharkiv: NTU «KhPI» (in Ukrainian).
- Biallovich, Yu. P. (1972). Standards of optimal forest cover on plain part of the Ukrainian SSR. *Forestry and agroforestry*, 28, 54-65 (in Russian).
- Chornyi, S. G., & Chorna, T. M. (2008). Dust storm March 23-24, 2007 in the southern regions of Ukraine, causes and consequences. *Protection of soil fertility: Bulletin of Articles*, 4, 158-170 (in Ukrainian).
- Driuchenko, M. M. (1962). *Fastening and afforestation of sands*. Kyiv: State Publishing house agricultural literature of the Ukrainian SSR (in Russian).
- Gael, A. G., & Smirnova, L. F. (1999). *Sands and sandy soils*. Moscow: Geos (in Russian).
- Hladkyi, A. S. (1960). Soil-forest conditions of the Lower Dnieper (Oleshkovsky) sands. *Scientific works of UkrNIILHA*, 20, 68-79 (in Ukrainian).
- Methods for determining the composition and properties of soils. Book 1.* (2003). Kharkiv: NSC ISSAR (in Ukrainian).
- Methods for determining the composition and properties of soils. Book 2.* (2005) Kharkiv: NSC ISSAR (in Ukrainian).
- Migunova, E. S. (1978). *Forest plantations on saline soils*. Moscow: Forest industry (in Russian).
- Polupan, N. I., Kysil, V. D., Kovalishin, D. I., Dusanovsky V. L., Vernander, N. B.,... Andrushchenko, H. A. (1981). *Field determinant of soils*. Kyiv: Harvest (in Russian).
- Prymak, I. D., Vakhniy, S. P., Bomba, M. Ya., Timoshchuk, A. S., Gudzy, V. P., Roshko, V. G. ... Lutsyuk, I. O. (2001). *Erosion and soil deflation and measures to combat*. Bila Tserkva: Bilotserkivsky agricultural university (in Ukrainian).
- Public report of public agency forest resources of Ukraine in 2018* (2018). Available at: from http://drive.google.com/file/d/194P-skQpV9f11BOdYBGSKix_u1yHlfhQ/view (in Ukrainian).
- Raspopina, S. P. (2017). *The scientific basis of estimating the potential of soils for forest growth and the suitability of soils for growing forest plantations in plain parts of Ukraine* (Doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine). Available at: http://old.nltu.edu.ua/docs/svr/d35.072.02/raspopina_aref_raspopina.pdf (in Ukrainian).
- Sayko, V. F. (2008). The scientific rationale for agriculture in the context of climate change. *Bulletin of agricultural science*, 9, 5-10 (in Ukrainian).
- Shishov, L. L., Tonkonogov, V. D., Lebedev, I. I. et al. (2004). *Classification and diagnostics of Russian soils*. Smolensk: Oikumena (in Russian).
- Sobolev, S. S. (1954). The nomenclature of washed-off (eroded) soils. *Soil studies and compilation of soil maps*, 13-24 (in Russian).
- State Target Program «Forests of Ukraine» for 2010-2015.* (2009). Available at: <http://zakon4.rada.gov.ua/laws/show/977-2009-п> (in Ukrainian).

Песчаные почвы и состояние лесоразведения в зоне интенсивной дефляции Украины

С. П. Распопина¹

Показано, что чрезмерная распаханность земель вызвала интенсивное развитие эрозийных процессов и как следствие – деградацию почвенного покрова Украины. Самым действенным средством замедления и предупреждения деградации почв является оптимизация соотношения площади пашни и экологически стабилизирующих угодий. Это достигается путем исключения из обработки деградированных и малопродуктивных земель с последующей их консервацией и трансформацией в лесные и кормовые угодья. По разным оценкам изъятия требует от 6,5 до 10 млн га пашни, в основном в Степи, территория которой наиболее распахана. Установлено, что максимальные объемы лесоразведения последних десятилетий совпадают с выполнением Государственной целевой программы «Леса Украины» на 2010-2015 гг. В течение этого периода под облесение было принято около 210 тыс. га малопродуктивных земель, в основном (90%) гослесхозами степных регионов. По состоянию на 01.01.2019 г. общая площадь принятых, но необлесенных земель, уменьшилась до 44777 га, причем абсолютно большая их часть (96,9%) приходится на предприятия степной зоны. Приведены показатели приживаемости и сохранности лесных культур, созданных при лесоразведении в Степи, которые значительно ниже нормативных. Так, в течение последних трех лет (2016-2018 гг.) средняя величина фактической приживаемости 1-3-лет-

¹ Распопина Светлана Петровна – член-корреспондент Лесной академии наук Украины доктор сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий кафедрой лесных культур и мелиораций. Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, п/в «Докучаевское-2» Харьковской обл., 62483, Украина. Тел.: 0572- 99-72-56, +38-068-459-64-23. E-mail: s_raspopina@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>

них лесных культур при лесоразведении составляет 60,9%, при нормативном показателе в 70,1%. Максимальные площади погибших при лесоразведении культур также находятся в зоне Степи, в частности на государственных предприятиях Донецкого, Николаевского и Херсонского областных управлений лесного и охотничьего хозяйств (ОУЛОХ), причем в Херсонском ОУЛОХ в 2018 г. погибло 100% культур, а в целом по степной зоне их долевое участие составляет 61%. Охарактеризованы дерновые оподзоленные на древнеаллювиальных (или эоловых) песках почвы, которые, вследствие крайне неблагоприятных для сельскохозяйственных культур свойств (бесструктурность, низкие влагоёмкость, гумусированность, трофность), передаются под облесение в разных регионах Украины. В южно-восточной части Украины, в частности, на аренах Нижнеднепровских (Олешковских) песков, наряду с дерновыми оподзоленными, широко распространены примитивные почвы. Вследствие ряда природно-климатических условий, эта часть Украины является провинцией активной дефляции. Она охватывает Донецкую, Луганскую и южные части Николаевской, Запорожской и Херсонской областей. На их территории также сосредоточены наибольшие площади принятых, но необлесенных земель. Обосновано, что в степных условиях, определение степени дефляции песчаных почв по трансформации гумусового горизонта является довольно проблематичным, вследствие, прежде всего, очень незначительной его мощности, а иногда полного отсутствия, а также из-за сложного рельефа сухих арен. Показано, что уровень плодородия песчаных почв зависит от содержания глинистых частиц, поэтому этот показатель является наиболее информативным как при определении степени их дефляции, так и при лесотипологической оценке в целом. Предложены маркеры для оценивания дефляции песчаных почв и их лесорастительного потенциала.

Ключевые слова: ветровая эрозия; степь; малопродуктивные земли; облесение; лесные культуры; содержание физической глины.

Sandy soils and the state of afforestation in the zone of intense deflation in Ukraine

S. Raspopina¹

It is shown that excessive plowing of land caused an intensive erosion processes and, as a result, degradation of soil cover in Ukraine. The most effective way of

slowing down and preventing soil degradation is to optimize the ratio of arable land to ecologically stabilizing lands. It's achieved by transforming degraded and unproductive lands from using, followed by their conservation and transformation into forest and forage lands. According to various estimations, subject to seizure from 6.5 to 10 million hectares of arable land, mainly in the Steppe, which territory is most plowed. Some of these lands have already been transferred for afforestation. It has been established that the largest areas of afforestation in recent decades coincide with the implementation of the State Target Program «Forests of Ukraine» for 2010-2015. During this period, about 210 thousand hectares of unproductive lands, mostly (90%) by state forestry enterprises of the steppe zone, were taken under afforestation. As of January 1, 2009, the total area of land designated for afforestation but not covered by forest decreased to 44777 ha, and most of them (96.9%) are located in the steppe zone. The indicators of taking root and safety of forest crops created during afforestation in the steppe which have been presented are significantly lower than the normative ones. So over the past three years (2016-2018), the average value of actual survival of 1-3-year-old forest crops during afforestation is 60.9%, while the normative indicator is 70.1%. The maximum areas of crops lost during afforestation are also located in the Steppe zone, in particular at state enterprises of the Donetsk, Mykolaiv and Kherson Regional Forestry and Hunting Departments (RFHD), and in 2018 in Kherson RFHD 100% of the crops lost, and a whole, their share is 61%. Characterized soddys podzolized soils of clay-sandy composition on ancient alluvium sandy, which, due to extremely unfavorable properties for crops (the structure less, low – moisture capacity, humus content, trophicity) are largely transmitted under afforestation. In the southeastern part of Ukraine, in particular, in the arenas of the Nizhnedneprovsky (Oleshkovsky) sands, primitive soils are widespread, along with sod podzolized ones. Oleshkovsky sands is one of the largest sand massifs in Ukraine and is considered the second largest desert in Europe. Due to a number of climatic conditions, this part of Ukraine is a province of active deflation. It covers Donetsk, Lugansk and southern parts of Mykolaiv, Zaporizhzhya and Kherson regions. On the territory of these regions also the largest area of non-afforested land is concentrated. It is substantiated that in the steppe conditions, determining the degree of deflation of sandy soils by the transformation of the humus horizon is rather problematic, due, first of all, to its very insignificant thickness, and sometimes its complete absence, and because of the complex relief of dry arenas. It was shown that fertility level of these soils is completely dependent on the content of clay particles, therefore this indicator is the most informative both in determining the degree of deflation soils and in general their typological assessment. The markers proposed for assessing their deflation and, in general, forest growth potential.

Key words: wind erosion; steppe; low productive lands; afforestation; forest cultures; content of clay particles.

¹ *Svitlana Raspopina* – Corresponding Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine, Grand PhD of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Head of the Department of Forest Crops and Meliorations. Kharkov National Agrarian University after V.V. Dokuchaev. The village «Dokuchaevske-2», Kharkiv district, Kharkiv region, 62483, Ukraine. Tel.: 0572-99-72-56, + 38-068-459-64-23. E-mail: s_raspopina@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-1880-9364>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411933>
Article received 2019.05.22
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Roman Yatsyk
yatsykr@ukr.net

Grushevskogo str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

УДК 630*165

Селекційно-насінницькі аспекти збереження та відтворення популяцій *Pinus cembra* L. в Українських Карпатах

Р.М. Яцик¹, М.М. Сіщук², Ю.І. Гайда³, Ю.Д. Кацуляк⁴

Подано результати лісівничо-селекційних досліджень сосни кедрової європейської (*Pinus cembra* L.) на чотирьох пробних ділянках, площею від 0,6 до 1,0 га, закладених у деревостанах цього деревного виду на гіпсометричних рівнях 1150-1380 м над рівнем моря в Горганах. Визначено критерії відбору кандидатів у плюсові дерева для подальшого розвитку плюсової селекції та плантаційного клонового насінництва.

Виявлено домінування в деревостанах дерев з овальними та округлими кронами, яких тут понад 56%. За результатами емпіричних і статистичних досліджень встановлено, що під час відбору й атестації плюсових дерев сосни кедрової європейської доцільно орієнтуватися на біотиби з округлими кронами.

Виявлено взаємозв'язок між типами та забарвленням ритидома і селекційними категоріями дерев. Деревя вищих селекційних категорій характеризуються лускатоподібним ритидомом (кандидати в плюсові I кат. – 100%, плюсові II кат. – 61%) коричневого кольору (кандидати в плюсові I кат. – 62%, плюсові II кат. – 61%).

Для збереження і відтворення популяцій сосни кедрової європейської варто провести відбір й атестацію плюсових дерев, здійснити їх вегетативне розмноження, отримати клони для подальшого розвитку насінництва на основі клонових насінних плантацій. Доцільно також запровадити заходи зі збереження й ефективного використання урожаю «горішків» сосни кедрової європейської, вирощування доброякісного садивного матеріалу і створення біотично стійких лісових культур. Деревостанам з ознаками кедрових пралісів доцільно надати статус об'єктів цінного генетичного та природно-заповідного фонду.

Ключові слова: лісовирощування; селекційна структура; формове різноманіття; зразок плюсового дерева; клонове плантаційне насінництво.

¹ Яцик Роман Михайлович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, доцент, провідний науковий співробітник лабораторії лісовідновлення і селекції. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: +38-050-274-36-49. E-mail: yatsykr@ukr.net ORCID 0000-0002-4008-0215.

² Сіщук Мар'яна Миколаївна – молодший науковий співробітник лабораторії лісовідновлення і селекції. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: +38-096-178-81-02. E-mail: maryanasishuk@gmail.com ORCID 0000-0002-3141-0737.

³ Гайда Юрій Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри економіки біоресурсів і природокористування. Тернопільський національний економічний університет, вул. Львівська, 11, м. Тернопіль, 46009, Україна. Тел.: +38-097-228-35-34. E-mail: haydshn@ua.fm ORCID 0000-0001-6019-9654.

⁴ Кацуляк Юрій Дмитрович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, завідувач лабораторії лісовідновлення і селекції. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: +38-096-279-83-66. E-mail: girlis@ukr.net ORCID 0000-0002-4152-6741.

Вступ. *Pinus cembra* L. в Карпатах – післяльодовиковий релікт і цінна лісотвірна порода. Займаючи кам'янисті розсипища, її деревостани відіграють велику ґрунтотвірну, ґрунтозахисну і водорегулятивну роль (Molotkov, 1957, Smahlyuk, 1972, Sirenko, 2008). Дотепер у природних карпатських лісах цей деревний вид зберігся переважно у важкодоступних екстремальних лісорослинних умовах Горган (зрідка – Чорногори) на високогірних каменистих схилах на висотах 1100-1500 м н.р.м. (понад 80% – 1250-1450 м) у вологих і сирих суборах, де утворює мішані зі смерекою європейською деревостани, а також заходить у борові зарості гірської сосни.

Деякі дерева і куртини з участю «карпатського кедра» трапляються також у діапазоні висот 800-1600 м над рівнем моря. Тут цей вид росте хоч і повільно, але за життєвою формою є деревом. Філогенетично сосна кедрова європейська є одним із найстарших серед аборигенних лісотвірних видів і є нащадком живих свідків геологічного минулого, які пережили катаклізми льодовикового періоду, суттєве потепління клімату та нищівну господарську діяльність у післявоєнний період через надзвичайну цінність її деревини. Припускають, що більшим довгожителем в Карпатах може бути хіба що тільки тис ягідний (Kolishchuk, 1968, Smahlyuk, 1972, Stoyko, 1988, Sirenko, 2007).

Загальна площа деревостанів за участю *Pinus cembra* L. становить близько 6,3 тис. га, а редукована – тільки близько 250 га (Smahlyuk, 1972). Майже 92% їх ростуть на Івано-Франківщині і найбільше поширені на територіях Осмолодського, Солотвинського, Надвірнянського лісгоспів та Природного заповідника «Горгани» (рис. 1). Найвідомішими місцезнаходженнями цього виду на Закарпатті є урочища Кедрин Брустурянського лісгоспу, заказники Горган і Тавпіширка, Брадульський, а на Буковині – урочище Сарат Путильського лісгоспу.

Різновікові кедрово-смерекові ліси (вік деяких особин сосни кедрової сягає понад 500 років), порівняно з чистими одновіковими смерічниками, більш стійкі, а запас стовбурової деревини в них інколи може сягати навіть $400 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Домішка сосни кедрової у складі високогірних лісів рідко перевищує 5 од., а в найпоширеніших характерних кедрово-смерекових деревостанах – 1-3. Чисті куртини кедрів трапляються вкрай рідко. Більшість їх виділено у заказники, заповідні урочища, пам'ятки природи.

Формування сосни кедрової європейської як самостійного виду дослідники пов'язують з можливим розривом під час льодовикового періоду єдиного колись євразійського ареалу сосни кедрової сибірської, або розселенням тієї сосни із сибірського ареалу в Європу і наступною ізоляцією її тут. Адже ареал виду складається з двох областей. Більша частина розповсюджена від південних районів Франції до східних районів Альп, на півночі доходить до Женевського озера. Друга, менша область,

розміщена у Високих Татрах і Карпатах (Stoyko, 1988, Sirenko, 2005, Krunutskyj & Tretyak, 2003).



Рис. 1. Угрупування сосни кедрової європейської у природному заповіднику «Горгани»

Ймовірно, що в холодні фази плейстоцену і в ранньому голоцені сосна кедрова європейська, разом із соснами звичайною і гірською, були поширені тут на великих площах. Поступово вони були витіснені у більш високі теперішні місцезнаходження через відчутне потепління і значне зниження вологості клімату. Якщо в Альпах виділено лісорослинний пояс кедрових лісів завширшки 250-950 м, то в нашому регіоні вони поширені розірваною смугою у верхів'ях річок Свічі, Лімниці, Бистриць Солотвинської і Надвірнянської, Пруту і Чорного Черемошу (Smahlyuk, 1972).

З огляду на подальше швидке потепління клімату та зростання сухості повітря, що призводить до пониження ґрунтових вод, нині у системі заходів, спрямованих на збереження, відновлення і розширення лісів з участю сосни кедрової європейської, важливе місце належить штучному відновленню цього виду на основі селекції. Для цього потрібно використовувати методи як плюсової селекції і створення клонових насінних плантацій, так і популяційної селекції й використання кращих деревостанів, передусім лісових генетичних резерватів.

Зважаючи на наведене вище, на цей час надзвичайно актуальним завданням карпатських лісівників є створення стійких мішаних високогірних насаджень з перевагою сосни кедрової європейської

на генетико-селекційній основі, якими можливо хоч частково замінити чисті всихаючі деревостани ялини європейської.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – відтворення і розширення популяцій сосни кедрової європейської в Українських Карпатах. Предмет дослідження – лісівничо-селекційна характеристика деревостанів сосни кедрової європейської. Мета досліджень – визначити й обґрунтувати критерії відбору плюсових дерев сосни кедрової європейської для створення її постійної лісонасадінної бази на генетико-селекційній основі.

Дослідження проводили на чотирьох постійних пробних ділянках (ППД) у Горганах. ППД № 1 та ППД № 2 закладено у природному заповіднику «Горгани», (Горганське ПОНДВ, урочище «Джурджі»), на схилі гори Поленський площею 0,6 та 1,0 га, відповідно. ППД № 3 та ППД № 4 закладено в Гутянському лісництві ДП «Солотвинське лісове господарство» також площею 0,6 і 1,0 га, відповідно.

У цих умовах на висоті 1150-1380 м н.р.м. сосна кедрова європейська росте в борах і суборах разом із смерекою європейською та сосною гірською (іноді – березою повислою) на слабо розвинених щербенисто-каменистих і торф'яно-підзолистих ґрунтах потужністю переважно до 30 см (подекуди на кам'янистих розсипищах). Незважаючи на сильну кам'янистість, у ґрунтах чітко виражені ознаки підзолотворення, чому сприяють лісова підстилка, мохи та інші види надґрунтового покриву.

Несприятливі кліматичні й едафічні умови обмежують асортимент деревно-кущових видів, здатних спільно з кедром утворювати деревостани. Підріст, зазвичай, тут відсутній, або ж трапляються поодинокі смерека і кедр. Максимальна його кількість, яку ми облікували, становить не більше 200 шт. · га⁻¹. Десятирічний підріст досягає висоти 50 см. Дуже рідко трапляється також вегетативне відновлення окремих гілок кедр, які звисають з низькоопущених крон дерев, торкаються щілин

між камінням, підстилки і ґрунту і поступово укорінюються.

У підліску трапляються горобина звичайна, верба козяча, ялівець сибірський і крушина ламка, а в живому надґрунтовому вкритті – чорниця, брусниця, види плаунів, зелених мохів, ожика лісова, плеврозій Шребера, багно звичайне, орляк (табл. 1). Навіть незначне руйнування підстилки і ґрунту завдають непоправної екологічної шкоди, повертаючи ґрунтотвірні процеси на багато років назад.

Розмір ППД визначали із розрахунку охоплення нею не менше 100 дерев сосни кедрової європейської, що було пов'язано з великими труднощами, адже знайти такі площі із значною перевагою кедр виявилось досить складно. Деревостани описували за стандартними лісівничими параметрами, проводили повний перелік дерев. Середню висоту визначали шляхом вимірювання 15-20 дерев пропорційно до їх кількості в кожній ступені товщини.

Для досягнення мети роботи ми застосовували методику вивчення формової і селекційної структури насаджень, яка розроблена в галузевих лісових науково-дослідних інститутах – УкрНДІЛГА (Molotkov, Patlay & Davydova, 1989, Volosyanchuk, Los & Torosova, 2003) та УкрНДІГірліс (Yatsyk, Vorobchuk & Parpan, 2006, Hayda, Popadynets & Yatsyk, 2008, Hayda, 2012).

Усі дерева розподіляли на чотири селекційні категорії – кандидати у плюсові дерева І категорії, кандидати у плюсові дерева II категорії (синонім – кращі з нормальних (Veresin, Efimov & Arefev, 1985), нормальні і мінусові. Морфологічні та інші якісні характеристики (форма крони, тип і забарвлення кори тощо) визначали згідно з розробленими нами класифікаціями. Тип і забарвлення кори визначали на висоті грудей (1,3 м) стовбурів дерев з верхнього боку схилу. Статистичне опрацювання емпіричних даних здійснювали з використанням алгоритму розрахунку коефіцієнта взаємної спряженості К. Пірсона і методу аналізу відповідності (Lakin, 1990, Halafjan, 2008).

Таблиця 1

Лісівнича характеристика деревостанів сосни кедрової європейської на постійних пробних ділянках

№ ППД	ВНРМ, м	Експозиція, стрімкість схилу	Індекс типу лісу	Підріст	Підлісок	ЖНП
1	1150	ПД: 10-12°	B ₃ -кСм	відсутній	поодинокі горобина звичайна, верба козяча, ялівець сибірський крушина ламка	брусниця, плауни баранець і булавоподібний, сфагнум, плеврозій Шребера
2	1250-1300	ПД: 15-20°	B ₃ -кСм	те саме	відсутній	чорниця, брусниця, зелені мохи, орляк
3	1250-1300	ПД: 20-25°	A ₃ -смК	те саме	поодинокі горобина звичайна, верба козяча, ялівець сибірський	чорниця, брусниця, зелені мохи, сфагнум, ожика лісова, багно звичайне
4	1350-1380	ПД: 20-25°	B ₃ -кСм	те саме	поодинокі горобина звичайна	брусниця, чорниця, плауни альпійський, баранець і булавоподібний

Результати досліджень. За результатами обстеження досліджуваних деревостанів виявлено, що частка участі сосни кедрової європейської в них становить 40-80%. За віком дерева різняться від 130 до 310 років. Повнота деревостанів – 0,5-0,7, бонітет – IV-V, середня висота – 13-20 м, середній діаметр – 23-36 см, запас – 120-250 м³га⁻¹. Співвідношення між висотою і діаметром дерев, які можуть слугувати показником адаптивності, особли-

во індикатором стійкості до кліматичних чинників та екологічної валентності, становить 0,45-0,65 (табл. 2.) Таке співвідношення з віком дещо підвищується. Дослідники стверджують, що це свідчить про підвищену конкуренцію дерев (Matveeva, Bratilova & Butorova, 2008). Відносно широкий діапазон росту зумовлюється також суттєвою різницею тривалості вегетаційного періоду, яка становить від 85 до 105 діб.

Таблиця 2

Таксаційні показники деревостанів сосни кедрової європейської на ППД

№ ППД	Склад насадження	Вік, років	Повнота	Бонітет	H _{ср} , м	D _{ср} , см	H/D	M, м ³ га ⁻¹
1	8Ск.є.2См +Сг	140-160	0,5	IV	20	32	0,62	200
2	7Ск.є.3См +Сг	180-200	0,7	V	18	36	0,50	250
3	8Ск.є.2См	160-200	0,6	V	13	29	0,45	120
4	6См4Ск.є.+ Бп	130-310	0,5	V	15	34	0,65	140

Примітка: Ск.є. – сосна кедрова європейська; См – смерека європейська; Сг – сосна гірська; Бп – береза повисла.

У деревостанах виявлено 10,1% кандидатів у плюсові дерева I і II категорій (відповідно 3,2 та 6,9%), нормальних – 57,5%, мінусових – 32,4%.

Довготривала історія широкого діапазону змін природних умов сприяла тому, що в сосни кедрової європейської сформувалися своєрідні біотиби, здатні рости у формі дерева вище верхньої межі розповсюдження лісу, на кам'янистих розсипищах. Її дерева характеризуються різноманітними формами крон. За цим показником ми об'єднали їх у чотири основних групи: із колоноподібними, конусоподібними, округлими й овальними кронами (табл. 3). У деревостанах домінують дерева з овальними й округлими кронами, яких є понад 56% (рис. 2). Представництво дерев кожної з груп є досить близьким і різниться від 20,7 до 30,6%.

Близько 70% дерев з колоноподібними, конусоподібними та округлими кронами віднесено до нормальних. Така сама їх кількість з овальними кронами є мінусовими. Найменше мінусових дерев спостережено серед біотипів із округлими кронами (10,6%), натомість їх найбільше серед кандидатів у плюсові (18,3%). Кількість придатних для збору насіння дерев серед них (нормальні і плюсові) становить близько 90% (див. табл. 3). Очевидно, що під час відбору й атестації плюсових дерев для розвитку плюсової селекції і плантаційного насінництва сосни кедрової європейської потрібно передусім орієнтуватися на біотиби з округлими кронами.

Для статистичної оцінки ступеня взаємозв'язку між селекційною категорією та формою крон дерев розраховали коефіцієнт взаємної спряженості Пірсона. Його значення ($C = 0,493$) свідчить про наявність помірного зв'язку між цими якісними показниками дерев сосни кедрової європейської.



Рис. 2. Біотип сосни кедрової європейської з овальною короною

Аналіз двохдової таблиці (див. табл. 3) методом аналізу відповідності (Correspondence analysis) також статистично підтверджує наявність залежності між формами крон дерев і їх селекційними категоріями ($\chi^2 = 129,9$, $\chi^2_{st}(0,001) = 27,88$, $p = 0,000$). Як видно на рис. 3, де у форматі 2D відображено

ординацію рядків і колонок проаналізованих даних двовходової таблиці, гострі кути, які утворюють вектори, що з'єднують центр ваги і точки Plus1, Plus2, Okrug, свідчать про наявність позитивної кореляції між цими якісними показниками дерев сосни кедрової європейської. Це підтверджує рані-

ше зроблене припущення, що для плюсових дерев обох категорій більш характерною є округла форма крони. Близька ординація точок Minus і Oval і, відповідно, дуже гострий кут між ними ілюструє досить високу кореляцію між стовпцем – мінусові дерева та рядком – овальна форма крони.

Таблиця 3

Розподіл дерев сосни кедрової європейської за формами крон у взаємозв'язку із селекційними категоріями

Форма крон	Кількість дерев		В т.ч. за селекційними категоріями							
			кандидати в плюсові I кат.		кандидати в плюсові II кат.		нормальні		мінусові	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Колоноподібні	93	23,0	3	3,2	9	9,7	65	69,9	16	17,2
Конусоподібні	84	20,7	4	4,8	6	7,1	58	69,0	16	19,1
Округлі	104	25,7	6	5,8	13	12,5	74	71,1	11	10,6
Овальні	124	30,6	–	–	–	–	36	29,0	88	71,0
Усього	405	100	13	3,2	28	6,9	233	57,5	131	32,4

Впевнено стверджувати, що форми крони зумовлені лише генетичними чинниками, не доводиться, тому що більшість кедрових деревостанів ростуть в екстремальних умовах і в розрідженому стані. Але незважаючи на це, із практичного погляду їх варто враховувати під час селекційної інвентаризації дерев сосни кедрової європейської. У процесі дослідження виділено форми сосни кедрової європейської з лускатоподібним, пластинкоподібним, повздовжньо-тріщинуватим і гладким ритидомом коричневого, сірого і коричнево-сірого забарвлення (табл. 4).

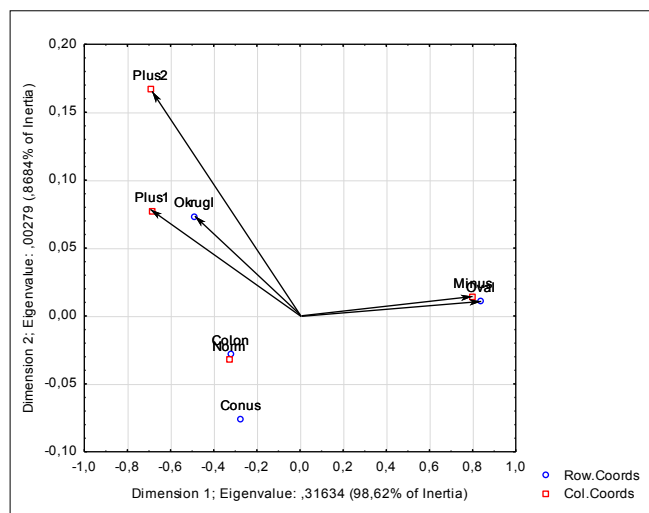


Рис. 3. 2D-графік координат рядків (різновидів форм крони) і колонок (селекційних категорій), розрахованих методом аналізу відповідності

Переважають дерева з лускатоподібним ритидомом, яких виявлено в деревостанах 63,2%,

з пластинкоподібним – 25,4%, повздовжньо-тріщинуватим – 8,7%, а з гладким ритидомом – тільки 2,7%. Майже половина дерев мають коричневе забарвлення ритидома (46,7%), менша кількість (37%) – сіре і значно менше (16,3%) – коричнево-сіре.

Виявлено певний взаємозв'язок між типами та забарвленням ритидома з одного боку і селекційними категоріями дерев, з іншого. Найкращі дерева трапляються з лускатоподібним ритидомом (плюсові I кат. – 100%, плюсові II кат. – 61%) коричневого кольору (плюсові I кат. – 62%, плюсові II кат. – 61%). Мінусовим деревам властивий пластинкоподібний ритидом сірого забарвлення, а повздовжньо-тріщинуватий і гладкий ритидом різного кольору – для дерев нормальної селекційної категорії.

Аналіз показав, що кандидати в плюсові дерева сосни кедрової європейської перевищують середні показники деревостанів за висотою на 10-50, за діаметром – на 10-70%. Довжина крони в них зазвичай становить 30-70%, а безсучкової зони – тільки 20-30% від загальної висоти дерева. У Карпатському регіоні офіційно атестовано лише 19 плюсових дерев у Закарпатті (Брустурянське лісове господарство, Кедринське лісництво).

Найпоширенішими вадами сосни кедрової у досліджуваних деревостанах є дуже погана очищеність стовбурів від сучків, що є її біологічною особливістю, а також кривизна стовбурів та їх збіжистість, багатоверхівковість, суховерхівковість і наявність пасинків. Більшість вад зумовлені негативною дією екстремальних умов навколишнього середовища і значним віком дерев.

Таблиця 4

Розподіл дерев сосни кедрової європейської за типом і забарвленням ритидома у взаємозв'язку зі селекційними категоріями

Тип ритидома	Кількість дерев		В т.ч. за селекційними категоріями							
	шт.	%	кандидати в плюсові І кат.		кандидати в плюсові ІІ кат.		нормальні		мінусові	
			шт.	%	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Коричневого забарвлення										
Лускатоподібні	130	32,1	8	6,1	11	8,5	89	68,5	22	16,9
Пластинкоподібні	47	11,6	—	—	5	10,6	22	46,8	20	42,6
Повздовжньо-тріщинуваті	10	2,5	—	—	1	10,0	5	50,0	4	40,0
Гладкі	2	0,5	—	—	—	—	2	100	—	—
Разом	189	46,7	8		17		118		46	
Сірого забарвлення										
Лускатоподібні	90	22,2	3	3,3	3	3,3	52	57,8	32	35,6
Пластинкоподібні	41	10,1	—	—	—	—	12	29,3	29	70,7
Повздовжньо-тріщинуваті	19	4,7	—	—	2	10,5	14	73,7	3	15,8
Разом	150	37,0	3		5		78		64	
Коричновато-сірого забарвлення										
Лускатоподібні	36	8,9	2	5,6	3	8,3	21	58,3	10	27,8
Пластинкоподібні	15	3,7	—	—	1	6,6	7	46,7	7	46,7
Повздовжньо-тріщинуваті	6	1,5	—	—	—	—	3	50,0	3	50,0
Гладкі	9	2,2	—	—	2	22,2	6	66,7	1	11,1
Разом	66	16,3	2		6		37		21	
Усього	405	100	13	3,2	28	6,9	233	57,5	131	32,4

Незважаючи на порівняно високу стійкість до несприятливих кліматичних й едафічних умов, сосні кедровій європейській істотно загрожують шкідники і хвороби, які пошкоджують шишки, гіршки, підріст, стовбури та гілля дерев. Саджанці сосни кедрової європейської та її культури масово пошкоджує попелиця, уражають шютте, опеньок, особливо після 10-річного періоду росту.

Значну увагу приділено збереженню цього деревного виду на популяційному рівні, шляхом виділення лісових генетичних резерватів (ЛГР). У зв'язку із відсутністю великих масивів чистих кедрів, до ЛГР віднесено кедрово-ялинові деревостани різного складу і структури на території Івано-Франківської області. Тут атестовано чотири ЛГР сосни кедрової європейської. Два з них – у лісовому фонді Бистрицького л-ва ДП «Осмолодське ЛГ» площею 38,0 га та Мшанського л-ва цього ж лісгоспу площею 263,0 га. Ще два ЛГР площею близько 300 га функціонують на території природного заповідника «Горгани». Крім цього, в генетичному резерваті площею 93,3 га, який відібрано у держлісфонді Гутянського л-ва ДП «Солотвинське ЛГ», представлено два види – смереку європейську і сосну кедрову європейську, тобто він є полівидовим.

Початок генеративного періоду в окремо ростучих дерев кедрів настає, в середньому, у 40, а в

деревостанах – у 60 років. Репродуктивна здатність утримується аж до 300-річного віку. Шишки досягають на другий рік після «цвітіння». Періодичність насіннювання становить близько 8-ми років. Smahlyuk (1972) зазначав, що на 1 га редукованої площі утворюється в середньому 760 кг шишок, з яких можна добути близько 180 кг «горішків». Але здійснити це можна лише теоретично, адже урожай масово, або ж практично увесь пошкоджують птахи. Тому ми рекомендуємо збирати шишки ще у восковій стиглості наприкінці серпня, витримувати їх у провітрюваному приміщенні впродовж 1-2 тижнів для дозрівання.

Узагальнення наукового і виробничого досвіду свідчить про високу ефективність як осіннього, так і весняного посівів горішків за умов надійного захисту їх від пошкоджень гризунами, птахами тощо. Хоч для весняного висіву насіння зазвичай традиційно стратифікують впродовж шести місяців, ми пропонуємо скоротити цей термін у 5-6 разів. Для цього застосовують метод так званих «шокових» температур, коли ящики з горішками та вологим піском кожен тиждень, почергово, поміщають то в холодні умови (0...+5°C), то в теплі (+20-25°C) до моменту появи проростків.

Посів насіння належить здійснити у розширені борозенки, які розміщують через 30 см, на глиби-

ну 2,0-2,5 см, 80-100 «горішків» на 1 м посівного рядка. Садіння лісових культур у високогір'ї рекомендуємо проводити наприкінці травня – червні 4-річними сіянцями, або 5-6-річними саджанцями (кращий варіант) групами або кулісами.

Отримані результати спрямовані на збереження генофонду сосни кедрової європейської, удосконалення її селекції і насінництва. Адже змодельований зразок плюсового дерева можна використати в подальшому для відбору й атестації найкращих дерев цього виду та розвитку на їх основі плюсової селекції і плантаційного (особливо клонового) насінництва, а ЛГР – як популяційна модель насаджень майбутнього.

У Карпатському регіоні проходять багаторічне випробування також різні види інтродукованих кедрових сосен: сибірська, корейська, кедровий стелюх. Вони представлені у єдиних в Україні географічних культурах і в багатьох дендропарках, зокрема, в державних дендрологічних парках «Високогірний» і «Діброва». Найкраще адаптувалася в умовах регіону сосна кедрова корейська, яка з віком лише нарощує темп росту як у передгір'ї та низькогір'ї, так і в Карпатському високогір'ї. У такому широкому висотному діапазоні вона проявила себе як відносно швидкозростаюча порода порівняно з іншими інтродукованими кедровими соснами і є стійкою до несприятливих кліматичних та едафічних умов, хвороб і шкідників. Порівняно рано вступає у генеративну фазу. Науковці вивели сорт «Сосна кедрова корейська Богородчанська».

Висновки. Проведені дослідження дали змогу змодельувати зразок плюсового дерева сосни кедрової європейської у гірських деревостанах Карпат. Це біотипи віком 140-180 років з округлою кроною, лускатоподібним ритидомом коричневого кольору, який переважає середні показники деревостанів за висотою і діаметром не менше ніж на 10%. За довжиною крона займає 30-70%, а безсучкова зона – 20-30% від загальної висоти дерева. Із вад у таких дерев допускається лише деяка сучкуватість (біологічна особливість цього виду), незначна кривизна (до 5%) і помірна збіжистість стовбура.

Запропоновано способи отримання високоякісного насіння сосни кедрової європейської на генетико-селекційній основі: закладка клонових насінних плантацій та штучних постійних лісо-насінних ділянок із селекційного садивного матеріалу (плантаційного типу) методом попереднього відбору кращих екземплярів у розсадниках (на другий рік вирощування), шкільці (на четвертий рік) та у висадженому насадженні (на шостий рік вирощування); регулярна заготівля шишок, які досягли воскової стиглості (переважно наприкінці серпня) у кращих популяціях (не менше ніж із 50 дерев); пришвидшені методи стратифікації насіння для весняного висіву (для кращого збереження «горішків» від гризунів) із застосуванням «шокових» температур, чергуючи високі (+20...+25°) та низькі (0...+5°) температури кожні 6-8 днів; удо-

сконала технологія й агротехніка вирощування якісного садивного матеріалу та лісових культур.

Найважливіші на сьогодні методи охорони, відтворення і розширення площ лісів сосни кедрової європейської не є достатніми. Щоб унеможливити скорочення площ деревостанів, пропонуємо створити картотеку лісів за участю сосни кедрової європейської; пришвидшити організаційну роботу, виділити, взяти під охорону і оформити залишки кедрових лісів у нові об'єкти природно-заповідного та цінного генетичного фонду (особливо лісові генетичні резервати) і праліси з урахуванням особливостей місцезростань й еколого-біологічних властивостей деревного виду.

Необхідно повсюдно здійснювати захист урожаю сосни кедрової європейської, а також молодняків і культур від пошкоджень, шкідників і хвороб. Також потрібно застосовувати методи збереження горішків від гризунів під час осіннього висіву. Вважаємо доцільним здійснювати лісорозведення сосни кедрової європейської на безлісних площах над сучасною верхньою межею лісу.

References

- Hayda, Yu. I., Popadynets, I.M., Yatsyk, R.M., Parpan V.I., Humenyuk I. R., Kukharskyj T.V. ... Trentovskyj, V.V. (2008). *Forest genetic resources and their conservation in the Ternopil region*. Ternopil: Textbooks and manuals (in Ukrainian).
- Hayda, Yu. I. (2012). *Forestry and ecological basis for the conservation and sustainable use of forest genetic resources of the Western region of Ukraine* (Abstract of doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine). Available at: <http://dspace.tneu.edu.ua/jspui/handle/316497/1618> (in Ukrainian).
- Halafjan, A.A. (2008). *STATISTICA 6. Statistical data analysis. Textbook*. Moscow, Binom-Press Ltd (in Russian).
- Kolishchuk, V.H. (1968). Classification of life forms of procumbent woody plants. *Ukrainian Botanical Journal*, 25 (3), 59-66 (in Ukrainian).
- Krynytsky, H. T., & Tretyak, P.R. (2003). The state of forests of the Ukrainian Carpathians, environmental problems and prospects. *Environmental problems of the Carpathian region. Proceedings of the Shevchenko Scientific Society: Environmental Digest., XII*, 54-65 (in Ukrainian).
- Lakin, G.F. (1990). *Biomentria*. Moscow: Graduate School (in Russian).
- Matveeva, R.N., Bratilova, N.P., & Butorova, O.F. (2008). *Useful properties and methods of reproduction of Siberian cedar*. Krasnoyarsk: SibGU (in Russian).
- Molotkov, P.I. (1957). Relics of cedar in Transcarpathia. *Nature*, 1 (in Ukrainian).
- Molotkov, P.I., Patlay, I.M. & Davydova, N.I. (1989). *Seed production of forest species*. Kyiv: Harvest (in Ukrainian).

- Sirenko, O. H. (2008). *Alpine stone pine (Pinus cembra L.) in Ukraine: chorology, population structure and protection*. Abstract of the candidate of biological sciences: speciality 03.00.05. Botany. Kyiv, Ukraine. (in Ukrainian).
- Sirenko, O. H. (2005). Distribution and regression changes in the area of Alpine stone pine (*Pinus cembra* L.) in the Ukrainian Carpathians. *Plant introduction*, 1, 11-16 (in Ukrainian).
- Sirenko, O. H. (2007). Ecological features of stands with the participation of Alpine stone pine (*Pinus cembra* L.) in the Ukrainian Carpathians. *Plant introduction*, 4, 64-71 (in Ukrainian).
- Smahlyuk, K. K. (1972). *Aboriginal coniferous forest producers*. Uzhhorod: Carpathians (in Ukrainian).
- Stoyko, S. M. (1988). Conservation of the Ukrainian Carpathians and adjacent territories. *Ukrainian Carpathians. Nature*, 2, 64-93 (in Ukrainian).
- Veresin, M. M., Efimov, Yu. P., & Arefiev, Yu. A. (1985). *Handbook of forest breeding seed production*. Moscow: Agropromizdat (in Russian).
- Volosyanchuk, R., Los, S., Torosova, L., Kuznecova, T., Tereshchenko, L., Neyko, I., & Grygoryeva, V. (2003). Methodological approaches to the estimation of gene pool conservation in situ units of the broadleaves tree species and their actual conditions in the Left-bank forest steppe of Ukraine. *Forestry and forest melioration*, 104, 50-57 (in Ukrainian).
- Yatsyk, R. M., Vorobchuk, V. D., Parpan, V. I., Hayda, Yu. I., Stupar V. I., & Kashpor, V. M. (2008). *Genetic and selection and seed-growing objects in the forests of Bukovyna*. Ternopil: Textbooks and manuals (in Ukrainian).

Селекционно-семеноводческие аспекты сохранения и воспроизводства популяций *Pinus cembra* L. в Украинских Карпатах

Р. М. Яцык¹, М. Н. Сищук², Ю. И. Гайда³,
Ю. Д. Кацуляк⁴

Представлены результаты лесоводственно-селекционных исследований сосны кедровой европейской (*Pinus cembra* L.) на четырех пробных участках, площадью от 0,6 до 1,0 га, заложенных в древостоях на высотах 1150-1380 м над уровнем моря в Горгонах.

В процессе изучения лесоводственно-таксационных показателей и селекционно-формовой структуры древостоев сосны кедровой европейской определены критерии отбора кандидатов в плюсовые деревья с целью дальнейшего развития плюсовой селекции и плантационного клонового семеноводства исследуемого реликтового вида.

В древостоях отмечено доминирование деревьев с овальными и округлыми кронами, которых здесь насчитывается более 56 %. Определено, что во вре-

мя отбора и аттестации плюсовых деревьев сосны кедровой европейской необходимо ориентироваться на биотипы с округлыми кронами.

Наблюдается определенная связь между типами и цветом ритидома с одной стороны, и селекционными категориями деревьев, с другой. Наилучшие деревья встречаются с чешуйчатым ритидомом (кандидаты в плюсовые I категории – 100 %, в плюсовые II категории – 61 %) коричневого цвета (кандидаты в плюсовые I категории – 62 %, в плюсовые II категории – 61 %).

Уделено особое внимание сохранению данного вида на популяционном уровне путем выделения лесных генетических резерватов (ЛГР). В связи с отсутствием больших массивов чистых кедров в ЛГР отобрали четыре кедрово-еловые древостои разного состава и структуры. Два из них произрастают в лесах гослесфонда и два – на территории природного заповедника «Горганы».

Исследования дали возможность создать модель плюсового дерева сосны кедровой европейской в горных древостоях Карпат. Также предложены способы получения местных семян путем создания клоновых семенных плантаций, закладки постоянных лесосеменных участков из специально отобранного селекционного материала, ускоренные методы стратификации орешков, усовершенствованная технология и агротехника выращивания качественного посадочного материала и лесных культур. Это даст возможность расширить популяции ценного реликта, занесенного в Красную книгу Украины.

Анализ методов охраны, восстановления и расширения лесов сосны кедровой европейской

¹ Яцык Роман Михайлович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, доцент, ведущий научный сотрудник лаборатории лесовосстановления и селекции. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П. С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: +38-050-274-36-49. E-mail: yatsykr@ukr.net ORCID 0000-0002-4008-0215.

² Сищук Марьяна Николаевна – младший научный сотрудник лаборатории лесовосстановления и селекции. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П. С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: +38-096-178-81-02. E-mail: maryanasishuk@gmail.com ORCID 0000-0002-3141-0737.

³ Гайда Юрий Иванович – действительный член Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры экономики биоресурсов и природопользования. Тернопольский национальный экономический университет, ул. Львовская, 11, г. Тернополь, 46009 Украина. Тел.: +38-097-228-35-34. E-mail: haydshn@ua.fm ORCID 0000-0001-6019-9654.

⁴ Кацуляк Юрий Дмитриевич – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, заведующий лабораторией лесовосстановления и селекции. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П. С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: +38-096-279-83-66. E-mail: girlis@ukr.net ORCID 0000-0002-4152-6741.

показал, что их нельзя считать достаточными. Поэтому следует создать картотеку лесных древостоев с ее участием, ускорить выделение их в новые объекты природно-заповедного и ценного генетического фонда с учетом эколого-биологических и лесоводственных особенностей вида.

Актуальна также защита урожая сосны кедровой европейской, ее посевов и лесных культур от повреждений, вредителей и болезней. Особенно следует учесть и трудности в создании насаждений данного вида в высокогорье, выше верхней границы леса на щебенисто-каменистой почве.

Ключевые слова: лесовыращивание; селекционная структура; формовое разнообразие; образец плюсового дерева; клоновое плантационное семеноводство.

Breeding and seed production aspects of conservation and reproduction of Austrian stone pine (*Pinus cembra* L.) populations in the Ukrainian Carpathians

R. Yatsyk¹, M. Sishchuk², Yu. Hayda³,
Yu. Katsulyak⁴

The results of forestry and selection studies of Alpine stone pine (*Pinus cembra* L.) are presented in four test plots of 0.6 to 1.0 ha, planted in stands with its predominance at hypsometric levels of 1150-1380 m above sea level in Gorgany.

In the process of studying forest biometry indicators and the selection and form structure of Alpine stone pine stands, criteria for selecting plants for plus trees were determined with the aim of further development

of plus selection and clonal seed plantation of this relict species.

The dominance of trees with oval-shaped and rounded crowns, which are more than 56%, is noted in stands. It was determined that during the selection and certification of plus trees of Alpine stone pine, one should focus on biotypes with rounded crowns.

A close correlation was found between the types and coloration of rhytidome on the one hand and tree selection categories, on the other. The best trees are found to have scaly-like rhytidome (plants for plus trees 1st Category – 100%, for plus trees 2nd Category – 61%) brown (plants for plus trees 1st Category – 62%, for plus trees 2nd Category – 61%).

Attention is paid to the preservation of this species at the population level – by selecting forest genetic reserves (FGR). Due to the lack of large arrays of pure dwarf pines, four cedar/fir stands of different composition and structure were selected in the FGR. Two of them are in the forests of the State Forest Fund and two are on the territory of the Gorgany nature reserve.

The studies have allowed to develop a sample of a plus tree of Alpine stone pine in the mountain stands of the Carpathians. We also proposed methods for producing local seeds by creating clonal seed plantations, laying permanent forest seed plots from specially selected breeding material, accelerated methods of stratification of nuts, advanced technology and agricultural techniques for growing high-quality planting material and forest crops.

An analysis of the methods of protecting, restoring and expanding Alpine stone pine forests has shown that they cannot be considered sufficient. Therefore, it is necessary to create a card catalogue of forest stands with its participation, accelerate their allocation to new objects of the nature reserve and valuable genetic fund, taking into account the ecological, biological and forest features of the species.

The protection of the Alpine stone pine crop, its planting material and forest species from damage, pests and diseases remains relevant. It should be especially taken into account the difficulties in creating plantings of this species in the highlands, above the upper border of the forest line on gravelly soils.

It should be noted that abovementioned negative climate changes are most evident in the Carpathian highlands, where there is a massive drying of spruce forests, a decrease in their biological stability, and an increase in the area of damaged stands by diseases and pests. Therefore, forest management in this region is becoming increasingly costly and unpredictable. One of the main tasks in this case is to increase the forest areas and increase forest sustainability, that possible by forming high-quality mixed forests with the participation and Swiss stone pine predominance.

Key words: forest planting; breeding structure; diversity form; plus tree sample; clone seed production area.

¹ Roman Yatsyk – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D. in Agricultural Sciences, Senior researcher, Associate Professor, Leading researcher laboratory of forest planting and tree breeding of the Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry after P.S. Pasternak, Grushevskyy str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: +38-050-274-36-49. E-mail: yatsykr@ukr.net ORCID 0000-0002-4008-0215.

² Maryana Sishchuk – junior researcher laboratory of forest planting and tree breeding of the Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry after P.S. Pasternak, Grushevskyy str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: +38-096-178-81-02. E-mail: maryanasishchuk@gmail.com ORCID 0000-0002-3141-0737.

³ Yuriy Hayda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor department economical of life and environmental sciences. Ternopil National Ecological University, Lviv str., 11, Ternopil, 46009, Ukraine. Tel.: +38-097-228-35-34. E-mail: haydshn@ua.fm ORCID 0000-0001-6019-9654.

⁴ Yuriy Katsulyak – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D. in Agricultural Sciences, Senior researcher, Head of laboratory of forest planting and tree breeding of the Ukrainian Research Institute for Mountain Forestry after P.S. Pasternak, Grushevskyy str., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: +38-096-279-83-66. E-mail: girls@ukr.net ORCID 0000-0002-4152-6741.

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411934>
Article received 2019.04.18
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Svitlana Sytnyk
sytnyk.s.a@dsau.dp.ua

Serhii Efremov st., 25, Dnipro, 49600, Ukraine

УДК 633.875;630*22/.23(292.486)(477)

Продукція фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів у лісових культурах Північного Степу України

П. І. Лакида¹, С. А. Ситник²

Поточний об'ємний приріст деревини стовбурів і продукція компонентів фітомаси надземної частини насаджень Robinia pseudoacacia L. визначено для модальних деревостанів, які характеризуються такими таксаційними показниками: $A = 3-82$ р., $D_{1,3} = 3,9-24,8$ см, $H = 5,2-21,5$ м, $P = 0,1-1,15$.

Як вхідні аргументи регресійних рівнянь використано таксаційні показники робінієвих деревостанів. Розраховані регресійні алометричні моделі оцінювання фітомаси деревини і кори стовбурів, фітомаси компонентів крони – деревини і кори гілок, фітомаси листків, поточного об'ємного приросту за запасом. Коефіцієнти детермінації рівнянь (0,24-0,96) не перевищують їх критичного значення. Найбільш значущою визначено п'ятифакторну модель, яка враховує вік, середній діаметр, середню висоту головної породи, запас і відносну повноту насадження.

Розрахунок продукції деревини стовбурів робінієвих насаджень здійснено через оцінювання поточного приросту за запасом і середньої базисної щільності деревини стовбурів робінії, яка становить $499,8 \text{ кг (м}^3\text{)}^{-1}$. Наведено нормативи продукції стовбурової деревини у межах значень середнього діаметра деревостану від 4 до 28 см і запасу стовбурової деревини від 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Продукція стовбурової деревини зі збільшенням середнього діаметра деревостану зменшується, а зі збільшенням запасу за умови однакового значення діаметра – збільшується. У віковій структурі робінієвих насаджень Північного Степу домінує група перестиглих деревостанів, для яких у діапазоні середніх діаметрів 14-24 см продукція стовбурової деревини становить $1,73-2,69 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Загальну продукцію фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів лісогосподарських підприємств Державного агентства лісових ресурсів України у Дніпропетровській області оцінено в $138,3$ тис. т·рік⁻¹.

Ключові слова: Robinia pseudoacacia L.; надземна фітомаса; поточний приріст; математичне моделювання; алометричні регресійні моделі.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, професор, доктор сільськогосподарських наук, директор навчально-наукового інституту лісового і садово-паркового господарства НУБіП України. Національний університет біоресурсів та природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: (044) 527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Ситник Світлана Анатоліївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри садово-паркового господарства. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. Сергія Єфремова, 25, м. Дніпро, 49060, Україна. Тел.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

Вступ. Розвиток держави потребує розроблення економічно ефективної та екологічно безпечної моделі користування природними ресурсами, за умови унеможливлення загрози асиміляційному потенціалу природних і штучних ландшафтів. Дослідження біотичної продуктивності насаджень лісотвірних деревних видів дають змогу оцінювати потенційні можливості ландшафтів виконувати роль стабілізаторів довкілля.

Приріст фітомаси деревних порід – біологічне явище, що визначає зміну кількісних показників компонентів стовбура і крони з віком і відбувається внаслідок біологічних процесів фотосинтезу, дихання, водообігу та обміну речовин і енергії. Приріст забезпечується діяльністю камбіального шару стовбура і гілок дерев, яка відбувається протягом вегетаційного періоду: меристематичні клітини формують новий шар деревини. Збільшення з часом маси деревини у дереві або в насадженні безпосередньо залежить від зміни величини діаметрів стовбурів і висот. Також інтенсивність приросту лісового насадження залежить від віку, відносної повноти, типу походження деревостану, едафокліматичних та лісорослинних умов, зімкненості і складу деревостану, фітосанітарного стану насадження та лісогосподарських заходів тощо.

Збільшення фітомаси, яка залежить від біотичної продуктивності лісостанів, зумовлює інтенсивне депонування двоокису вуглецю у біомасу лісових фітоценозів, що є одним із дієвих механізмів запобігання змінам клімату. Роботами вчених переконливо доведено ефективність депонування вуглецю деревними породами лісостанів у різних природних зонах – Українських Карпатах, Поліссі, Лісостепу та Степу (Lakyda, 2002, Lakyda & Blyshchik, 2010, Lakyda, Vasylyshyn, Lashchenko, & Terentiev, 2011, Sytnyk & Lovynska, 2016).

Загальноприйнята в Україні концепція збільшення обсягів депонування вуглецю передбачає збільшення площі лісів та їхньої продуктивності. Серед екосистем степової зони України, лісові, незважаючи на їх штучне походження, можуть конкурувати з природними степовими у площині їхньої біотичної продуктивності. Збільшення обсягу депонованого вуглецю та аерополітантів можливий за умови більшого приросту фітомаси на одиниці площі. Згідно з даними публічного звіту Державного агентства лісових ресурсів України, за рік у лісах держави в середньому приростає 35 млн м³ деревини. Середньорічний приріст деревини на 1 га у лісах Держлісагентства становить 3,9 м³ на 1 га і коливається від 5,0 в Карпатах до 2,5 м³ у степовій зоні.

Одним із найпоширеніших компонентів лісових культур Степу України є робінія псевдоакація або біла акація (*Robinia pseudoacacia* L.) – інтродуцент із Північної Америки. Історія інтродукції цього виду в Європу нараховує понад 200 років (Khedive, Shirvany, Assareh, & Sharkey, 2017, Kroftova, & Reif, 2017, Vítková et al., 2017). Для робінії характерним є значний господарчий потенціал (Yang et al., 2017,

Capozzi et al., 2017, Ni et al., 2018). Завдяки швидкому росту і здатності фіксувати атмосферний азот робінію псевдоакацію вважають перспективним деревним видом для створення лісонасаджень на трансформованих ерозією ландшафтах (Yan, Zhong, & Shangguan, 2017, Qin et al., 2018). Масштабні дослідження морфологічних, фізіологічних, екологічних, стехіометричних властивостей *Robinia pseudoacacia* здійснюють у Китаї на еродованому Лесовому Плато (Mao et al., 2018, Chen, et al., 2018, Liang et al., 2018, Liu et al., 2018).

З огляду на досить різноспрямовані погляди вчених на штучні насадження цього деревного виду поза межами природного ареалу зазначимо, що доцільність функціонування робінієвих насаджень у степовій зоні України доведено реалізованим ремедіаційним потенціалом захисних протиерозійних та рекультиваційних насаджень білої акації на антропогенно змінених землях, трансформованих видобутком корисних копалин відкритим способом (Zverkovsky et al., 2018).

У межах Північного Степу, у підпорядкуванні Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства перебуває 19683,7 га робінієвих деревостанів різного функціонального призначення (Lakyda & Sytnyk, 2014). Реалізацію екосистемних сервісів лісових насаджень, зокрема і робінієвих, неможливо оцінювати без визначення біотичної продуктивності за компонентами фітомаси та встановлення закономірностей ростових процесів дерев і деревостанів у певних природно-кліматичних зонах. Проте поточний приріст є одним із тих показників, який окреслює специфіку формування деревини та біотичну продуктивність лісів загалом. Інтенсивність поточного приросту детермінують генетичні властивості деревної лісотвірної породи, погоднокліматичні чинники, своєчасність та якість здійснення лісогосподарських заходів.

Визначення величини поточного приросту лісових насаджень має сприяти вирішенню низки теоретичних і практичних завдань: визначенню біотичної продуктивності лісів; оцінюванню ефективності лісогосподарських заходів та господарського режиму; виявлення збитків від ентомошкідників та фітопатогенів. Проте результати досліджень, спрямовані на оцінювання надземної фітомаси та визначення поточного приросту робінії псевдоакації, як лісотвірного деревного виду, у наукових публікаціях зарубіжних і вітчизняних вчених не зазначені.

Дослідження зі встановлення екологічного потенціалу робінієвих насаджень у Північному Степу України є дуже актуальними, що є необхідною передумовою для здійснення ефективного менеджменту лісового господарства, розроблення плану лісогосподарських заходів, визначення обсягів лісокористування, розрахунку інтенсивності акумулювання аеро- та едафоконтамінантів та емісії кисню в атмосферу.

Матеріали й методи. Біотична продукція – це продукція, яка утворюється у надземній та підзем-

ній складових лісового біоценозу в процесі фотосинтезу за одиницю часу на одиниці площі. У лісовій таксації біотична продукція ідентифікується з поточним приростом фітомаси. Поточний приріст – це величина, на яку змінюється абсолютні значення таксаційних показників дерева чи деревостану за певний проміжок часу.

Об'єкт дослідження – надземна фітомаса деревостанів за участю *Robinia pseudoacacia* L. *Предмет досліджень* – процеси нагромадження продукції у надземній частині робінієвих деревостанів та їх моделювання. Дослідження поточного приросту фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів здійснювали впродовж 2014-2019 років.

Мета дослідження – розробити алгоритм розрахунку поточного приросту структурних компо-

нентів фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів Північного Степу України, розробити математичні моделі для кількісного оцінювання компонентів фітомаси деревостанів, опрацювати нормативи оцінювання продукції стовбурової деревини та оцінити сумарну продукцію надземної частини насаджень робінії псевдоакації лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства.

Експериментальні дані отримано з 20 тимчасових пробних площ, що були закладені у період 2013-2017 рр. у робінієвих насадженнях Північного Степу України (у межах Дніпропетровської області). Таксаційну характеристику досліджуваних насаджень наведено у табл. 1.

Таблиця 1

Таксаційна характеристика робінієвих деревостанів на тимчасових пробних площах

Шифр ТПП	Вік, років	Діаметр стовбура, см	Висота, м	Відносна повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
04241401*	32	12,2	12,5	0,55	80
04241402	63	16,4	15,3	1,15	291
04241403	12	5,7	5,7	0,10	6
04241404	36	22,4	21,1	1,04	247
04241405	3	3,9	5,2	0,22	2
04241501	48	23,9	19,9	0,73	235
04241502	58	26,0	20,0	0,80	237
04241503	82	24,4	21,5	0,74	225
04241504	77	24,8	16,1	0,71	154
04241505	56	16,2	17,0	0,83	220
04241506	47	16,4	14,6	0,78	155
04241507	50	24,7	20,2	0,91	237
04241601	43	18,6	17,4	1,07	269
04241602	34	15,8	16,2	0,74	183
04241603	33	15,2	13,2	0,20	106

*04 – Дніпропетровська область; 24 – робінія псевдоакація; 14 – рік закладання ТПП; 01 – номер площі за порядком.

Для розрахунку експериментальних даних використовували програмне забезпечення Statistica 12 та програму PERTA. У процесі виконання роботи використано такі умовні позначення: *A* – середній вік деревостану, роки; *D* – середній діаметр деревостану на висоті 1,3 м, см; *H* – середня висота деревостану, м; *P* – відносна повнота деревостану; *M* – запас стовбурової деревини, м³·га⁻¹; *ZdcmM* – поточний приріст деревини за запасом деревостану, м³·га⁻¹·рік⁻¹; *Zkcm* – поточний приріст кори деревостану, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Zdg* – поточний приріст деревини гілок, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Zkg* – поточний приріст кори гілок,

т·га⁻¹·рік⁻¹; *BZdcmM* – частка поточного приросту деревини за запасом, %; *Pdcm* – продукція стовбурової деревини, т·га⁻¹·рік⁻¹; *Ddcmбаз* – середня базисна щільність деревини стовбурів, кг·(м³)⁻¹; *Dkcmбаз* – середня базисна щільність кори стовбурів, кг·(м³)⁻¹; *Ddgбаз* – середня базисна щільність деревини гілок, кг·(м³)⁻¹; *Dkgбаз* – середня базисна щільність кори гілок, кг·(м³)⁻¹; *Sl* – вміст абсолютно сухої речовини у листках; *Phkcm* – фітомаса кори стовбурів деревостану, т·га⁻¹; *Phdg* – фітомаса деревини гілок, т·га⁻¹; *Phkg* – фітомаса кори гілок, т·га⁻¹; *Phl* – фітомаса листя, т·га⁻¹.

Результати та обговорення. Для виявлення закономірностей розподілу значень досліджуваних характеристик насаджень, забезпечення адекватності й точності математичних моделей оцінювання параметрів фракцій фітомаси робінієвих деревостанів Північного Степу України проводили статистичний аналіз (табл. 2).

Для вибірки об'ємом 20 одиниць критичне значення показника косості (асиметрії) дорівнює 0,711 ($p \leq 0,05$), крутості (ексцесу) – 0,907 ($p \leq 0,01$) (Yantsev, 2012). Сукупності даних модальних деревостанів у натуральних величинах: поточний при-

ріст за запасом, запас стовбурової деревини, середній діаметр насадження мають подібність до нормального розподілу.

Незначно перевищує критичне значення показник косості для середньої висоти насадження та показник крутості для відносної повноти насадження. Усі досліджувані показники характеризуються від'ємною асиметрією, що свідчить про зсув кривої розподілу ліворуч. Переважає від'ємний ексцес (за винятком відносної повноти насадження), що демонструє плосковершинність кривих розподілу.

Таблиця 2

Основні статистики розподілу таксаційних показників робінієвих деревостанів і поточного об'ємного приросту деревини за запасом

Ознака деревостану	Значення		Статистики			
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\bar{x}$	стандартне відхилення	асиметрія	ексцес
$Z_{\text{дст}M}$, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}$	0,23	9,99	5,77	2,80	-0,195	-0,359
<i>A</i> , років	3,00	82,0	43,8	22,33	-0,183	-0,629
<i>D</i> , см	3,90	26,00	16,97	6,94	-0,606	-0,699
<i>H</i> , м	5,20	21,50	14,78	5,34	-0,769	-0,490
<i>P</i>	0,10	1,45	0,747	0,31	-0,350	1,349
<i>M</i> , $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$	2,00	291,00	165,55	91,94	-0,699	-0,833

За даними кореляційного аналізу встановлено, що поточний приріст за запасом має достовірний прямий помірний зв'язок з відносною повнотою та запасом стовбурової деревини, з яких найтісніший з відносною повнотою ($r = 0,67$), слабкий – з віком, діаметром та висотою, причому для середнього віку цей зв'язок є найслабшим (табл. 3).

Таблиця 3

Кореляційна матриця поточного приросту деревини за запасом з таксаційними ознаками робінієвих деревостанів

Ознака деревостану	$Z_{\text{дст}M}$	<i>A</i>	<i>D</i>	<i>H</i>	<i>P</i>	<i>M</i>
$Z_{\text{дст}M}$	1	–	–	–	–	–
<i>A</i>	0,13	1	–	–	–	–
<i>D</i>	0,19	0,84	1	–	–	–
<i>H</i>	0,21	0,79	0,94	1	–	–
<i>P</i>	0,67	0,45	0,44	0,49	1	–
<i>M</i>	0,42	0,76	0,84	0,90	0,72	1

Одним із основних методів дослідження динаміки біометричних показників лісу є регресійний аналіз (Lakyda, 2002). Множинне регресійне моделювання є дієвим методом дослідження складних багатопараметричних систем, до яких належать лісові фітоценози (Usoltsev, 2010).

Оцінювання стовбурової продукції деревостану ідентифікується із поточним проростом за запасом, що визначається у вагових одиницях через базисну щільність цього компонента. Отже, на першому етапі дослідження сумарного поточного приросту фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів здійснено встановлення математичної залежності поточного об'ємного приросту за запасом від біометричних показників модальних деревостанів робінії, як основи біотичної продукції насадження. Враховуючи значення коефіцієнтів детермінації отриманих регресійних моделей та можливість їх практичного використання для розрахунку поточного об'ємного приросту за запасом робінієвих деревостанів Північного Степу України, рекомендовано рівняння, зазначені у табл. 4.

Двофакторні моделі (3), (4) поточного об'ємного приросту стовбурової деревини робінієвих деревостанів за запасом, де аргументами виступали середній вік, діаметр та висота насадження, характеризуються досить низькими коефіцієнтами детермінації, але значущими на 5%-му рівні. Найвищий коефіцієнт детермінації наявний у моделі (1), де враховано п'ять факторів впливу. Виходячи з аналізу коефіцієнтів детермінації та залишків рівнянь, для подальших розрахунків було обрано двофакторну модель (2) з урахуванням діаметра і запасу, яка описує понад 71 % дисперсії залежної змінної.

У роботі Cherveniy & Tretyak (2010) зазначено, що поточний приріст деревини з віком у деревостанах спочатку зростає, а потім, досягнувши максимуму, зменшується. У розрахованих моделях середній вік

насаджень, як аргумент рівняння, має від'ємне значення коефіцієнта, що підтверджує зазначену тезу. Графічну інтерпретацію залежності поточного об'ємного приросту робінієвих деревостанів за запасом від віку насадження наведено на рис. 1.

На наступному етапі дослідження розрахунок продукції стовбурової деревини робінієвих насаджень через оцінювання поточного приросту за за-

пасом з урахуванням середньої базисної щільності деревини робінії здійснене за рівнянням

$$P_{\text{дст}} = Z_{\text{дст}} M \cdot D_{\text{дст}} \text{баз} \quad (5)$$

Попередніми дослідженнями встановлено значення середньої базисної щільності деревини стовбурів робінії псевдоакації, яка становить $499,8 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$ (Sytnyk, Lovynska, Lakyda, & Maslikova, 2018).

Таблиця 4

Моделі оцінювання поточного об'ємного приросту стовбурової деревини робінієвих деревостанів

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
1	$Z_{\text{дст}} M = 14,050 \cdot A^{-0,554} \cdot D^{-0,143} \cdot H^{-0,757} \cdot P^{0,274} \cdot M^{0,746}$	0,82
2	$Z_{\text{дст}} M = 7,328 \cdot D^{-1,282} \cdot M^{0,683}$	0,71
3	$Z_{\text{дст}} M = 3,431 \cdot D^{0,338} \cdot H^{-0,154}$	0,28
4	$Z_{\text{дст}} M = 3,235 \cdot A^{0,115} \cdot D^{0,059}$	0,26

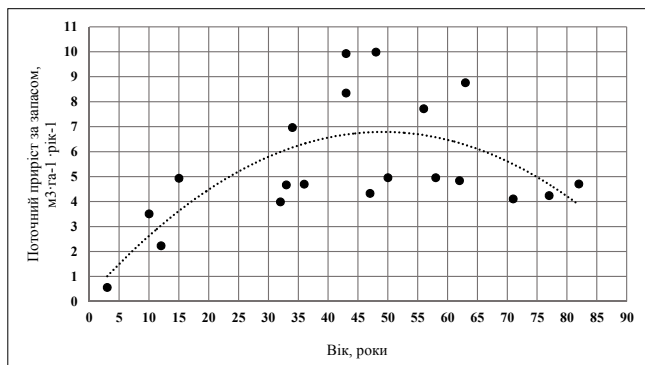


Рис. 1. Залежність поточного приросту за запасом робінієвих деревостанів від середнього віку насадження

Розраховані нормативи продукції стовбурової деревини робінієвих насаджень можуть бути рекомендовані до використання у деревостанах із середнім діаметром у межах від 4 до 28 см та запасом стовбурової деревини – від 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ за умови модальної відносної повноти 0,9 (табл. 5).

Згідно з наведеними нормативними даними, продукція стовбурової деревини зі збільшенням середнього діаметра деревостану – зменшується, а зі збільшенням запасу за умови сталого діаметру – зростає. У Північному Степу України найбільша площа зайнята насадженнями перестиглої групи віку, для яких у діапазоні середніх діаметрів насадження 14–24 см, продукція стовбурової деревини знаходиться у межах $2,69\text{--}1,73 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$.

Таблиця 5

Продукція стовбурової деревини робінієвих деревостанів, $\text{т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$

Середній діаметр, см	Запас стовбурової деревини, $\text{м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$									
	20	30	40	60	80	90	110	130	150	180
Повнота 0,9										
4	4,79									
6	2,85	3,76								
8	1,97	2,60	3,16							
10		1,95	2,38	3,14						
12		1,55	1,88	2,48	3,02					
14			1,54	2,04	2,48	2,69				
16				1,72	2,09	2,26	2,60			
18					1,80	1,95	2,23	2,50		
20						1,70	1,95	2,19	2,41	
22							1,73	1,93	2,13	2,42
24								1,73	1,91	2,16
26									1,72	1,95
28									1,57	1,77

Надалі для оцінювання загального поточного приросту надземної фітомаси робінієвих насаджень було здійснено розрахунок поточного проросту компонентів фітомаси (кора стовбурів, деревина і кора гілок, фітомаса листя). Тому для визначення поточного приросту здійснено моделювання фітомаси компонентів надземної части-

ни деревостану з основними таксаційними показниками насадження, результати якого наведено в табл. 6.

Для подальшого розрахунку поточного приросту надземної частини робінієвих деревостанів здійснено моделювання частки (відсотка) поточного приросту деревини за запасом (табл. 7).

Таблиця 6

Моделі оцінювання фітомаси компонентів надземної частини деревостанів *Robinia pseudoacacia* L.

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
Фітомаса кори стовбурів		
6	$Ph_{kcm} = 0,114 \cdot A^{-0,227} \cdot D^{0,249} \cdot H^{0,080} \cdot P^{-0,099} \cdot M^{0,915}$	0,96
7	$Ph_{kcm} = 0,114 \cdot D^{0,062} \cdot H^{0,297} \cdot M^{0,740}$	0,95
8	$Ph_{kcm} = 0,080 \cdot H^{0,288} \cdot P^{-0,097} \cdot M^{0,842}$	0,94
9	$Ph_{kcm} = 0,542 \cdot H^{1,224} \cdot P^{0,431}$	0,92
10	$Ph_{kcm} = 0,707 \cdot A^{-0,121} \cdot D^{1,198}$	0,85
11	$Ph_{kcm} = 0,264 \cdot D^{-0,029} \cdot H^{2,474}$	0,74
Фітомаса деревини гілок		
12	$Ph_{dg} = 0,071 \cdot A^{0,053} \cdot D^{-0,730} \cdot H^{0,368} \cdot P^{-0,417} \cdot M^{0,915}$	0,69
13	$Ph_{dg} = 0,416 \cdot D^{-0,765} \cdot H^{1,987}$	0,62
14	$Ph_{dg} = 2,564 \cdot D^{0,554} \cdot P^{0,531}$	0,57
15	$Ph_{dg} = 0,409 \cdot A^{-0,131} \cdot M^{0,737}$	0,57
Фітомаса кори гілок		
16	$Ph_{kg} = 0,022 \cdot A^{-0,049} \cdot D^{-3,070} \cdot H^{6,997} \cdot P^{1,627} \cdot M^{-0,910}$	0,82
17	$Ph_{kg} = 0,0003 \cdot D^{-3,389} \cdot H^{6,966} \cdot P^{1,107}$	0,80
18	$Ph_{kg} = 0,0008 \cdot D^{-3,338} \cdot H^{6,621}$	0,77
19	$Ph_{kg} = 0,129 \cdot A^{-0,852} \cdot M^{1,353}$	0,66
Фітомаса листя		
20	$Ph_l = 1,293 \cdot A^{-0,098} \cdot D^{-0,895} \cdot H^{2,302} \cdot P^{0,405} \cdot M^{-0,476}$	0,67
21	$Ph_l = 1,584 \cdot D^{-1,799} \cdot H^{2,121}$	0,64
22	$Ph_l = 5,163 \cdot A^{-0,390} \cdot M^{0,188}$	0,24
23	$Ph_l = 3,735 \cdot D^{-0,047} \cdot P^{0,113}$	0,24

Таблиця 7

Частка поточного приросту деревини за запасом, %

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації
24	$BZ_{dcm} = 12,308 \cdot A^{-0,940} \cdot D^{-0,591} \cdot H^{2,118} \cdot P^{0,050} \cdot M^{-0,346}$	0,98
25	$BZ_{dcm} = 15,337 \cdot D^{-6,053} \cdot H^{5,671}$	0,96
26	$BZ_{dcm} = 48,009 \cdot A^{-1,800} \cdot D^{-1,433}$	0,97

Використовуючи вихідні дані – таксаційні характеристики робінієвих лісостанів та опрацьовані математичні моделі поточного приросту деревостану за запасом, його відсотка та інших компонентів надземної фітомаси, розроблено алгоритм розрахунку узагальненого поточного приросту надземної фітомаси деревостану (рис. 2).

При цьому, за відсутності досліджень поточного приросту таких компонентів фітомаси деревостанів, як кора стовбура і кора гілок крони – було прийнято узагальнення, що ці компоненти фітомаси мають поточний приріст, пропорційний відсотку поточного приросту стовбурової деревини деревостану за запасом.

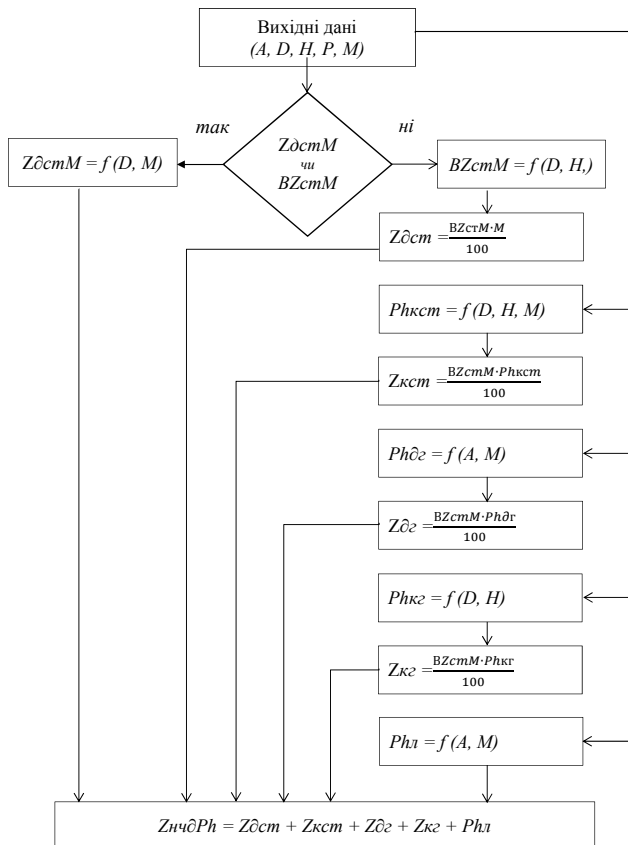


Рис. 2. Блок-схема розрахунку загального поточного приросту надземної фітомаси деревостанів *Robinia pseudacacia*

Враховуючи значення коефіцієнтів детермінації, коефіцієнтів регресії залишків рівнянь, для розрахунку обрано і використано адекватні моделі (2), (7), (15), (17), (21) і (25), які було використано для розрахунку поточного приросту надземної частини робінієвих деревостанів за даними повиділь-

ної бази ВО «Укрдержліспроект» для насаджень лісогосподарських підприємств, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України у межах Дніпропетровської області.

Враховуючи базисну щільність досліджуваних компонентів фітомаси та вміст абсолютно сухої речовини у листках робінії, розраховано річну продукцію надземної фітомаси деревостанів регіону досліджень. Загалом було розраховано дані з 4772 таксаційних виділів дев'яти держлісгоспів і природного заповідника «Орільсько-Дніпровський» на площі 19683,7 га (табл. 8, рис. 3).

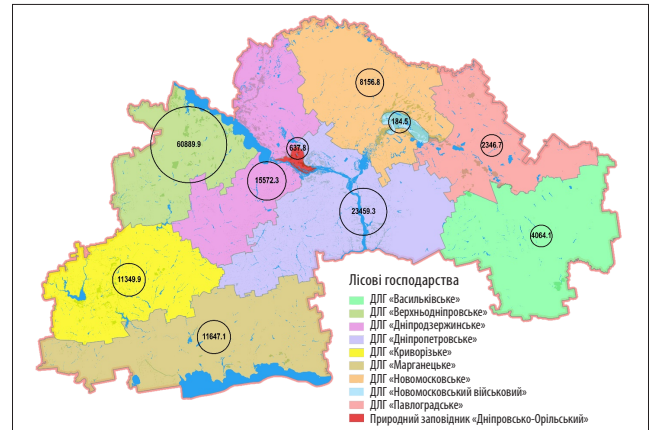


Рис. 3. Загальна продукція фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів лісогосподарських підприємств Дніпропетровської області

Загальну продукцію фітомаси надземної частини робінієвих деревостанів у Дніпропетровській області оцінено у 138308,4 т·рік⁻¹: найбільші значення досліджуваного параметра зафіксовано у Верхньодніпровському та Дніпропетровському держлісгоспах – 60889,9 та 23459,3 т·рік⁻¹ відповідно.

Таблиця 8

Загальна продукція надземної частини робінієвих деревостанів лісогосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового та мисливського господарства

Державне лісове господарство (ДЛГ) / лісництво	Таксаційний виділ, шт.	Площа робінієвих деревостанів, га	Загальна продукція фітомаси надземної частини деревостану, т·рік ⁻¹
1	2	3	4
ДЛГ «Васильківське»	138	558,5	4064,1
Великомихайлівське	45	169,3	1328,6
Межівське	45	233,4	1525,3
Олександрівське	28	73,4	552,2
Покровське	20	82,4	558,0
ДЛГ «Верхньодніпровське»	1906	7095,1	60889,9
Бородаївське	485	1392,8	12795,3
Верхньодніпровське	449	1899,4	17063,8
Лихівське	463	1789,8	14394,3
Мішунірорізьке	385	1626,9	13498,1
П'ятихатське	124	386,2	3207,5
ДЛГ «Дніпродзержинське»	529	2051,3	15572,3

1	2	3	4
Дніпродзержинське	161	668,1	5098,8
Курилівське	50	211,8	1735,4
Миколаївське	73	301,9	2258,1
Радянське	99	405,1	3061,1
Царичанське	94	308,5	2268,1
Шульгівське	52	155,9	1150,8
ДЛГ «Дніпропетровське»	961	3077,7	23459,3
Ленінське	166	708,5	5939,2
Любимівське	248	748,2	5586,5
Петриківське	174	688,9	5355,2
Микільське	373	932,1	6578,4
ДЛГ «Криворізьке»	430	1477,6	11349,9
Дзержинське	108	453,1	3789,6
Криворізьке	147	422,7	3350,1
Софіївське	78	290,7	2095,1
Широківське	101	311,1	2115,1
ДЛГ «Марганецьке»	555	1805,8	11647,1
Апостолівське	152	326,0	2393,9
Марганецьке	205	609,0	3861,3
Нікопольське	198	870,8	5391,9
ДЛГ «Новомосковське»	145	3133,9	8156,8
Котовське	5	7,2	53,70
Кочерезьке	11	32,2	203,51
Новомосковське	23	56,3	448,7
Перещепинське	106	1038,2	7450,9
ДЛГ «Новомосковський військовий»	26	26,9	184,5
Васильківське	6	3,9	33,7
Вільнянське	5	2,3	15,1
Знаменівське	6	15,1	95,2
Красноліське	9	5,6	40,5
ДЛГ «Павлоградське»	50	359,3	2346,7
Павлоградське	28	94,1	563,9
Петроправлівське	21	265,0	1781,7
Юріївське	1	0,2	1,1
Природний заповідник «Дніпровсько-Орільський»	32	97,6	637,8
Всього	4772	19683,7	138308,4

Висновки. У Північному Степу України найбільша площа зайнята насадженнями робінієвих псевдоакації перестиглої групи віку, для яких у діапазоні середніх діаметрів 14-24 см продукція стовбурової деревини знаходиться у межах 1,73-2,69 т·га⁻¹·рік⁻¹. Максимальний поточний об'ємний приріст стовбурової деревини (9,99 м³·га⁻¹·рік⁻¹) зафіксовано в деревостанах робінії віком 43-53 роки. Загальну про-

дукцію надземної частини робінієвих деревостанів лісгосподарських підприємств Дніпропетровського обласного управління лісового і мисливського господарства оцінено в 138308,4 т·га⁻¹·рік⁻¹.

Розраховані нормативи оцінювання продукції стовбурової деревини робінієвих деревостанів, фітомаси деревини і кори стовбура, фітомаси деревини і кори гілок, фітомаси листків та їхнього поточ-

ного приросту пропонуються для практичного використання лісгосподарськими підприємствами.

References

- Capozzi, F., Di Palma, A., Adamo, P., Spagnuolo, V., & Giordano, S. (2017). Monitoring chronic and acute PAH atmospheric pollution using transplants of the moss *Hypnum cupressiforme* and *Robinia pseudoacacia* leaves. *Atmospheric Environment*, 150, 45-54. <https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2016.11.046>
- Chen, L., Deng, Q., Yuan, Z., Mu, X., & Kallenbach, R. (2018). Age-related C:N:P stoichiometry in two plantation forests in the Loess Plateau of China. *Ecological Engineering*, 120, 14-22. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2018.05.021>
- Chervenyi Yu.I., & Tretyak (2010). Growth of old-fashioned woodlands and its ecological significance. *The Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20.9, 70-77. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_9/index.htm (in Ukrainian).
- Khedive, E., Shirvany, A., Assareh, M., & Sharkey, T. (2017). In situ emission of BVOCs by three urban woody species. *Urban Forestry and Urban Greening*, 21, 153-157. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.11.018>
- Kroftová, M., & Reif, J. (2017). Management implications of bird responses to variation in non-native/native tree ratios within central European forest stands. *Forest Ecology and Management*, 391, 330-337. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.034>
- Lakyda, P.I. (2002). *Fitomasa lisiv Ukrainy*. Ternopil: Zbruch (in Ukrainian).
- Lakyda, P.I., & Blyshchik, I.V. (2010). *Phytomass alders of Western Polissya of Ukraine*. Korsun-Shevchenkivskij: FOP Majdachenko I.S. (in Ukrainian).
- Lakyda, P.I., & Sytnyk, S.A. (2014). Peculiarities of forest inventory structure of black locust stands Steppe in Dnieper Northern of Ukraine. *Forestry & Forest Melioration*, 125, 25-31 (in Ukrainian). <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/8>
- Lakyda, P.I., Vasylyshyn R.D., Lashchenko A.H., & Terentiev A. Yu. (2011). *Normative assessment of the components of the aboveground phytomass of trees of the main forest species of Ukraine*. Kyiv: Ekoinform (in Ukrainian).
- Liang, H., Xue, Y., Li, Z., Wang, S., Wu, X., Gao, G., Liu, G., & Fu, B. (2018). Soil moisture decline following the plantation of *Robinia pseudoacacia* forests: Evidence from the Loess Plateau. *Forest Ecology and Management*, 412, 62-69. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.01.041>
- Liu, D., Huang, Y., Sun, H., & An, S. (2018). The restoration age of *Robinia pseudoacacia* plantation impacts soil microbial biomass and microbial community structure in the Loess Plateau. *Catena*, 165, 192-200. <https://doi.org/10.1016/j.catena.2018.02.001>
- Mao, P., Tang, Q., Cao, B., Liu, J., Shao, H., Cao, Z., ... Zhu, Z. (2017). Eco-physiological adaptability in mixtures of *Robinia pseudoacacia* and *Fraxinus velutina* and coastal eco-engineering. *Ecological Engineering*, 106, 109-115. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2017.05.021>
- Ni, K., Yang, H., Ang, H., Hua, W., Wang, Y., & Pang, H. (2016). Selection and characterisation of lactic acid bacteria isolated from different origins for ensiling *Robinia pseudoacacia* and *Morus alba* L. leaves. *Journal of Integrative Agriculture*, 15, 2353-2362. [https://doi.org/10.1016/S2095-3119\(15\)61251-5](https://doi.org/10.1016/S2095-3119(15)61251-5)
- Prylipko, I.S. (2016). Production of stem wood and bark of birch trees in the stands of Chernigov Polissya. *The Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 26.5, 140-147. <https://doi.org/10.15421/40260521>
- Qin, J., Xi, W., Rahmlow, A., Kong, H., Zhang, Z., & Shangguan, Z. (2016). Effects of forest plantation types on leaf traits of *Ulmus pumila* and *Robinia pseudoacacia* on the Loess Plateau, China. *Ecological Engineering*, 97, 416-425. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.10.038>
- Sytnyk, S.A., & Lovynska, V.M. (2016). Energy potential of the main forestforming stands within Ukrainian Northern Steppe. *Forestry & Forest Melioration*, 129, 146-153. <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/article/view/121> (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 oecologia*, 45 (2), 34-47. <https://doi.org/10.2478/foecol-2018-0009>
- Usoltsev, V.A. (2010). *Phytomass and primary production of forests of Eurasia*. Russia, Yekaterinburg: URAN (in Russian).
- Vítková, M., Müllerová, J., Sádlo, J., Pergl, J., & Pyšek, P. (2017). Black locust (*Robinia pseudoacacia*) beloved and despised: A story of an invasive tree in Central Europe. *Forest Ecology and Management*, 384, 287-302. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.10.057>
- Yan, W., Zhong, Y., & Shangguan, Z. (2017). Rapid response of the carbon balance strategy in *Robinia pseudoacacia* and *Amorpha fruticosa* to recurrent drought. *Environmental and Experimental Botany*, 138, 46-56. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2017.03.009>
- Yang, S., Li, G., Zhao, Z., Feng, M., Fu, J., Huang, Z., Song, M., & Lin, S. (2017). The Taishan *Robinia pseudoacacia* polysaccharides enhance immune effects of rabbit haemorrhagic disease virus inactivated vaccines. *Microbial Pathogenesis*, 112, 70-75. <https://doi.org/10.1016/j.micpath.2017.09.037>
- Yantsev, A.V. (2012). *Selection of statistical criteria*. Crimea, Symferopol: TNU (in Russian).
- Zverkovskyy, V.M., Sytnyk, S.A., Lovynska, V.M., Kharytonov, M.M., Lakyda, I.P., Mykolenko ...

& Gispert, M. (2018). Remediation potential of forest forming tree species within northern steppe reclamation stands. *Ekológia (Bratislava)*, 37 (1), 69-81. <https://doi.org/10.2478/eko-2018-0007>

Продукция фитомассы надземной части робиниевых древостоев в лесных культурах Северной Степи Украины

П. И. Лакида¹, С. А. Сытник²

Экологический потенциал лесных экосистем возможно оценить исключительно на основании знаний их биотической продуктивности. Увеличение надземной фитомассы лесных фитоценозов обуславливает более интенсивное депонирование углекислого газа, что является одним из действенных механизмов предотвращения изменений климата.

Среднегодовой прирост древесины в лесах государственного агентства лесных ресурсов Украины составляет $3,9 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, от $5,0 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ в Карпатах до $2,5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ в степной зоне.

Один из наиболее распространенных компонентов искусственных лесных насаждений Северной Степи – робиния псевдоакация. В лесах Днепропетровского областного управления лесного и охотничьего хозяйства данный лесообразующий древесный вид занимает площадь в 19683,7 га.

Текущий объемный прирост древесины стволов и продукция компонентов фитомассы надземной части робиниевых насаждений Украины определены для модальных древостоев, которые характеризуются следующими таксационными показателями: возраст – 3-82 года, диаметр ствола на высоте 1,3 м – 3,9-24,8 см, высота – 5,2-21,5 м, относительная полнота – 0,1-1,15.

В качестве входных аргументов регрессионных уравнений использованы таксационные показатели робиниевых древостоев. Рассчитанные регрессионные аллометрические модели оценивания текущего объемного прироста по запасу, фитомассы древесины и коры стволов, фитомассы компонентов кроны – древесины и коры ветвей, фитомассы листьев имеют коэффициенты детерми-

нации уравнений (0,24-0,96), которые превышают его критическое значение. Наиболее значимой определена пятифакторная модель, которая в качестве аргументов включает возраст, средний диаметр, среднюю высоту главной породы, запас и относительную полноту насаждения.

Расчет продукции древесины стволов робиниевых насаждений осуществлен через оценивание текущего прироста по запасу и средней базисной плотности древесины стволов робинии псевдоакалии, которая составляет $499,8 \text{ кг} \cdot (\text{м}^3)^{-1}$.

Приведены нормативы продукции стволовой древесины древостоев в пределах значений среднего диаметра древостоя от 4 до 28 см и запаса стволовой древесины – от 20 до $180 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Продукция стволовой древесины с увеличением среднего диаметра древостоя уменьшается, а с увеличением запаса при условии одинакового значения диаметра – увеличивается. В возрастной структуре робиниевых насаждений Северной Степи доминирует группа переспелых древостоев, для которых в диапазоне средних диаметров 14-24 см, продукция стволовой древесины составляет $1,73-2,69 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{год}^{-1}$.

Общая продукция фитомассы надземной части робиниевых древостоев лесохозяйственных предприятий, подчиненных Государственному агентству лесных ресурсов Украины в Днепропетровской области, оценена в 138,3 тыс. т·год⁻¹.

Ключевые слова: *Robinia pseudoacacia* L.; надземная фитомасса; текущий прирост; продукция фитомассы; математическое моделирование; аллометрические регрессионные модели.

Live biomass production of the aboveground parts of black locust stands in forest cultures of the Northern Steppe of Ukraine

P. Lakyda¹, S. Sytnyk²

The ecological potential of forest ecosystems can be estimated solely on the knowledge basis of their biological productivity. Increasing aboveground live biomass of forest plant community leads to a more intensive sequestration of carbon dioxide, which is

¹ Лакида Петр Иванович – академик Лесной академии наук Украины, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, директор учебно-научного института лесного и садово-паркового хозяйства НУБип Украины. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборона, 15, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: (044) 527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Сытник Светлана Анатольевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры садово-паркового хозяйства. Днепровский государственный аграрно-экономический университет, ул. Сергея Ефремова, 25, г. Днепр, 49060, Украина. Тел.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

¹ Petro Lakyda – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Director of the Education and Research Institute of Forestry and Landscape-Park Management, National University of Life and Environmental Science of Ukraine, Heroiv Oborony, 15, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: 044-527-85-28, +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Svitlana Sytnyk – PhD of Botany, Associate Professor of Department of Park and Garden of Dnipro State Agrarian and Economic University, Serhii Efremov str., 25, Dnipro, 49060, Ukraine. Tel.: +38-093-015-46-10. E-mail: sytnyk.s.a@dsau.dp.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7646-6347>

one of the effective mechanisms for countering climate change.

The mean annual increment of wood in the forests of the State Forestry Resource Agency of Ukraine is $3.9 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$, ranging from $5.0 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in the Karpathians to $2.5 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ in the Steppe zone.

One of the most common tree species of forest stands of the Northern Steppe is black locust. In the forests of Dnipropetrovsk regional forestry and hunting administration, this forest-forming species occupies an area of 19683.7 ha.

The current volume of stem wood and production of live biomass components of aboveground parts of black locust stands in Ukraine are determined for modal stands, which are characterized by the following biometric indices: age – 3-82 years, trunk diameter at breast height – 3.9-24.8 cm, height – 5.2-21.5 m, relative stocking – 0.1-1.15.

As input arguments of the regression equations we have used biometric indices of black locust stands. The developed regression allometric models for estimating the current volume increase by stock, live biomass of wood and bark of trunk, live biomass of crown components – wood and bark of branches, live biomass of foliage have equation determination coefficients (0.24-0.96) that exceed the critical values. The five-factor model is identified as the most statistically significant, which includes age, mean diameter, mean

height of the main species, growing stock and relative density of stands as arguments.

Calculation of stem wood production of black locust stands was carried out through assessing their current growth by stock and the mean basics density of stem wood which is $499.8 \text{ kg (m}^3)^{-1}$.

The reference materials for assessing stem wood production of stands are given within the range of mean diameter of a stand from 4 to 28 cm and for stock of stem wood – from 20 to $180 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$.

The production of stem wood decreases with an increase of mean diameter of a stand. At the same time an increase of growing stock leads to an increase of production, provided that the diameter does not change. In the age structure of black locust plantations in the Northern Steppe, a group of over mature stands is dominating, for which, in the range of mean diameters of 14-24 cm, stem wood production is $1.73\text{-}2.69 \text{ t ha}^{-1} \cdot \text{year}^{-1}$.

The total live biomass production of aboveground part of black locust stands of forestry enterprises subordinated to the State Forest Resources Agency of Ukraine in the Dnipropetrovsk region is estimated at $138.3 \text{ thou. t} \cdot \text{year}^{-1}$.

Key words: black locust; aboveground live biomass; current annual increment; live biomass production; mathematical modeling; allometric regression models.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411935>
Article received 2019.06.24
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Viktor Myroniuk
victor.myroniuk@nubip.edu.ua
Heroiv Oborony st., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

УДК 630.53

Дешифрування видового складу лісових насаджень за даними сезонних мозаїк супутникових знімків Landsat і вибіркової інвентаризації лісів

В. В. Миронюк¹

Дешифрування видового складу лісових насаджень за супутниковими знімками має важливе значення для оцінювання стану та динаміки лісових ресурсів. У роботі використано часові ряди знімків Landsat 8 OLI, а як джерело опорної інформації – дані регіональної інвентаризації лісів Сумської області 2013 р., отримані на 333 кругових пробних ділянках. Супутникові знімки відібрано для часового періоду 2014-2016 рр. та скомпоновано в безхмарні мозаїки для трьох сезонів: квітень–жовтень, літо, осінь. Для дешифрування поширення деревостанів різного видового складу, а також деревних видів, які домінують у складі насаджень, на основі методу k найближчих сусідів (k -NN) спрогнозовано значення сум площ перерізів восьми найбільш представлених у лісовому фонді області видів. У дослідженні використано алгоритм k -NN методу, адаптований до платформи хмарних обчислень Google Earth Engine. Як міру пошуку найближчих сусідів застосовано Евклідову відстань у просторі спектральних показників супутникових знімків Landsat і допоміжної неспектральної інформації. За результатами досліджень отримано неперервні попиксельні оцінки сум площ перерізів деревостанів сосни, дуба, клена, липи, берези, ясеня, осики та вільхи. На основі отриманих карт встановлено поширення основних лісотвірних деревних видів Сумської області, а за оцінками сум площ перерізів створено карту деревних видів, які домінують у насадженнях. На основі порівняння розподілу площі деревостанів за деревними видами, що домінують у насадженнях, встановлено узгодженість у відсотковому співвідношенні оцінок із офіційними даними обліку лісів області. На основі виконаних досліджень визначено актуальним запровадження в інвентаризацію лісів України методів дистанційного зондування Землі.

Ключові слова: класифікація; метод найближчих сусідів; хмарні обчислення; облік лісів; моніторинг; вибірка; часовий ряд; сума площ перерізів.

Вступ. Наявність чітких у просторовому вимірі даних про поширення видів деревної рослинності відіграє вагомий роль у розумінні динаміки лісового покриву, а також сприяє запровадженню ефективного екологічно орієнтованого лісового менеджменту. Згідно з висновками літературного огляду публікацій (Fassnacht et al., 2016), з початку 1980-х років простежується тренд до зростання кількості нау-

кових досліджень видового складу лісів методами дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). Незважаючи на вагомий успіх в цьому напрямі, розпізнавання деревних видів за супутниковими знімками залишається складним завданням, оскільки внутрішньовидова варіація спектральних показників зазвичай перевищує міжвидову (Hill, Wilson, George, & Hinsley, 2010). Значні обмеження багатьох методів

¹ Миронюк Віктор Валентинович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доцент кафедри таксації лісу та лісового менеджменту, доктор сільськогосподарських наук. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Героїв Оборони, 15, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-044-527-85-23. E-mail: victor.myroniuk@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5961-300X>

ДЗЗ пов'язані зі складною просторовою структурою лісових насаджень, за якої на знімках простежується тільки верхній ярус насадження (Immitzer, Atzberger, & Koukal, 2012). З огляду на це, особливу увагу приділяють дослідженню сезонної мінливості їхніх спектральних показників упродовж року, які пов'язані з фенологічним станом рослинності та біофізичними параметрами деревного намету (Myroniuk, 2017a).

Для дешифрування видового складу насаджень важливе значення має вибір сезону знімання. За даними Hill et al. (2010), знімки, зроблені впродовж осіннього сезону, є інформативнішими, ніж літні та весняні, а поєднання їх у вигляді часового ряду забезпечує найвищу точність класифікації. Дослідження, виконані на основі комерційних сенсорів RapidEye і Formosat-2, підтвердили ефективність розпізнавання деревних видів за мультиспектральними супутниковими знімками, одержаними в різні періоди одного вегетаційного сезону (Sheeren et al., 2016; Tigges, Lakes, & Hostert, 2013). У сучасних умовах під час масштабних досліджень лісового покриття для цього широко застосовують безоплатні дані сенсорів Landsat (Thompson, Nelson, White, & Wulder, 2015) та Sentinel 2 (Hościło & Lewandowska, 2019). Їхня перевага полягає в можливості підібрати знімки високої якості для обраної області інтересу, тоді як пропуски інформації внаслідок хмарності території можуть бути компенсовані даними інших знімків, близьких у часовому діапазоні (Zhu & Liu, 2014). На думку Hansen & Loveland (2012), у майбутньому більшість методів моніторингу будуть побудовані на основі часових серій супутникових знімків, а не окремих сцен, що змістить акцент досліджень на ґрунтовнішому аналізі даних на рівні окремого пікселя. Завдяки повторювальним спостереженням з'являється можливість відібрати з часової серії так звані «найкращі пікселі», відповідно до встановлених критеріїв: сезону знімання, хмарності тощо (White et al., 2014).

Як зазначають Hościło & Lewandowska (2019), крім застосування методів аналізу часових рядів супутникових спостережень, важливе значення для дешифрування видового складу лісових насаджень має якість наземних даних. Найточнішою вважають інформацію, отриману під час обліку лісів вибірковими методами. З огляду на це, дешифрування видового складу стало однією з ключових ідей методології сучасної статистичної інвентаризації лісів (Franco-Lopez, Ek, & Bauer, 2001; Trubins & Sallnäs, 2014). Зокрема, шведські вчені Reese et al. (2002) звернули увагу, що на основі оптичних супутникових даних і методу k найближчих сусідів (k -NN) методу вдається здійснити дешифрування насаджень із домінуванням хвойних і листяних видів з відхиленням не більше 10 %. Використовуючи канонічний аналіз відповідності, багато авторів (Ohmann & Gregory, 2002; Ohmann, Gregory, Henderson, & Roberts, 2011) довели ефективність k -NN алгоритму для дешифрування просторового градієнта поширення низки деревних видів у гірських регіонах

штату Орегон, США. Загалом методичні підходи, які розробили вчені Північно-Західного Тихоокеанського регіону США, становлять значний науковий інтерес для дешифрування видового складу лісових насаджень за k -NN методом (Henderson, Ohmann, Gregory, Roberts, & Zald, 2014; Hudak, Crookston, Evans, Hall, & Falkowski, 2008; Ohmann, Gregory, & Roberts, 2014; Ohmann et al., 2012). При цьому k -NN метод є ефективною технологією дешифрування знімків, апробований у різних природних зонах планети та засвідчив свою універсальність у контексті спільної обробки даних вибіркової інвентаризації лісів і супутникового знімання (Chirici et al., 2016). У цій роботі його застосовано для дешифрування видового складу лісів на основі даних вибіркової інвентаризації лісів Сумської області та часових рядів супутникових знімків Landsat 8 OLI.

Актуальність теми дослідження пов'язана з необхідністю вдосконалення методичного базису національної інвентаризації лісів України, який повинен відповідати сучасним світовим тенденціям обліку лісів. З огляду на це, у роботі обґрунтовано технологію поєднання наземних вибірових даних, безоплатних мультиспектральних супутникових знімків Landsat та хмарних технологій для аналізу значного обсягу інформації, картографування та визначення площі лісових насаджень Сумської області різного видового складу.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – лісові насадження Сумської області, в яких Центр національної інвентаризації лісів України впродовж 2008-2015 рр. проводив регіональну вибірково-статистичну інвентаризацію. *Предмет дослідження* – видовий склад лісових насаджень і методи його дешифрування за даними мультиспектрального супутникового знімання. *Мета роботи* полягає в опрацюванні методики дешифрування видового складу лісових насаджень на основі даних вибіркової інвентаризації лісів та часових рядів супутникових знімків Landsat.

Дані вибіркової інвентаризації лісів. Дослідний матеріал формують дані таксації лісових насаджень Сумської області на 333 кругових пробних ділянках площею 500 м², які зібрано впродовж 2013 р. під час другого циклу інвентаризації. Просторову основу досліджень формує вибіровий дизайн національної інвентаризації лісів України з регулярною мережею вибірових одиниць (квадрат зі стороною 2,7 × 2,7 км). У межах кожної з них випадково розміщено кластер із чотирьох кругових пробних площ, розташованих у вершинах квадрата зі стороною 420 м. На пробних ділянках виконували обмір дерев завтовшки понад 8 см, на основі чого обчислено суму площ перерізів дерев кожного деревного виду на 1 га. Наявний дослідний матеріал дав змогу сконцентрувати увагу на восьми деревних видах, що домінують на території дослідження: *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth., *Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L. та *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth.

Метод k найближчих сусідів. Дешифрування видового складу виконували на основі методу k найближчих сусідів (McRoberts & Tomppo, 2007) за прогнозними значеннями сум площ перерізів дерев у насадженні. Такий підхід дав змогу максимально узгодити встановлення видового складу лісових насаджень дистанційними та наземними методами. Вибір налаштування алгоритму виконано відповідно до результатів опублікованих раніше досліджень (Myroniuk, Bilous, & Diachuk, 2019), які рекомендують: 1) використовувати Евклідову відстань для пошуку найближчих сусідів; 2) виконувати пошук одного ($k = 1$) найближчого сусіда; 3) застосовувати часові ряди супутникових спостережень. Алгоритм дешифрування опрацьовано на базі сучасної платформи для хмарних обчислень Google Earth Engine (GEE), яка одночасно забезпечує доступ до даних ДЗЗ та ефективне оброблення супутникових знімків в одному із найпотужніших комп'ютерних кластерів (Gorelick et al., 2017).

Сезонні мозаїки Landsat 8 OLI. Для території досліджень підготовлено безхмарні мозаїки зі знімків Landsat 8 OLI рівня обробки L1TP (орторектифіковані дані, приведені до значень відбиття на сенсорі) для трьох сезонів: квітень–жовтень, літо, осінь. Для створення мозаїк відбирали знімки для періоду 2014-2016 рр. з хмарністю менше 30%. Після за-

стосування маски хмар для літньої та осінньої мозаїк знімки поканально поєднували за принципом відбору тих пікселів, які мали найбільші значення індексу NDVI. Використаний алгоритм відразу дав змогу зменшити розмірність даних і позбутися впливу хмар і тіней від них на якість спектральної інформації. Мозаїку для періоду квітень–жовтень, яка характеризує сезон вегетації рослинності, створено теж після маскування хмар, однак відбираючи 1-й, 3-й квартилі та медіану значень пікселів у часовому ряді знімків цього періоду. Для дешифрування використано дані спектральних каналів видимого червоного, ближнього та короткохвильового інфрачервоного спектрів (канали 4-7), їхні співвідношення, вегетаційний індекс NDVI, три канали ортогонального перетворення типу Tasseled-Cap (TCT), які доповнювали неспектральними показниками, зокрема, географічними координатами широти та довготи, висоти над рівнем моря та індексом топографічного положення (Weiss, 2001). Загалом для дешифрування використано 38 показників (Myroniuk, 2017b).

На основі запропонованої методики (рис. 1) у роботі розглядаємо дві задачі: 1) картографування поширення деревних видів на території досліджень; 2) дешифрування лісових насаджень за деревними видами, які домінують.

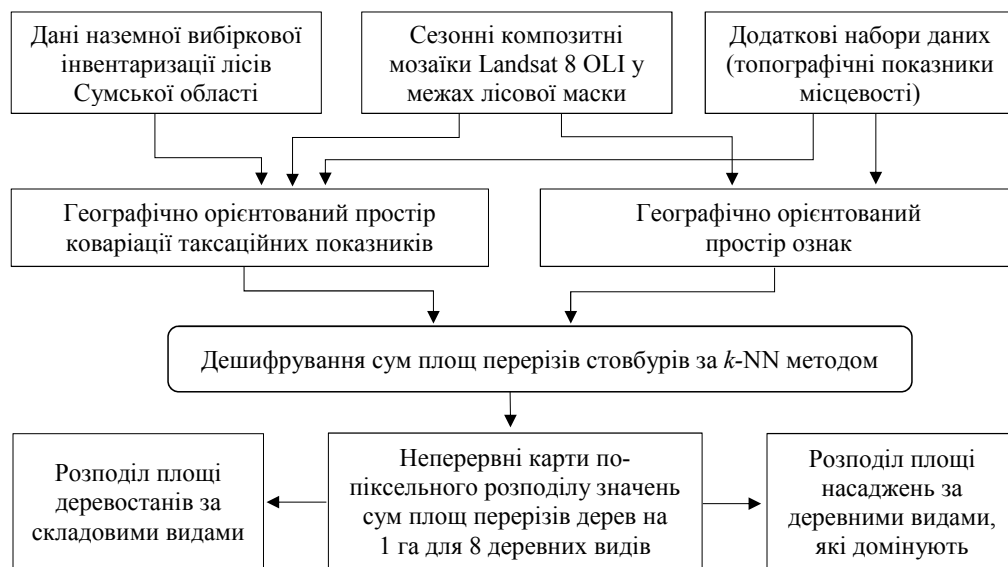


Рис. 1. Блок-схема дешифрування видового складу лісових насаджень за даними супутникових знімків Landsat 8 OLI

Відповідно до k -NN методу значення сум площ перерізів деревостанів, встановлені на кожній вибірковій одиниці, поєднані зі спектральними та додатковими неспектральними показниками, формують *простір коваріації*. Багатовимірний *простір ознак* складається лише з даних спектральних каналів супутникових знімків і топографічних показників місцевості, встановлених для кожного пікселя знімків. Завдяки спільній географічній прив'язці, обидва простори можуть поєднуватися. При цьому

утворюється масив, що містить пропуски даних – відсутні наземні спостереження для значної частини елементів (пікселів супутникових знімків). Ці пропуски заповнюють значеннями таксаційних показників простору коваріації, які у просторі ознак найближчі. Результатом оброблення даних є тематичні карти, що відображають розподіл сум площ перерізів за деревними видами. Ці карти застосовують для встановлення поширення насаджень різного видового складу.

Результати та обговорення. Дослідження поширення та видового складу лісових насаджень є ключовим завданням методів дистанційного зондування лісів. Наразі існує декілька підходів стосовно картографування видового складу лісових насаджень: 1) бінарний прогноз наявності чи відсутності конкретного деревного виду; 2) відображення значень сум площ перерізів певного деревного виду на одиниці площі у вигляді неперервних шкал; 3) відтворення неперервного розподілу загальної суми площ поперечних перерізів усіх елементів лісу на одиниці площі (Henderson et al., 2014). Точність прогнозування за першими двома способами залежить від кількості елементів лісу насаджень та форми деревостанів.

Як відомо, формула складу лісових насаджень визначається за співвідношенням запасів або сум площ перерізів деревостану. Задля узгодження методичних прийомів наземних і дистанційних вимірювань на основі k -NN методу спрогнозовано розподіл сум площ поперечних перерізів восьми найпоширеніших деревних видів Сумської області. Створені карти відображають кількісну оцінку абсолютної повноти деревостанів і свідчать, що значення сум площ перерізів у перерахунку на 1 га достатньо варіюють. Найбільші значення характерні для деревостанів сосни звичайної, які на рівні окремого пікселя 30×30 м можуть сягати $50 \text{ м}^2 \cdot \text{га}^{-1}$ та більше.

Дешифрування видового складу лісів здійснювали в межах лісової маски Сумської області, опрацьованої за даними Landsat 8 OLI для всієї території рівнинної частини України (Myroniuk, 2018). Перевага k -NN методу полягає в можливості прогнозу-

вання відразу декількох таксаційних показників на основі спільної матриці близькості до найближчих сусідів. У цьому дослідженні таку матрицю побудовано, використовуючи значення загальної суми площ перерізів дерев у насадженні. Після того як найближчий сусід для i -го пікселя з-поміж даних простору коваріації встановлено, всі його атрибути (показники на пробі) приписано цьому пікселю. Унаслідок цього отримано вісім тематичних карт, які є неперервними прогнозними оцінками сум площ перерізів восьми зазначених деревних видів. Порівнюючи їх попіксельно, встановлено деревні види, які домінують, а також їхню загальну кількість в одному пікселі.

Відповідно до отриманого прогнозу кількості елементів лісу за k -NN методом (рис. 2), на території дослідження переважають лісові насадження, у складі яких налічується три деревні види. Приблизно $\frac{1}{4}$ деревостанів сосни звичайної чисті за складом, ще майже $\frac{1}{2}$ – з домішкою одного або двох елементів лісу. На відміну від цього, дуб звичайний, клен гостролистий, липа дрібнолиста та ясен звичайний практично ніколи не формують чистих деревостанів. Найчастіше вони ростуть у лісових насадженнях, до складу яких входить 3-5 супутніх видів. На основі наведених розподілів варто очікувати більшої невизначеності результатів моделювання сум площ перерізів, у складі яких налічується значна кількість елементів лісу. У просторовому вимірі помилки теж будуть розподілятися нерівномірно та залежатимуть від поширення цих насаджень на території Сумської області.

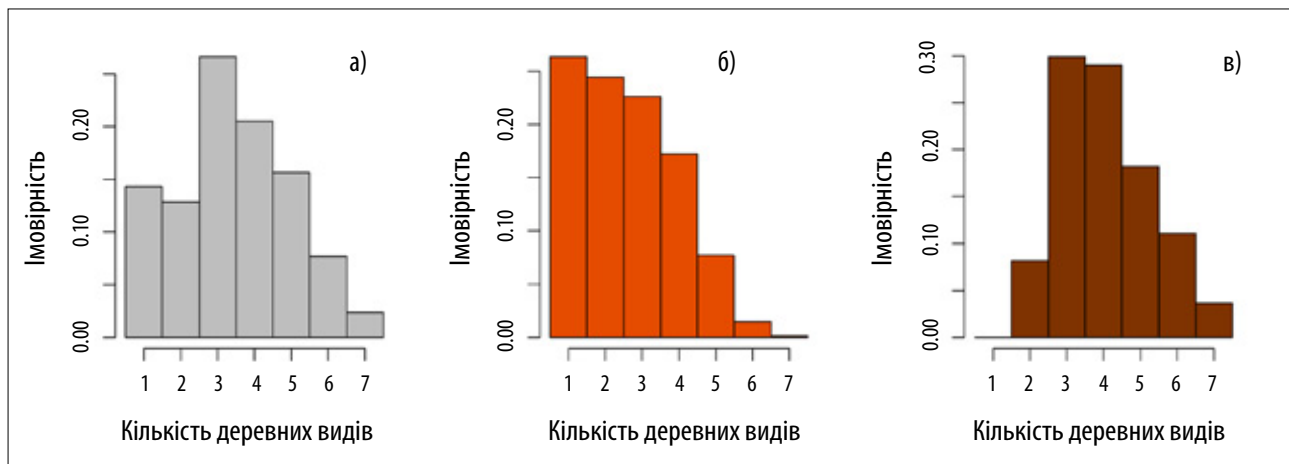


Рис. 2. Розподіл кількості деревних видів у складі лісових насаджень Сумської області за даними дешифрування супутникових знімків Landsat 8 OLI: а) загальний розподіл; б) насадження з домінуванням сосни звичайної; в) насадження з домінуванням дуба звичайного

Найбільша видова різноманітність притаманна деревостанам, які ростуть переважно у південно-східній частині Сумської області. Це лісові насадження, утворені твердолистяними деревними видами – дубом звичайним, ясенем звичайним, кленом гостролистим. До їхнього складу досить часто входить липа дрібнолиста. На відміну від цього,

північній частині Сумської області притаманна істотно менша видова різноманітність. Тут основну частину лісового фонду формують соснові деревостани. Отже, задля ефективного застосування методів дистанційного моніторингу лісів необхідно володіти достатньою інформацією про видовий склад лісів області.

Отримані градієнти розподілу сум площ перерізів врешті-решт трансформовано в тематичну карту, що відображає поширення домінантних (за абсолютною повнотою) деревних видів (рис. 3).

Відповідно до рис. 3, на території Сумської області спостерігається специфічний розподіл площі лісових насаджень залежно від видового складу, який узгоджується з лісорослинним районуванням її території. На півночі в поліській частині області ростуть лісові насадження, де домінує сосна звичайна. Тут значно меншу площу займають лісові насадження з домінуванням берези повислої та

дуба звичайного, ще рідше трапляються деревостани, де головною породою є осика. У південному напрямку видове різноманіття насаджень істотно зростає, причому спостерігається зміна головних лісотвірних видів. У насадженнях лісостепової зони області домінують ясен звичайний, дуб звичайний і липа дрібнолиста. Все ж окремими великими масивами на півдні та південному заході ростуть лісові насадження з домінуванням сосни звичайної. Вільха клейка приурочена до понижених ділянок, що частіше розташовані у західній частині Сумської області.

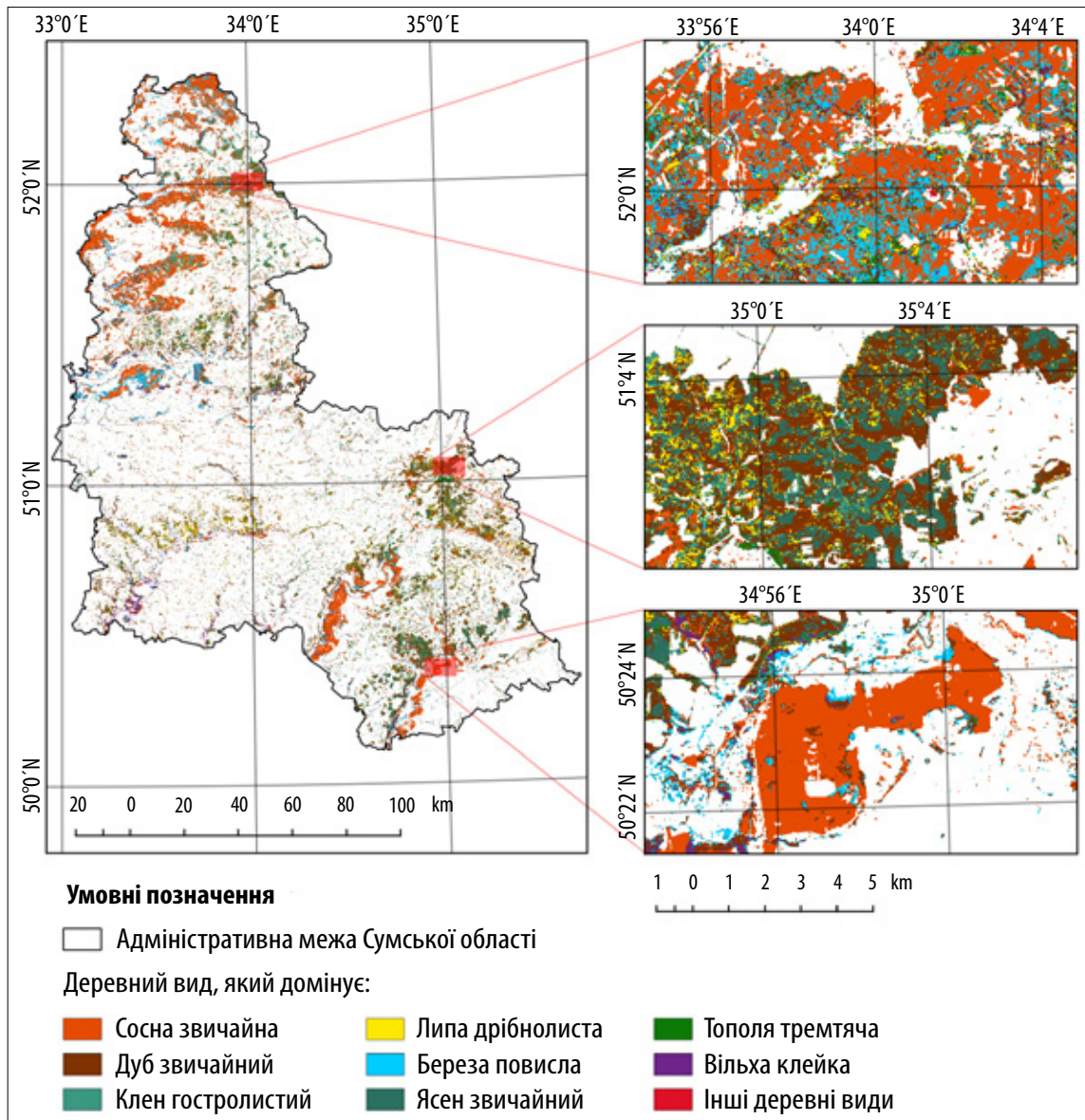


Рис. 3. Деревні види, які домінують у лісових насадженнях Сумської області, відповідно до даних дешифрування супутникових знімків Landsat 8 OLI на основі k -NN методу

У контексті ефективності дешифрування видового складу лісових насаджень варто звернути увагу на просторово-параметричну структуру лісових насаджень різного видового складу. За наявності складних за формою насаджень може бути більше помилок дешифрування, оскільки розпізнавання

складу другого ярусу істотно погіршується. Проте, завдяки перевагам k -NN методу, який дає змогу відразу прогнозувати декілька показників лісових насаджень, зберігаються певні передумови для точнішого картографування лісів, порівняно з іншими методами. За умови коректного вибору найближчо-

го сусіда, цільовому пікселю приписується весь набір таксаційних показників, встановлених на пробній ділянці. Таким способом з'являються підстави для дешифрування видового складу навіть складних за формою лісових насаджень, використовуючи мультиспектральні супутникові знімки оптичного діапазону.

Створена карта дала змогу встановити розподіл площі вкритих лісовою рослинністю ділянок за деревними видами, які домінують у лісовому фонді області (рис. 4). Для порівняння результатів використано відносні значення фактичного розподілу площ лісових насаджень за основними лісотвірними деревними видами, які одержали за повидільною базою даних про лісовий фонд області. Розподіли площі вкритих лісовою рослинністю ділянок за домінуючими деревними видами у відсотковому співвідношенні достатньо узгоджуються. Відповідно до прогностичного картографування відзначено певне перевищення площі соснових і дубових деревостанів, які переважають у структурі лісового фонду області. Це можна пояснити, з одного боку, помилками дешифрування, а з іншого – класифікацією лісових насаджень у практиці лісовпорядного проектування за головними породами.

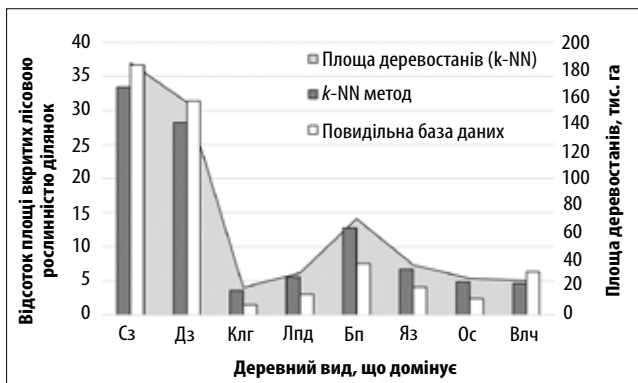


Рис. 4. Порівняння прогностичних і фактичних розподілів площі лісових насаджень за основними лісотвірними деревними видами (Сз – сосна звичайна, Дз – дуб звичайний, Клг – клен гостролистий, Лпд – липа дрібнолиста, Бп – береза повисла, Яз – ясен звичайний, Ос – тополя тремтяча, Влч – вільха клейка)

Запропонований метод дешифрування видового складу принципово відрізняється від наявних, оскільки дає змогу відобразити фактичну присутність певного деревного виду в насадженні. Він має важливе значення для обчислення запасу деревостанів за елементними лісу, що максимально наближує наземні та дистанційні методи обчислень. Загалом методика дешифрування видового складу лісових насаджень виконується найточніше з використанням наземних даних, які отримують під час вибіркового дослідження. Зазначене свідчить про необхідність подальшого розвитку національної інвентаризації лісів України, яка, крім забезпечення актуальними статистичними даними про показники лісового фонду, створює важливе наукове підґрунтя для детального картографування лісів України на

основі методів ДЗЗ. З іншого боку, сучасна концепція розвитку методів обліку лісів повинна передбачити ширше застосування технологій дистанційного зондування Землі.

Висновки. Дешифрування видового складу лісових насаджень за даними супутникового знімання дає змогу ефективно отримувати інформацію про стан лісових насаджень для завдань моніторингу лісів різного масштабу. Водночас сучасні технології ДЗЗ розширюють завдання статистичної інвентаризації лісів. За результатами виконаних досліджень можна сформулювати три ключові узагальнення: а) поєднання часових рядів мультиспектральних супутникових знімків і даних вибіркової інвентаризації лісів забезпечує розробку карт видового складу лісових насаджень, які можуть застосовуватися в моніторингу лісових ресурсів; б) технології хмарних обчислень на базі платформи Google Earth Engine є ефективним інструментом опрацювання великих масивів спектральних даних супутникових знімків; в) залежно від задач на основі даних ДЗЗ можна отримати дискретні або неперервні карти поширення насаджень різного видового складу.

Подяка. Автор висловлює подяку Віталію Сторожукі за надання доступу до даних вибіркової інвентаризації лісів Сумської області за 2013 рік.

References

- Chirici, G., Mura, M., McNerney, D., Py, N., Tomppo, E.O., Waser, L.T., ... McRoberts, R.E. (2016). A meta-analysis and review of the literature on the k-Nearest Neighbors technique for forestry applications that use remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 176, 282-294. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.02.001>
- Fassnacht, F.E., Latifi, H., Stereńczak, K., Modzelewska, A., Lefsky, M., Waser, L.T., ... Ghosh, A. (2016). Review of studies on tree species classification from remotely sensed data. *Remote Sensing of Environment*, 186, 64-87. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2016.08.013>
- Franco-Lopez, H., Ek, A.R., & Bauer, M.E. (2001). Estimation and mapping of forest stand density, volume, and cover type using the k-nearest neighbors method. *Remote Sensing of Environment*, 77(3), 251-274. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(01\)00209-7](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(01)00209-7)
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18-27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Hansen, M.C., & Loveland, T.R. (2012). A review of large area monitoring of land cover change using Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 122, 66-74. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.08.024>
- Henderson, E.B., Ohmann, J.L., Gregory, M.J., Roberts, H.M., & Zald, H. (2014). Species distribution modelling for plant communities:

- Stacked single species or multivariate modelling approaches? *Applied Vegetation Science*, 17(3), 516-527. <https://doi.org/10.1111/avsc.12085>
- Hill, R.A., Wilson, A.K., George, M., & Hinsley, S.A. (2010). Mapping tree species in temperate deciduous woodland using time-series multi-spectral data. *Applied Vegetation Science*, 13 (1), 86-99. <https://doi.org/10.1111/j.1654-109X.2009.01053.x>
- Hościło, A., & Lewandowska, A. (2019). Mapping Forest Type and Tree Species on a Regional Scale Using Multi-Temporal Sentinel-2 Data. *Remote Sensing*, 11 (8), 929. <https://doi.org/10.3390/rs11080929>
- Hudak, A. T., Crookston, N. L., Evans, J. S., Hall, D. E., & Falkowski, M. J. (2008). Nearest neighbor imputation of species-level, plot-scale forest structure attributes from LiDAR data. *Remote Sensing of Environment*, 112 (5), 2232-2245. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2007.10.009>
- Immitzer, M., Atzberger, C., & Koukal, T. (2012). Tree Species Classification with Random Forest Using Very High Spatial Resolution 8-Band WorldView-2 Satellite Data. *Remote Sensing*, 4 (9), 2661-2693. <https://doi.org/10.3390/rs4092661>
- McRoberts, R. E., & Tomppo, E. (2007). Remote sensing support for national forest inventories. *Remote Sensing of Environment*, 110 (4), 412-419. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2006.09.034>
- Myroniuk, V. (2017a). Seasonal dynamics of spectral reflectance of land covers and its role in mapping forest stands using landsat images. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 266, 54-64. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/10543> (in Ukrainian).
- Myroniuk, V. (2017b). Variable selection in the context of forest cover mapping using seasonal Landsat mosaics. *Scientific Data*, 278, 66-76. <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/11372> (in Ukrainian).
- Myroniuk, V. (2018). Forest cover mapping using landsat-based seasonal composited mosaics. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 28 (1), 28-33. <https://doi.org/10.15421/40280105> (in Ukrainian).
- Myroniuk, V., Bilous, A., & Diachuk, P. (2019). Predicting forest stand parameters using the *k*-NN approach. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10 (2), 51-63. <http://dx.doi.org/10.31548/forest2019.02.051> (in Ukrainian).
- Ohmann, J. L., & Gregory, M. J. (2002). Predictive mapping of forest composition and structure with direct gradient analysis and nearest – neighbor imputation in coastal Oregon, U.S.A. *Canadian Journal of Forest Research*, 32 (4), 725-741. <https://doi.org/10.1139/x02-011>
- Ohmann, J. L., Gregory, M. J., Henderson, E. B., & Roberts, H. M. (2011). Mapping gradients of community composition with nearest-neighbour imputation: Extending plot data for landscape analysis: Extending plot data for landscape analysis. *Journal of Vegetation Science*, 22 (4), 660-676. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01244.x>
- Ohmann, J. L., Gregory, M. J., & Roberts, H. M. (2014). Scale considerations for integrating forest inventory plot data and satellite image data for regional forest mapping. *Remote Sensing of Environment*, 151, 3-15. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.08.048>
- Ohmann, J. L., Gregory, M. J., Roberts, H. M., Cohen, W. B., Kennedy, R. E., & Yang, Z. (2012). Mapping change of older forest with nearest-neighbor imputation and Landsat time-series. *Forest Ecology and Management*, 272, 13-25. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2011.09.021>
- Reese, H., Nilsson, M., Sandström, P., & Olsson, H. (2002). Applications using estimates of forest parameters derived from satellite and forest inventory data. *Computers and Electronics in Agriculture*, 37 (1-3), 37-55. [https://doi.org/10.1016/S0168-1699\(02\)00118-7](https://doi.org/10.1016/S0168-1699(02)00118-7)
- Sheeren, D., Fauvel, M., Josipović, V., Lopes, M., Planque, C., Willm, J., & Dejoux, J.-F. (2016). Tree Species Classification in Temperate Forests Using Formosat-2 Satellite Image Time Series. *Remote Sensing*, 8 (9), 734. <https://doi.org/10.3390/rs8090734>
- Thompson, S. D., Nelson, T. A., White, J. C., & Wulder, M. A. (2015). Mapping Dominant Tree Species over Large Forested Areas Using Landsat Best-Available-Pixel Image Composites. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 41 (3), 203-218. <https://doi.org/10.1080/07038992.2015.1065708>
- Tigges, J., Lakes, T., & Hostert, P. (2013). Urban vegetation classification: Benefits of multitemporal RapidEye satellite data. *Remote Sensing of Environment*, 136, 66-75. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2013.05.001>
- Trubins, R., & Sallnäs, O. (2014). Categorical mapping from estimates of continuous forest attributes – classification and accuracy. *Silva Fennica*, 48 (2). <https://doi.org/10.14214/sf.975>
- Weiss, A. (2001). *Topographic Position and Landforms Analysis*. Poster presentation presented at the ESRI User Conference, San Diego, CA.
- White, J. C., Wulder, M. A., Hobart, G. W., Luther, J. E., Hermosilla, T., Griffiths, P., ... Guindon, L. (2014). Pixel-Based Image Compositing for Large-Area Dense Time Series Applications and Science. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 40 (3), 192-212. <https://doi.org/10.1080/07038992.2014.945827>
- Zhu, X., & Liu, D. (2014). Accurate mapping of forest types using dense seasonal Landsat time-series. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 96, 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.06.012>

Дешифрирование видового состава лесных насаждений за данными мозаик спутниковых снимков Landsat и выборочной инвентаризации лесов

В. В. Миронюк¹

Дешифрирование видового состава лесных насаждений по спутниковым снимкам имеет важное значение для оценки состояния и динамики лесных ресурсов. Большинство современных исследований указывает на эффективность картирования распространения древесных видов по временным сериям спутниковых наблюдений в сочетании с данными выборочной инвентаризации лесов. Для дешифрирования видового состава древостоев в работе использованы временные ряды снимков Landsat 8 OLI, а как источник опорной информации – данные региональной инвентаризации лесов Сумской области 2013 г. На основании замеров деревьев на 333 круговых пробных участках установлены суммы площадей сечений восьми самых распространенных в лесных насаждениях видов – *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Betula pendula* Roth., *Fraxinus excelsior* L., *Populus tremula* L. та *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. Спутниковые снимки отобраны для временного периода 2014-2016 гг. и объединены в безоблачные мозаики для трех сезонов: апрель–октябрь, лето, осень. После маскировки облаков для летней и осенней мозаик применен метод поканального отбора пикселей, которые имеют наибольшее значение индекса NDVI, тогда как для мозаики периода апрель–октябрь отбирали 1-й, 3-й квартили и медиану пикселей в соответствующем временном диапазоне. Всего для дешифрирования использовано 38 спектральных (каналы красного, ближнего и коротковолнового инфракрасного спектров, индекс NDVI, каналы преобразования TCT) и неспектральных (географические координаты, высота над уровнем моря, топографическое положение) показателей.

Для дешифрирования распространения древостоев разного видового состава, а также древесных видов, которые доминируют в составе насаждений, на основании метода k ближайших соседей (k -NN) спрогнозированы значения сумм площадей сечений восьми наиболее представленных в лесном фонде области древесных видов. В исследовании использован алгоритм k -NN метода, адаптированный к платформе облачных вычислений Google Earth Engine. В качестве меры поиска ближайших соседей выбрано Евклидово расстояние в пространстве

спектральных показателей спутниковых снимков Landsat и вспомогательной неспектральной информации. При этом применен алгоритм при $k = 1$. В результате исследования получены непрерывные попиксельные оценки сумм площадей сечений древостоев основных лесообразующих видов.

Установлено, что на территории области доминируют древостои, в которых насчитывается 3-5 составляющих древесных видов. При этом наименьшее видовое разнообразие свойственно соснякам, в составе лесных насаждений с преобладанием дуба, ясеня, клена и липы встречается большее количество сопутствующих видов. Указанные особенности влияют на точность дешифрирования, поскольку сложная пространственная структура лесных насаждений усложняет распознавание видового состава лесных насаждений. Используя полученные карты, установлено распространение основных лесообразующих древесных видов Сумской области. По оценкам сумм площадей сечений создана карта доминирующих древесных видов, что позволило сравнить в процентном соотношении площади насаждений с официальными данными учета лесов области. Базируясь на выполненных исследованиях, определена актуальность внедрения в инвентаризацию лесов Украины методов дистанционного зондирования Земли. При этом в работе сделан вывод о целесообразности применения временных рядов спутниковых снимков для дешифрирования видового состава лесных насаждений.

Ключевые слова: классификация; метод ближайших соседей; облачные вычисления; учет лесов; мониторинг; выборка; временной ряд; сумма площадей сечений.

Mapping tree species composition of forest stands using Landsat seasonal mosaics and sample-based forest inventory

V. Myroniuk¹

Mapping tree species composition of forest stands using satellite imagery has great importance for assessment of forest resources and their dynamics. The majority of modern publications have pointed on efficiency of tree species identification using time series of Earth observations in conjunction with sample-based forest inventory. We used time series of Landsat 8 OLI imagery to map tree species composition of forest stands, meanwhile regional-level sample-

¹ Миронюк Виктор Валентинович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доцент кафедры таксации леса и лесного менеджмента, доктор сельскохозяйственных наук. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Героев Оборон, 15, г. Киев, 03041, Украина. Тел.: +38-044-527-85-23. E-mail: victor.myroniuk@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5961-300X>

¹ Viktor Myroniuk – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Associate Professor of the Department of Forest Mensuration and Forest Management. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. 15, Heroiv Oborony st., Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: +38-044-527-85-23. E-mail: victor.myroniuk@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5961-300X>

based inventory of forest in Sumy region (oblast) have been incorporated as source of reference data. Based on tree stems measurements on 333 circular sample plots, basal areas of eight forest forming tree species have been assessed (such as pine, oak, maple, lime, birch, ash, aspen and alder). The satellite images have been filtered for time frame of 2014–2016 and composed into cloud-free mosaics for three seasons: April–October, summer, autumn. After cloudiness were masked, for summer and autumn mosaics we applied maximum value composing approach using NDVI value, while for April–October mosaic we selected 1st, 3rd quartiles and median values of pixels in the specified time range. In total, 38 spectral (bands of red, near- and short-infrared spectra, NDVI and TCT bands) and non-spectral (geographical coordinates, elevation above sea level, topographic position) features used for classification.

Forest stands of different tree species composition as well as dominant tree species has been mapped using k nearest neighbor (k -NN) imputation approach. In this paper, we explored the effectiveness of two technics: 1) mapping distribution of tree species within Sumy oblast; and 2) predicting tree species composition of forest stands. We have used Google Earth Engine implementation of k -NN algorithm to predict basal area for eight major tree species in the region. Euclidean distance has been applied as a measure of closeness to the nearest neighbor. We have used $k = 1$ to search for neighbors in a space of spectral features of Landsat imagery and ancillary non-spectral information. As a result, continuous per-pixel distribution of basal areas of eight tree species has been predicted. Based on their contribution to total basal area, dominant tree

species as well as stand composition at 30×30 m pixel resolution have been derived.

It was found that forest stands composed by 3–5 tree species are common for Sumy oblast. At the same time, the lowest tree species diversity typically occurs in pine forests, while stands formed by oak, ash, maple and lime have a greater species richness. We believe these factors have significantly impacted accuracy of mapping in northern, central and southern parts of the study area, since more complex vertical structure of forest stands in southwest arises discrepancies in tree species identification. Based on predictive mapping, the distribution of major forest forming species of forests in Sumy oblast have been established. Using per-pixel estimates of basal areas and mapped dominant tree species, we have compared forest stands area with official forest inventory data. We have found some underestimation of remote sensing-based assessment of forested areas occupied by pine and oak stands. On the one hand we refer that to the map errors, on the other hands such inconsistencies may be result of classifying forests in operational forest management by desired species composition (not by their actual contribution to the total basal area). Nevertheless, derived results have pointed on necessity of satellite-based forest inventory in Ukraine which improve characterization of forest cover at landscape level through wall-to-wall mapping. We also concluded the effectiveness of tree species mapping using time series of Landsat satellite imagery and Google Earth Engine cloud platform.

Key words: *classification; k nearest neighbors; cloud computing; forest assessment; monitoring; sampling; time series; basal area.*

5. ЗАХИСТ ЛІСІВ І МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411936>
Article received 2019.07.14
Article accepted 2019.12.26

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

UDC 630.4

Silver birch health condition in the parks of Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchaev

V. L. Meshkova¹, Y. V. Koshelyaeva², M. S. Kolienkina³

*Recently health condition of silver birch (*Betula pendula* Roth.) stands worsens in the forest and ornamental stands. It is important to know the probability of its improvement or deterioration in particular stands to take the necessary measures in time.*

The aim of the research was to assess the trends in the health condition dynamics of silver birch stands depending on their age class and the initial health condition of the trees. The research was carried out in 2015-2019 in the Silver birch linear stands in two parks of Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchaev (49°53' N, 36°27' E). Five sample plots of the 3rd age class are located in Veterans Park and the other 4 sample plots of the 5rd age class – in Arboretum of this University. For each inspected tree diameter at breast height (DBH) was measured in 2015 and 2019. Crown defoliation and health condition class were visually assessed in July of each year. Health condition index (HCI) was calculated as mean weighted from trees number of each category of health condition, separately for all living and dead trees (HCI_{1-4}) and for living trees only (HCI_{1-4}). Tree mortality was expressed as a percentage of lost (dead) trees for research period out of the total trees in 2015.

It was shown that the silver birch stands of the 3rd age class didn't change their health condition for 2015-2019 or improved it. The stands of the 5th age class worsened their health condition in three sample plots and improved it in one sample plot. Within each age class, the stands of lower diameter class had a worse health condition. Tree mortality was registered in two out of five sample plots in the stands of the 3rd age class and in three out of four sample plots in the stands of the 5th age class. In the stands of the 5th age class the trees from the stands of the smallest diameter class characterized by the highest mortality level (22.4%) and the worse health condition ($HCI_{1-4}=2.8$).

In pooled sample of plots, the death probability for silver birch trees, which 4 years ago had the 1st class of health condition is 3.5%, those of the 2nd class have the death probability of 10.7%, the trees of the 3rd class – 36.9%, those of the 4th class – 84.6%. As for an initially weakened stand, its trees which 4 years ago had the 1st, the 2nd, the 3rd or the 4th health condition class, have the death probability of 5%, 18.5%, 33.3%, and 100% respectively.

¹ Valentyna L. Meshkova – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (agricultural sciences), professor, Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky. Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38(097)371-94-58. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Yana Koshelyaeva – Post-graduate student, Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchaev, 62483, Kharkiv region, Kharkiv district, "Dokuchaevske-2", Ukraine. Tel.: +38(099)131-45-28. E-mail: yana120783@i.ua

³ Maryna S. Kolienkina – PhD, Associate Professor of the Department of Forestry and Landscape Management. Kharkiv National University of Urban Economy named after O. M. Beketov, Marshal Bazhanov str. 17, Kharkiv, 61002, Ukraine. Tel. +38(067)696-62-04. E-mail: kolienkinamarina@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-0947>

Thus, the weakened silver birch stand which contains trees of 1st – 3rd classes of health condition is able to restore condition to a healthy one, and the deterioration may be expected only for severely weakened trees (having 3rd class of health condition in 2015). The weakened silver birch stand which has the trees of 1st – 4th health condition classes is most likely to weaken even more severely over 4 years.

Key words: age class; diameter (DBH); defoliation; health condition index for living trees (HCI_{1-4}); tree mortality; death probability.

Introduction. Silver birch (*Betula pendula* Roth.) is one of the most spread deciduous species in the forests, field protective forest belts and ornamental stands. Particularly in the forest fund of the State Agency of Forest Resources of Ukraine birch stands are only 5.7% from the forest-covered area (General characteristics, 2016). Birch timber is used for pulp and paper, plywood, sawmill, furniture, and also as firewood. Other parts of birch trees are used in the pharmaceutical and food industries (Ozolinčius et al., 2016).

Global warming promotes an increase in the birch proportion in boreal forests (Heimonen et al., 2015). At the same time, due to climate change and anthropogenic pressure, birch susceptibility to pests and pathogens increases (Nguyen et al., 2017, Shvidenko et al., 2017, Vindstad et al., 2019), particularly in the Forest-steppe zone (Parkhomenko et al., 2013, Skrylnik et al., 2019) and in Polissya (Goychuk et al., 2018).

The studies show the pathological birch mortality, particularly among trees with a diameter of over 20 cm (Meshkova et al., 2018). In the forest stands of the forest-steppe zone of Ukraine, the mean weighted age class of silver birch was estimated as IV.8 in vegetative stands and IV.6 – in artificial seed stands. It was greater for the northern part of the forest-steppe zone (V.1) and less (IV.6) for the southern part of it (Meshkova & Koshelyaeva, 2019). Survival of pure and almost pure stands is the lowest (Hytönen et al., 2013).

Tree health assessment and prediction is important for forest management strategy in forest and urban stands (Boeck et al., 2014, Bircher et al., 2015). Particularly in urban stands, silver birch is under the greater anthropogenic influence than in the forest due to a higher temperature and traffic pollution (Tubby & Webber, 2010, Hilbert et al., 2019, Klein et al., 2019).

Different approaches have been developed for early detection of the first symptoms and signs of tree weakening as well as for prediction tree mortality for different tree species (Cailleret et al., 2016, Maleki & Kiviste, 2016, Hülsmann et al., 2017). For example, on the base of seven years monitoring, the probability of health condition change and mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) trees was evaluated with considering forest site conditions, age and initial health condition of the stands (Meshkova & Kolienkina, 2016). Our current research is based on five-year monitoring data on the health condition of 450 birch trees in urban stands.

Objects and methods. *Object of research* – the trends in health condition dynamics for silver birch stands. *Subject of research* – the trends in the health condition dynamics of silver birch stands depending on their age class and the initial health condition of the trees.

The aim of research was to assess the trends in the health condition dynamics of silver birch stands depending on their age class and the initial health condition of the trees.

Research was carried out in 2015-2019 in the Silver birch linear stands in two parks of Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev (49°53' N, 36°27' E). Five sample plots (SP 1 – SP 5) of the 5th age class are located in Veterans Park and the other 4 sample plots (SP 6 – SP 9) of the 3rd age class in Arboretum of this University (Tab. 1).

In each sample plot, from 15 to 156 trees were represented.

For each inspected tree diameter at breast height (DBH) was measured in 2015 and 2019. Crown defoliation and health condition class were visually assessed in July of each year.

Defoliation was assessed in per cents and converted into ranges according to ICP monitoring score (Manual, 2010): 0 – 0-10% (defoliation is absent); 1 – 11-25% (slight defoliation); 2 – 26-60% – moderate defoliation; 3 – 61-99% – severe defoliation; 4 – 100% – dead trees.

Category (class) of health condition for each tree was evaluated on a range of visual characteristics according to “Sanitary rules in the forests of Ukraine” (Anonymous, 1995) by the following classes: 1st – healthy; 2nd – weakened; 3rd – severely weakened; 4th – drying up; 5th – recently died; 6th – died over year ago. Health condition index (HCI) was calculated as mean weighted from trees number of each category of health condition, separately for all living and dead trees (HCI_{1-6}) and for living trees only (HCI_{1-4}).

Tree mortality was expressed as a percentage of lost (dead) trees for the research period out of the total trees in 2015.

Normality tests, summary statistics, one-way analysis of variance (ANOVA) with Mann–Whitney U test with a significance level of $p < 0.05$ (Atramentova & Utevskaia, 2008) were performed using Microsoft Excel applications and statistical software package PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis (Hammer et al., 2001).

Results and discussion. For four years, DBH increased significantly at the sample plots SP 1–SP 3 and SP 5, and insignificantly at SP 4 and SP6-SP 9 (see Tab. 1). An average DBH of the 3rd age class trees varied from 12.4 cm to 21.3 cm in 2015 and from 14.9 to 24.9 cm in 2019, and in both cases was the smallest at SP 2 and the largest at SP 3. An average DBH of the 3rd age class trees varied from 20.7 to 30.2 in 2015 and from 21.9 to 30.9 in 2019, and in both cases was the smallest at SP 9 and the largest at SP 7. An average DBH of the 3rd age class trees at SP 3, SP 4 and SP 5

(the 3rd age class) did not significantly differ from that at SP 9 (the 5th age class). Despite the significant difference in age, the average DBH only at SP 1 and SP 2 (age class 3) was significantly lower than that in the remaining sample plots, and at SP 6 and SP 7 (age class 5), it significantly exceeded the remaining sample plots. This is due to the fact that the growth of trees in

diameter decreases with age, and most of all in stands under adverse conditions or in weakened trees.

The trees in each sample plot are represented in a rather wide range. This is due to the heterogeneity of the growth conditions of the trees, as well as the fact that sometimes after the dying of the main stem there was a renewal of growth.

Table 1

The average diameter of silver birch trees in the sample plots (SP) in 2015 and 2019

Sample plot (age class)	Year of assessment	Number of trees	Mean DBH*±SE, cm**	Range of DBH, cm
SP 1	2015	25	16.9±1.08a	7.0–27.4
(3)	2019	23	20.3±1.26b	7.2–32.1
SP 2	2015	15	12.4±0.75a	8.0–17.8
(3)	2019	15	14.9±0.83a	9.5–21.0
SP 3	2015	19	21.3±0.91bc	10.5–28.3
(3)	2019	18	24.9±1.04c	13.1–33.1
SP 4	2015	16	19.2±1.11bc	12.7–28.3
(3)	2019	16	21.7±1.19bc	14.3–30.9
SP 5	2015	35	19.6±0.80bc	9.9–29.9
(3)	2019	35	22.4±0.86bc	13.1–34.7
SP 6	2015	57	26.8±0.56d	20.1–34.9
(5)	2019	57	28.4±0.61d	21.3–36.8
SP 7	2015	60	30.2±0.70e	16.9–45.5
(5)	2019	58	30.9±0.70e	17.2–45.8
SP 8	2015	156	22.9±0.46bc	8.8–38.2
(5)	2019	127	24.2±0.51c	8.9–39.5
SP 9	2015	67	20.7±0.74b	3.0–31.2
(5)	2019	52	21.9±0.86bc	4.5–32.1

Notes: * DBH – diameter at breast height;

**Means followed by different letters in each column are significantly different at the 95 % confidence level.

In the region of our research, no noticeable direct defoliation of silver birch as a result of insect damage was registered. Defoliation was mainly manifested as increased transparency of the crown of weakened trees.

In sample plots in the stands of the 3rd age class, defoliation rarely exceeded 1 point (at SP 1 in 2017 and 2018 it was 1.1 points), and the differences in this parameter in 2015 and 2019 were insignificant (Tab. 2). At SP 6, rather high defoliation was registered in 2015 (1.9 points) and a significant decrease in this parameter to 0.5 points in 2019. For the remaining sample plots

in the stands of the 5th age class over the years of research, the defoliation score significantly increased (to 1.5, 2.2 and 2.4 points for SP 7, SP 8 and SP 9, respectively). An average health condition index HCI_{1-6} is calculated for both living and dead trees. Therefore, at the high proportion of trees, which died over a year ago, the impression is that the stands are in poor health condition. In 2015 the health condition index show, that the stands at SP 3-SP 5 were healthy ($HCI_{1-6} < 1.5$), and at other sample plots they were weakened. The highest HCI_{1-6} was evaluated at SP 9 (2.1).

Table 2

The average defoliation score for silver birch trees in the sample plots (SP) in 2015-2019

Sample plot	Defoliation score ±SE					Defoliation score change for 2015–2019
	2015	2016	2017	2018	2019	
1	2	3	4	5	6	7
SP 1	0.7±0.14bc	1.0±0.19b	1.1±0.14b	1.0±0.19bc	0.8±0.23a	insignificant
SP 2	0.9±0.21c	0.6±0.19b	0.6±0.19a	0.5±0.13a	0.8±0.22a	insignificant
SP 3	0.4±0.11ab	0.9±0.22b	1.0±0.21b	0.9±0.21b	0.7±0.23a	insignificant
SP 4	0.3±0.11ab	0.3±0.17a	0.3±0.06a	0.2±0.10a	0.3±0.12a	insignificant
SP 5	0.4±0.08b	0.6±0.14b	0.7±0.15a	0.7±0.11ab	0.4±0.10a	insignificant

Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7
SP 6	1.9±0.11d	1.0±0.11b	0.9±0.08ab	1.0±0.08b	0.5±0.12a	decreased (p<0.01)
SP 7	0.5±0.12a	1.0±0.16b	1.3±0.13b	1.8±0.15c	1.5±0.13b	increased (p<0.01)
SP 8	1.3±0.08c	1.8±0.09c	1.8±0.08c	2.1±0.08c	2.2±0.09c	increased (p<0.01)
SP 9	1.3±0.12c	1.9±0.12c	2.0±0.11c	1.9±0.12c	2.4±0.14c	increased (p<0.01)

* Defoliation score: 0 – undamaged (up to 10 %); 1 – slightly damaged (11–25 %); 2 – moderately damaged (26–60 %); 3 – severely damaged (over 60 %); 4 – dead (Manual, 2010)

**Means followed by different letters in each column are significantly different at the 95 % confidence level (Mann-Whitney test)

During our studies (2015-2019) at SP 1 and SP 6, the index of the health condition of silver birch stands significantly decreased (from 1.8 to 1.4 and from 1.8 to 1.3 respectively) (Tab. 3).

In four plots (SP 2 – SP 5) the health condition index changed slightly, and in three plots (SP 7 – SP 9) increased significantly. In accordance with “Sanitary rules in the forests of Ukraine” (Anonymous, 1995), in 2019 the stands at SP 1, and SP 3 – SP 6 should be

considered as healthy, at SP 2 and SP 7 as weakened, at SP 8 as severely weakened, and at SP 9 as drying out.

If the health condition index is calculated only taking into account living trees (HCI_{1-4}), a real estimate of the viability of the stands can be obtained. In 2015 by health condition index for living trees the stands at SP 3 – SP 5 and SP 7 were healthy ($HCI_{1-4} < 1.5$), and at other sample plots they were weakened. The highest HCI_{1-4} was evaluated at SP9 (2.1) (Tab. 4).

Table 3

The average health condition index (HCI_{1-6}) for all silver birch trees in the sample plots (SP) in 2015-2019

Sample plot	Health condition index (HCI_{1-6}) ±SE *					HCI_{1-6} change for 2015–2019
	2015	2016	2017	2018	2019	
SP 1	1.8±0.18bc	1.5±0.18b	1.3±0.21a	1.5±0.25ab	1.4±0.28a	decreased (p<0.05)
SP 2	1.7±0.23b	1.9±0.27bc	1.3±0.19ab	1.5±0.19ab	1.7±0.21b	insignificant
SP 3	1.4±0.14ab	1.7±0.19b	1.3±0.21a	1.4±0.27ab	1.3±0.26a	insignificant
SP 4	1.1±0.06a	1.1±0.09a	1.1±0.09a	1.1±0.09a	1.1±0.06a	insignificant
SP 5	1.2±0.07a	1.4±0.11b	1.1±0.06a	1.1±0.07a	1.2±0.08a	insignificant
SP 6	1.8±0.09c	1.5±0.08b	1.4±0.07b	1.6±0.11b	1.3±0.10a	decreased (p<0.05)
SP 7	1.5±0.13ab	2.1±0.15c	1.7±0.16b	2.2±0.18c	2.3±0.18b	increased (p<0.01)
SP 8	1.8±0.07c	2.3±0.09c	2.2±0.11c	2.5±0.11d	2.8±0.12c	increased (p<0.01)
SP 9	2.1±0.11d	2.6±0.13d	2.5±0.16c	2.7±0.16d	3.5±0.17d	increased (p<0.01)

* Health condition index (HCI_{1-6}) considers all living and dead trees

**Means followed by different letters in each column are significantly different at the 95 % confidence level (Mann-Whitney test)

Table 4

The average health condition index (HCI_{1-4}) for living silver birch trees in the sample plots (SP) in 2015-2019

Sample plot	Health condition index (HCI_{1-4}) ±SE *					HCI_{1-4} change for 2015–2019
	2015	2016	2017	2018	2019	
1	2	3	4	5	6	7
SP 1	1.8±0.18bc	1.4±0.12ab	1.1±0.08a	1.2±0.08a	1.0±0.04a	decreased (p<0.05)
SP 2	1.7±0.23b	1.9±0.27bc	1.3±0.19ab	1.5±0.19a	1.7±0.21b	insignificant
SP 3	1.4±0.14ab	1.7±0.19bc	1.1±0.06a	1.2±0.09a	1.0±0.00a	decreased (p<0.05)
SP 4	1.1±0.06a	1.1±0.09a	1.1±0.09a	1.1±0.09a	1.1±0.06a	insignificant
SP 5	1.2±0.07a	1.4±0.11ab	1.1±0.06a	1.1±0.07a	1.2±0.08a	insignificant
SP 6	1.8±0.09c	1.5±0.08b	1.4±0.07ab	1.6±0.11ab	1.3±0.10a	decreased (p<0.05)

Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6	7
SP 7	1.4±0.10ab	1.8±0.10bc	1.6±0.15b	1.9±0.11bc	1.8±0.08b	increased (p<0.01)
SP 8	1.8±0.06c	2.1±0.08c	1.9±0.08c	2.2±0.07d	2.4±0.08c	increased (p<0.01)
SP 9	2.1±0.11d	2.4±0.11d	2.2±0.12c	2.3±0.11d	2.8±0.11d	increased (p<0.01)

* Health condition index (HCI_{1-4}) considers only living trees

**Means followed by different letters in each column are significantly different at the 95 % confidence level (Mann-Whitney test)

Over the years of research, HCI_{1-4} significantly decreased by SP 1, SP 3, SP 6, slightly changed by SP 2, SP 4 and SP 5, and significantly increased by SP 7 – SP 9 (see Tab. 4). In accordance with HCI_{1-4} , in 2019 the stands at SP 1, and SP 3 – SP 5 should be considered as healthy, at SP 2, SP 7 and SP 8 as weakened, and at SP 9 as severely weakened.

The final analysis of the health condition of silver birch in the sample plots shows that the stands at SP 1 and SP 6 have different age and diameter class (Tab. 5). In both sample plots, the health condition of

trees has improved for the research period; however, low mortality was registered in the youngest stand. Therefore, the dynamics of HCI_{1-6} was almost similar, and HCI_{1-4} increased at SP 1 after removing the dead trees.

The health condition of silver birch trees at SP 2 was the worse among the sample plots with an insignificant change of health condition (SP 3 – SP 5) for the whole research period. It can be connected with the smallest diameter class of silver birch trees at SP 2 comparing to the other sample plots of the same age class.

Table 5

Summary information on health condition of silver birch stands in the sample plots (SP) in 2015–2019

Sample plot	Age class	Diameter class, cm	Trend of HCI_{1-4} for 2015-2019*	Health condition in 2019 **	Mortality level up to 2019 ***
SP1	3	16	decreased	healthy (1.0)	low (8.0)
SP6	5	28	decreased	healthy (1.3)	absent (0)
SP2	3	12	not changed	weakened (1.7)	absent (0)
SP3	3	20	not changed	healthy (1.0)	low (5.3)
SP4	3	20	not changed	healthy (1.1)	absent (0)
SP5	3	20	not changed	healthy (1.2)	absent (0)
SP9	5	20	increased	severely weakened (2.8)	moderate (22.4)
SP8	5	24	increased	weakened (2.4)	moderate (18.6)
SP7	5	30	increased	weakened (1.8)	low (3.3)

* Health condition index (HCI_{1-4}) considers only living trees

** HCI_{1-4} in brackets

*** Mortality percent for 2015–2019 in brackets

Among these four sample plots with an insignificant change of health condition, both health condition indices (HCI_{1-6} and HCI_{1-4}) stayed unchanged for the whole research period at SP 2. These indices for silver birch in other sample plots of this group had an increase in 2016 and a decrease in 2017 with a subsequent slight increase.

Silver birch trees at the sample plots SP 7 – SP 9 had the worse health condition among all sampling plots. Both health condition indices (HCI_{1-6} and HCI_{1-4}) increased for 2015-2019. In this group of sample plots, the trees of the smallest diameter class (SP 9 – 20 cm) characterized by the highest mortality level (22.4 %) and HCI_{1-4} (2.8), that is, were considered severely weakened. As the diameter increases in this group of sample plots, the values of both health condition indices and mortality of trees decrease. However,

when comparing two sample plots with almost similar diameter class (SP 6 and SP 7) we see large differences in health condition indices (1.3 and 1.8 respectively), health status (healthy and weakened respectively), mortality level (absent and low respectively), as well as in the trend of changes in health condition. The health condition of silver birch at SP 6 trends to improve (HCI decreases), and at SP 7 it trends to worsen (HCI increases).

The data obtained show that when predicting changes in the health condition of silver birch stands, it is necessary to take into account the trend to improvement or worsening the health condition of individual trees in a certain group of stands.

So among all trees (SP 1 – SP 9), the healthy ones were a little more than half (50.6 %) in 2015 and 39.9 % in 2019 (Tab. 6).

Table 6

Distribution of silver birch trees by health condition classes in 2019 depending on their health condition in 2015

In 2015*		In 2019 **							
		Distribution by health condition classes:						I ₁₋₄	I ₁₋₆
		1	2	3	4	5	6		
All sample plots (SP1 — SP9)									
1	50.6	52.6	30.7	12.3	0.9	0.9	2.6	1.6	1.7
2	33.3	33.3	20.0	28.7	7.3	4.0	6.7	2.1	2.5
3	12.6	17.5	8.8	22.8	14.0	8.8	28.1	2.5	3.7
4	2.9	0.0	0.0	0.0	15.4	7.7	76.9	4.0	5.6
5	0.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	—	6.0
Total	100.0	39.9	23.3	18.6	5.1	3.1	10.0	1.9	2.4
SP6 – decrease of health condition index for 2015–2019									
1	36.8	81.0	14.3	4.8	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2
2	49.1	85.7	7.1	7.1	0.0	0.0	0.0	1.2	1.2
3	14.0	62.5	12.5	0.0	25.0	0.0	0.0	1.9	1.9
4	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Total	100.0	80.7	10.5	5.3	3.5	0.0	0.0	1.3	1.3
SP9 – increase of health condition index for 2015–2019									
1	29.9	5.0	35.0	55.0	0.0	5.0	0.0	2.5	2.7
2	40.3	3.8	30.8	30.8	19.2	14.8	3.7	2.8	3.2
3	22.4	0.0	0.0	40.0	26.7	13.3	20.0	3.4	4.1
4	7.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	100.0	—	—
Total	100.0	3.0	22.7	37.9	13.6	10.4	13.4	2.8	3.5

Note: * – proportion of trees from total amount in 2015; ** – proportion of trees from total amount in 2019.

From trees of the 1st class of health condition in 2015, for 4 years 52.6% didn't change health condition class, 43 % changed it to 2nd–3rd class and 4.4 % changed it to 4th–6th health condition class. From trees of the 2nd health condition class in 2015, 33.3% improved their health condition to the 1st class, 20% of trees didn't change it, and the rest worsened. Among the trees of the 3rd class of health condition in 2015, 26.3% improved their health condition, 22.8% stayed without changes, and 50.9% worsened.

In general, within the range of 1-3 classes of health condition in 2015 this parameter in 2019 varied only within these classes. Trees of the 4th class did not change health condition (7.7%) or died. The probability of death for the tree in each successive class tends to increase.

The dependence of tree mortality in 2019 on the health condition index in 2015 is described by quadratic equation (Fig.).

However, it is difficult to clearly predict changes in health condition for all silver birch stands. For example, silver birch stands at SP 6 and SP 7 have a close diameter class (28 and 30 cm at SP 6 and SP 7, respectively) and are of the fifth age class, which is known to be the age of significant deterioration of silver birch in the

forest stands of the region (Meshkova & Koshelyaeva, 2019). In 2015-2019 the health condition of silver birch improves at SP 6 and worsens at SP 7 (see Tab. 5).

Another pair of stands has the same age and different diameter classes (28 and 20 cm at SP 6 and SP 9, respectively). For 2015-2019 the health condition of silver birch stand has improved at SP6 and worsened at SP9.

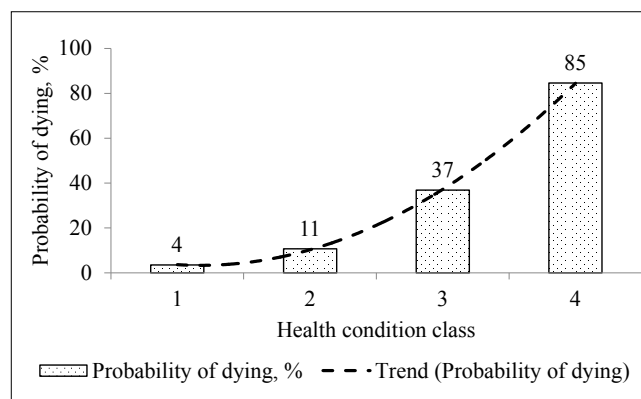


Figure. Probability of silver birch dying depending on the initial tree condition (General sample of 451 trees: $Y = 10.15x^2 - 23.82X + 17.3$, where Y – probability of dying; X – health condition class; $R^2 = 0.99$)

So at SP 6 in 2015 there were trees of only 1-3 classes of forest health condition (see Tab. 6), and in 2019 there were also trees of the 4th class of health condition. Since there were no dead trees, the values of both health condition indices (HCI_{1-6} and HCI_{1-4}) were the same in 2015 (1.8) and in 2019 (1.3). Most of the trees of the 1st health condition class in 2015 (81 %) didn't change it by 2019. From the trees of the 2nd health condition class in 2015, 85.7% improved it up to the 2nd class of health condition. From the trees of the 3rd health condition class in 2015, 62.5% have improved their health condition up to the 1st (62.5%) and 2nd (12.5%) health condition class, and 25% trees have worsened it up to the 4th class of health condition. In total, the trees of the 4th health condition class are only 3.5% from all trees in the stand and are able to improve or to worsen their health condition depending on environmental conditions.

At SP 9 the health condition index HCI_{1-6} increased for 2015-2019 from 2.1 to 3.4, and health condition index for living trees (HCI_{1-4}) increased from 2.1 to 2.8, respectively. In 2015, the trees of the 1st – 4th health condition classes were represented in the plot with the dominance of weakened trees (40.3% trees of the 2nd class of health condition).

Almost all trees of the 1st health condition class (95%) in 2015 have worsened their health condition up to the 2nd and 3rd class (35 and 55%, respectively), and 5% of trees have died. Among all trees of the 2nd health condition class (95 %) in 2015, only 3.8% improved their condition, 30.8 % didn't change it, and the rest trees died (in 2019 14.8 and 3.7% trees had 5th and 6th health condition class). None of the trees with the 3rd health condition class in 2015 improved it in 2018, 40% of trees didn't change it, and the rest trees worsened it. All trees of the 4th health condition class were dead by 2019.

Analysis of the pooled silver birch tree sample shows that the probability of death by 2019 is $2.6+0.9=3.5\%$ for trees, which had the 1st health condition class in 2015. In the healthy stand like SP 6 without drying trees, this probability is 0%, and in the weakened stand ($HCI_{1-4} \geq 2.5$) it is 5%.

The probability of death by 2019 for silver birch tree of the 2nd health condition class in 2015 is 10.7% for the pooled sample. It is 0% in a healthy stand and $14.8+3.7=18.5\%$ in a weakened stand. The probability of death by 2019 for a silver birch tree of the 3rd health condition class in 2015 is 36.9%. It is 0% in a healthy stand and $20+13.3=33.3\%$ for a weakened stand. The probability of death by 2019 for a silver birch tree of the 4th health condition class in 2015 is 84.6% for pooled sample, and 100 % – in a weakened stand (see Tab. 6).

Thus, the weakened silver birch stand which contains trees of 1st-3rd classes of health condition is able to restore condition to a healthy one, and the deterioration may be expected only for severely weakened trees (having 3rd class of health condition in 2015).

At the same time, the weakened silver birch stand which has the trees of the 1st – 4th health condition

classes is most likely to weaken even more severely over 4 years.

Conclusions. Silver birch stands of the 3rd age class didn't change their health condition for 2015-2019 or improved it. The stands of the 5th age class worsened their health condition in three sample plots and improved it in one sample plot.

Within each age class, the stands of lower diameter class had a worse health condition. Tree mortality was registered in two out of five sample plots in the stands of the 3rd age class and in three out of four sample plots in the stands of the 5th age class. In the stands of the 5th age class the trees from the stands of the smallest diameter class characterized by the highest mortality level (22.4%) and the worse health condition ($HCI_{1-4}=2.8$).

In pooled sample of plots, the death probability for silver birch trees, which 4 years ago had the 1st class of health condition is 3.5%, those of the 2nd class have the death probability of 10.7%, the trees of the 3rd class – 36.9%, those of the 4th class – 84.6%. As for an initially weakened stand, its trees which 4 years ago had the 1st, the 2nd, the 3rd or the 4th health condition class, have the death probability of 5%, 18.5%, 33.3%, and 100% respectively.

Thus, the weakened silver birch stand which contains trees of 1st – 3rd classes of health condition is able to restore condition to a healthy one, and the deterioration may be expected only for severely weakened trees (having initially the 3rd class of health condition). The weakened silver birch stand which has the trees of 1st – 4th health condition classes is most likely to weaken even more severely over 4 years.

References

- Anonymous: Sanitary rules in the forests of Ukraine (1995). Kiev: State Forestry Committee of Ukraine (in Ukrainian).
- Atramentova, L.A., & Utevskaia, O.M. (2008). Statistical methods in biology. Gorlovka: Likhtar (In Russian).
- Bircher, N., Cailleret, M., & Bugmann, H. (2015). The agony of choice: different empirical mortality models lead to sharply different future forest dynamics. *Ecological Applications*, 25 (5), 1303-1318. <https://doi.org/10.1890/14-1462.1>
- Boeck, A., Dieler, J., Biber, P., Pretzsch, H., & Ankerst, D.P. (2014). Predicting tree mortality for European beech in southern Germany using spatially explicit competition indices. *Forest Science*, 60 (4), 613-622. <https://doi.org/10.5849/forsci.12-133>
- Cailleret, M., Bigler, C., Bugmann, H., Camarero, J.J., Cufar, K., Davi, H.,... Martínez-Vilalta, J. (2016). Towards a common methodology for developing logistic tree mortality models based on ring-width data. *Ecological Applications*, 26 (6), 1827-1841. <https://doi.org/10.1890/15-1402.1>
- Hilbert, D.R., Roman, L.A., Koeser, A.K., Vogt, J., & van Doorn, N.S. (2019). Urban Tree Mortality: A

- Literature Review. *Arboriculture & Urban Forestry*, 45 (5), 167-200. Available at: www.fs.fed.us › 2019 › nrs_2019_hilbert_001
- General characteristics of Ukrainian forests (2016). Available at: http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921&cat_id=32867 (in Ukrainian).
- Goychuk, A., Drozda, V., & Shvets, M. (2018). Risk of birch disappearance in Zhytomyr Polissya of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 16-25. <https://doi.org/10.15421/411816>
- Hammer, O., Harper, D.A.T., & Ryan, P.D. (2001). PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1-9. http://palaeo-electronica.org/2001_1/past/issue1_01.htm
- Harcombe, P.A. (1987). Tree Life Tables. *Bioscience*, 37 (8), 557-568. <https://doi.org/10.2307/1310666>
- Heimonen, K., Valtonen, A., Kontunen-Soppela, S., Keski-Saari, S., Rousi, M., Oksanen, E., & Roininen, H. (2015). Insect herbivore damage on latitudinally translocated silver birch (*Betula pendula*) – predicting the effects of climate change. *Climatic change*, 131 (2), 245-257. <https://doi.org/10.1007/s10584-015-1392-4>
- Hülsmann, L., Bugmann, H., & Brang, P. (2017). How to predict tree death from inventory data-lessons from a systematic assessment of European tree mortality models. *Canadian Journal of Forest Research*, 47 (7), 890-900. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2016-0224>
- Hytönen, J., Saramäki, J., & Niemistö, P. (2013). Growth, stem quality and nutritional status of *Betula pendula* and *Betula pubescens* in pure stands and mixtures. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29 (1), 1-11. <http://dx.doi.org/10.1080/02827581.2013.838300>
- Klein, R.W., Koeser, A.K., Hansen, G., & Escobedo, F.J. (2019). A review of urban tree risk assessment and risk perception literature. *Arboriculture & Urban Forestry*, 45 (1), 26-38. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.25953.15204>
- Maleki, K., & Kiviste, A. (2016). Individual tree mortality of silver birch (*Betula pendula* Roth) in Estonia. *Forest-Biogeosciences and Forestry*, 9 (4), 643. <https://doi.org/10.3832/for1672-008>
- Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. UNECE, UNECE ICP Forests, Hamburg, 2010. ISBN: 978-3-926301-03-1. Available at: <http://www.icpforests.org/Manual.htm>
- Meshkova, V. L., & Koshelyaeva, Ya. V. (2019). Age structure of the birch stands in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *Forestry & Forest Melioration*, 134, 124-131. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.124>
- Meshkova, V. L., & Kolienkina, M. S. (2016). *Outbreaks of pine sawflies in the forest stands of Luhansk region*. Kharkiv: Planeta-Print. ISBN 978-617-7229-29-1 (in Ukrainian).
- Meshkova, V. L., Koshelyaeva, Y. V., Skrylnik, Y. Y., & Zinchenko, O. V. (2018). Symptoms and signs of Silver birch damage and injury in Dergachivske forestry. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series Phytopathology and Entomology*, 1-2, 101-110. Available at: https://knau.kharkov.ua/visn_fito_ento_201812.html (in Ukrainian).
- Nguyen, D., Böberg, J., Cleary, M., Bruehlheide, H., Hönig, L., Koricheva, J., & Stenlid, J. (2017). Foliar fungi of *Betula pendula*: Impact of tree species mixtures and assessment methods. *Scientific reports*, 7, 41801. <https://doi.org/10.1038/srep41801>
- Ozolinčius, R., Bareika, V., Rubinskienė, M., Viškelis, P., Mažeika, R., Staugaitis, G. (2016). Chemical composition of silver birch (*Betula pendula* Roth.) and downy birch (*Betula pubescens* Ehrh.) Sap. *Balt For*, 22 (2), 222-229. Available at: https://www.balticforestry.mi.lt/bf/PDF_Articles/2016-22%5B2%5D/Baltic%20Forestry%202016.2_222-229.pdf
- Parkhomenko, L.I., Chernyshov, O.V., & Hromova, O.P. (2013). A complex of harmful organisms that inhabit the birch (*Betula* L.) in the arboretum of the National Botanical Garden. M.M Grishko NAS of Ukraine. *Plant introduction*, 4, 114-117. Available at: <http://www.nbg.kiev.ua/upload/introd/Intr-N4-13.pdf> (In Ukrainian).
- Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S., & Lakyda, P. (2017). Vulnerability of Ukrainian forests to climate change. *Sustainability*, 9 (7), 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>
- Skrylnik Yu., Koshelyaeva Y., & Meshkova V. (2019). Harmfulness of xylophagous insects for silver birch (*Betula pendula* Roth.) in the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A. Forestry*, 61 (3), 161-175. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0016>
- Tubby K.V., & Webber J.F. (2010). Pests and diseases threatening urban trees under a changing climate. *Forestry*, 83 (4), 451-459. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpq027>
- Vindstad, O.P.L., Jepsen, J.U., Ek, M., Pepi, A., & Ims, R.A. (2019). Can novel pest outbreaks drive ecosystem transitions in northern-boreal birch forest? *Journal of Ecology*, 107 (3), 1141-1153. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13093>

Санітарний стан берези повислої у дендропарку Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва

В. Л. Мешкова¹, Я. В. Кошеляєва², М. С. Коленкіна³

Останнім часом санітарний стан берези повислої (*Betula pendula* Roth.) погіршується у лісових і декоративних насадженнях. Важливо знати ймовірність погіршення або покращення стану окремих насаджень, щоб вчасно вжити необхідні заходи.

Мета досліджень полягала в оцінюванні тенденцій зміни санітарного стану насаджень берези повислої залежно від класу віку та початкового санітарного стану дерев. Дослідження здійснені впродовж 2015-2019 рр. у лінійних насадженнях берези повислої у двох парках Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва (49°53' пн.ш., 36°27' сх.д.). П'ять пробних площ із насадженнями III класу віку розташовані у парку Ветеранів, а чотири пробні площі з насадженнями V класу віку – у Дендропарку цього ж університету.

Вимірювали діаметр кожного дерева на висоті 1,3 м у 2015 та 2019 рр. Дефоліацію крон і категорію санітарного стану оцінювали візуально у липні кожного року. Індекс санітарного стану кожного насадження розраховували як середнє зважене від кількості дерев кожної категорії санітарного стану, окремо з урахуванням усіх живих і мертвих дерев ($НСІ_{1-6}$) і лише живих дерев ($НСІ_{1-4}$). Відпад дерев виражали у відсотках втрачених (загиблих) особин за період досліджень до загальної кількості дерев у 2015 році.

Встановлено, що насадження берези повислої III класу віку не змінили санітарного стану впродовж 2015-2019 рр. або поліпшили його. Насадження V класу віку погіршили санітарний стан на трьох пробних площах і поліпшили – на одній. У межах кожного класу віку насадження меншої середньої ступені товщини мали гірший санітарний стан. Відпад дерев зареєстровано на двох із п'яти пробних площ у насадженнях III класу віку і на трьох із чотирьох пробних площ – у насадженнях V класу віку. У насадженнях V класу віку дерева найменшо-

го діаметра характеризувалися найбільшим рівнем відпаду (22,4%) та найгіршим санітарним станом ($НСІ_{1-4}=2,8$).

Загалом на всіх пробних площах ймовірність відпаду дерев берези повислої, що мали у 2015 р. I категорію санітарного стану, становить 3,5%, II категорію – 10,7%, III категорію – 36,9%, а IV категорію – 84,6%. У насадженнях, ослаблених у 2015 р., ймовірність відпаду дерев, що мали чотири роки тому I, II, III і IV категорії санітарного стану, становить 5; 18,5; 33,3 та 100% відповідно.

Таким чином, ослаблені березові насадження, які містять дерева I-III категорій санітарного стану, спроможні відновитись до стану «здорових». Погіршення стану очікується для сильно ослаблених дерев (III категорії стану у 2015 р.). Ослаблене березове насадження, яке мало у 2015 р. дерева I-IV категорій санітарного стану, ослабиться ще більше через чотири роки.

Ключові слова: клас віку, діаметр (DBH); дефоліація; індекс санітарного стану, визначений для життєздатних дерев ($НСІ_{1-4}$); відпад дерев; ймовірність відпаду.

Санитарное состояние березы повислой в дендропарке Харьковского национального аграрного университета им. В. В. Докучаева

В. Л. Мешкова¹, Я. В. Кошеляева², М. С. Коленкина³

В последнее время санитарное состояние березы повислой (*Betula pendula* Roth.) ухудшается в лесных и декоративных насаждениях. Важно знать вероятность ухудшения или улучшения состояния отдельных насаждений, чтобы вовремя принять необходимые меры.

Целью исследований была оценка тенденций изменения санитарного состояния насаждений березы повислой в зависимости от класса возраста и начального санитарного состояния деревьев. Ис-

¹ Мешкова Валентина Львівна – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38(097)371-94-58. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Кошеляєва Яна Вікторівна – аспірант, Харківський національний аграрний університет ім. В. В. Докучаєва, 62483, Харківська область, Харківський район, «Докучаєвське-2», Україна. Тел.: +38(099)131-45-28. E-mail: yana120783@i.ua

³ Коленкіна Марина Сергіївна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісового та садово-паркового господарства Харківського національного університету міського господарства ім. О. М. Бекетова, вул. Маршала Бажанова, 17, Харків, 61002, Україна. Тел. +38(067)696-62-04. E-mail: kolenkinamari-na@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-0947>

¹ Мешкова Валентина Львовна – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: +38(097)371-94-58. E-mail: Valentynameshkova@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

² Кошеляева Яна Викторовна – аспирант, Харьковский национальный аграрный университет им. В. В. Докучаева, 62483, Харьковская область, Харьковский район, «Докучаевское-2», Украина. Тел.: +38(099)131-45-28. E-mail: yana120783@i.ua

³ Коленкина Марина Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесного и садово-паркового хозяйства Харьковского национального университета городского хозяйства им. А. Н. Бекетова, ул. Маршала Бажанова, 17, Харьков, 61002, Украина. Тел. +38(067)696-62-04. E-mail: kolenkinamarina@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5612-0947>

следования проведены в 2015-2019 гг. в линейных насаждениях березы повислой в двух парках Харьковского национального аграрного университета им. В.В. Докучаева (49°53' с.ш., 36°27' в.д.). Пять пробных площадей в насаждениях III класса возраста расположены в парке Ветеранов, а четыре пробные площади в насаждениях V класса возраста – в Дендропарке этого же университета.

Измеряли диаметр каждого дерева на высоте 1,3 м в 2015 и 2019 гг. Дефолиацию крон и категорию санитарного состояния оценивали визуально в июле каждого года. Индекс санитарного состояния каждого насаждения рассчитывали как средневзвешенное от количества деревьев каждой категории санитарного состояния, отдельно с учетом всех живых и мертвых деревьев ($НСИ_{1-6}$) и лишь живых деревьев ($НСИ_{1-4}$). Отпад деревьев выражали в процентах утраченных (погибших) особей за период исследований от общего количества деревьев в 2015 году.

Показано, что насаждения березы повислой III класса возраста не изменили санитарного состояния в период 2015-2019 гг. или улучшили его. Насаждения V класса возраста ухудшили санитарное состояние на трех пробных площадях и улучшили на одной. В пределах каждого класса возраста насаждения меньше средней ступени толщины имели худшее санитарное состояние. Отпад деревьев зарегистрирован на двух из пяти пробных площа-

дей в насаждениях III класса возраста и на трех из четырех пробных площадей в насаждениях V класса возраста. В насаждениях V класса возраста деревья наименьшего диаметра в насаждениях характеризовались наибольшим уровнем отпада (22,4 %) и наихудшим санитарным состоянием ($НСИ_{1-4}=2,8$).

В совокупности всех деревьев на всех пробных площадях вероятность отпада деревьев березы повислой, имевших в 2015 г. I категорию санитарного состояния, составляет 3,5 %, имевших II категорию, – 10,7 %, III категорию – 36,9 %, а IV категорию – 84,6 %. В насаждениях, ослабленных в 2015 году, вероятность отпада деревьев, имевших четыре года назад I, II, III и IV категорию санитарного состояния, составляет 5, 18,5, 33,3 и 100 % соответственно.

Таким образом, ослабленные березовые насаждения, содержащие деревья I-III категорий санитарного состояния, способны восстановиться до состояния «здоровых». Ухудшение состояния ожидается для сильно ослабленных деревьев (имевших III категорию состояния в 2015 г.). Ослабленное березовое насаждение, содержащее в 2015 г. деревья I-IV категорий санитарного состояния, ослабится еще больше через 4 года.

Ключевые слова: класс возраста, диаметр (DBH); дефолиация; индекс санитарного состояния, определенный для жизнеспособных деревьев ($НСИ_{1-4}$); отпад деревьев; вероятность отпада.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411937>
Article received 2019.05.30
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Mazepa
vasyl.mazepa@gmail.com

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 639*111.11

Трав'яне вкриття і запаси лучних кормів для утримання *Cervus elaphus* L.

В. Г. Мазепа¹, Б. І. Колісник², П. Б. Хоєцький³

Охарактеризовано видовий склад, проективне вкриття, трапляння, рясність та запаси трав'яного вкриття на землях, які вийшли із сільськогосподарського користування в умовах Західного Полісся України. Для можливого створення вольєри та утримання оленя лісового виділено п'ять біотопів: свіжі суходільні луки, вологі луки, сирі луки, зарості верби з очеретом, сільськогосподарські землі (рілля). Наведено характеристику відносного поїдання виявлених видів трав'яних рослин оленем. У межах колишніх сільськогосподарських земель обліковано 71 вид судинних рослин. Найбільшу кількість видів трав відзначено на пробних площах суходільного та вологого луку, відповідно, 27 і 25 видів. В умовах суходолу за проективним вкриттям переважають п'ять видів рослин, загальне проективне вкриття яких становить 53 %. Домінуючими травами вологих лук є *Solidago canadensis* L., *Juncus conglomeratus* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch. Загальне проективне вкриття панівних трав становить 71 %. У верболозах, де ростуть ламка, козяча та сіра верби, а також зрідка трапляється слива, зареєстровано найменше видове різноманіття трав. Тут переважає *Phragmites vulgaris* Samp., трапляння якого досягає 80 %, а проективне вкриття – 60 %.

Рясність трав'яного вкриття у межах лучної ділянки поступово зменшується від 87 % у верболозах до 76 % в умовах вологого та 65 % – суходільного луку. У приболотній смузі видова насиченість літньо-осінніх трав становить лише 10 видів з домінуванням гідрофільної рослини *Phalaroides arundinacea* (L.).

В умовах сирого сугруду (болото) та вологого субору (вологі луки) зареєстровано найбільшу масу трав'яних рослин, відповідно 2,5 кг/м² та 1,3 кг/м². Найменша маса трав є характерною для свіжого луку та верболозів із заростями очерету: 0,45 та 1,09 кг/м². Більшість видів трав'яних рослин, що ростуть у різних досліджуваних лучних біотопах Західного Полісся, поїдають олені і можуть бути використані для забезпечення їхніх кормових потреб у вольєрному розведенні.

Ключові слова: трав'яні рослини; рослинні корми; біотопи; запаси трав'яного вкриття; відносне поїдання кормових рослин.

¹ Мазепа Василь Григорович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-788-45-10. E-mail: vasyl.mazepa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-3409>

² Колісник Богдан Іванович – кандидат економічних наук, доцент, завідувач кафедри туризму та готельно-ресторанної справи. Луцький національний технічний університет, вул. Львівська, 75, м. Луцьк, 43000, Україна. Тел.: +38-067-332-6522. E-mail: Kolishnykb52@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4936-146X>

³ Хоєцький Павло Богданович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-068-845-84-77. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>

Вступ. Вольєрне розведення ратичних видів – перспективний напрям мисливсько-господарської діяльності (Evtushevskiy, 2009, Lysenko, 2008, Khoetskiy & Pokhalyuk, 2014). В Україні поширення набули невеликі за площею вольєри, зазвичай у межах 2-10 га, в яких утримують ратичних тварин (олень лісовий, дика свиня, лань, муфлон тощо) (Evtushevskiy, 2012). Вони є допоміжними мисливсько-господарськими об'єктами, які призначені для тимчасового утримання звірів або для отримання приплоду від маточного поголів'я для випуску в угіддя чи реалізації в мисливські господарства.

В європейських країнах не дозволяють вкладати у мисливське господарство своїх країн істотні кошти з держбюджету. У країнах Європи використовують економічні стимули і сучасні ефективні методи відтворення мисливських ресурсів, які базуються не на коштах державного бюджету, а на розвитку різних форм малого і середнього бізнесу в мисливському господарстві, на залученні у сферу економічної діяльності значних інвестицій (Накуї, 2013). Одним із напрямів збільшення мисливських ресурсів є організація фермерських мисливських господарств (ФМГ), які призначені для розведення у напіввільних умовах диких ратичних (Khoetskiy & Pokhalyuk, 2014, Kuba, Landete-Castillejos & Udała, 2015). ФМГ функціонують в європейських країнах (Іспанія, Литва тощо), Новій Зеландії, Австралії, США. Для їхньої організації зазвичай використовують малоцінні сільськогосподарські угіддя (Reinken, 1998). В Україні, зокрема в умовах Полісся, існують значні площі деградованих і малопродуктивних земель, які не використовують у сільськогосподарському виробництві. На сьогодні вольєрне мисливське господарство в Україні перебуває на етапі становлення. Успішність цього напрямку мисливського господарства залежить від науково-практичних розробок і рекомендацій. Утримання ратичних у вольєрах є не завжди економічно вигідним у мисливських господарствах, які не вирощують власних кормів. Основною проблемою утримання оленів є їх якісна підгодівля і добрі пасовища (Dzięciołowski, 1967, Gebert & Verheyden-Tixier, 2001).

Встановлено, що у багатосніжні зими олень споживає в середньому за добу 2-3 кг сіна. Стільки ж соковитих коренеплодів, до 1-2 кг концентратів, деревні віники, силос (Evtushevskiy, 2009). В умовах вольєрного утримання він впродовж доби споживає в середньому 12,5 кг (2,3 кормової одиниці) трави (Malinovskaia, 1975). За даними Evtushevskiy (2009), найбільшу кількість видів олені поїдають влітку – 275 (96,8%), найменшу взимку – 86 (30,3%). Частка видів трав у раціоні змінюється у широких межах (від 12,5% взимку до 97,2% влітку), оскільки більшу частину трав'яних рослин олені поїдають сезонно.

Перебуваючи у вольєрі, олені вибірково поїдають улюблені рослини та ущільнюють ратицями ґрунт, що з часом призводить до зміни видового

складу трав'яного вкриття. Виживають зазвичай високостеблові види, яких у невеликій кількості або зовсім не поїдають олені. Встановлено, що у пантових вольєрних господарствах нестача зеленого корму в літньо-осінній період призводить до здрибнення і виродження оленів, зокрема їхня маса та розміри на 15-20% є меншими, ніж в особин, що існують на волі (Mityushev, Lyubimov & Novikov, 1950, Salganskyi, 1963).

Зважаючи на важливість кормової бази та забезпечення кормових потреб оленячих для їх утримання у вольєрах, *актуальним* є дослідження трав'яного вкриття, запасів трав'яних кормів та поїдання рослин для проектування оленячих ферм та вольєрного утримання звірів.

Об'єкти та методика дослідження. *Об'єкт досліджень* – трав'яне вкриття на землях, які вишли із сільськогосподарського користування в умовах Західного Полісся України. *Предмет досліджень* – формування трав'яних кормів та їх запасів у різних лучних біотопах. *Мета роботи* – проаналізувати видовий склад трав'яного вкриття, запаси кормів та поїдання рослин на території, відведених для створення фермерського мисливського господарства з розведення оленя лісового в умовах Західного Полісся України.

Дослідження з визначення видового складу трав'яного вкриття і запасу кормів для оленя проводили впродовж літньо-осіннього періоду 2017 р. на території понад 150 га, яка вишла із сільськогосподарського виробництва і належить Держнівській сільській раді (Волинська обл.). За місцем розміщення ділянок відносно елементів рельєфу та з урахуванням однотипності екологічних умов, вологості ґрунтів і наслідків господарської діяльності, у межах досліджуваної території виділено п'ять біотопів: суходільні сінокоси (1), вологі луки (2), зарості верби з очеретом (3), сільськогосподарські землі, рілля (4), болото (5). У межах кожного біотопу, відповідно до загальноприйнятої методики, закладали через однакову відстань 25 облікових ділянок розміром 2 × 2 м (Vorobiov, 1967). На облікових ділянках визначено видовий склад, трапляння та проективне вкриття (%) трав'яних рослин. Ступінь проективного вкриття визначали для кожного виду рослин за шкалою Г. М. Visotsky (Vorobiov, 1967). Масу трав'яних рослин у різних біотопах встановлювали способом зважування сирової трави на 10 облікових ділянках розміром 1 × 1 м. Уточнення назв видів рослин та їх визначення проводили за визначником вищих рослин України (Dobrochaea, Kotov & Prokudin, 1987).

Для оцінювання рослин за значенням у живленні оленя лісового за сезонами року використано методику Evtushevskiy (2009). Згідно з методикою, відносно поїдання рослин оленями оцінено в балах: 1 – види, які поїдають погано, 2 – види, які поїдають слабо, 3 – види, які поїдають задовільно, 4 – види, які поїдають добре, 5 – види, які поїдають дуже добре і мають найважливіше значення у живленні оленів.

Результати досліджень. На виділених біотопах, у межах колишніх сільськогосподарських земель, обліковано 63 види судинних рослин на пробних ділянках (табл. 1) і вісім видів за їх межами.

Найбільшу кількість видів трав зареєстровано на пробних площах суходільного та вологого луку, відповідно: 27 і 25 видів. В умовах суходолу (біотоп 1) за проективним вкриттям переважають *Carex*

pilosa, *Achillea millefolium*, *Deschampsia caespitosa*, *Phalachroloma annuum*, *Hieracium pilosella*, де їхнє загальне проективне вкриття становить 53%. В умовах цього біотопу зареєстровано найчастіше трапляння *Phalachroloma annuum* (100%), *Achillea millefolium* (93%), *Carex pilosa* (93%), *Rumex acetosa* (93%), *Deschampsia caespitosa* (87%), *Equisetum arvense* (60%).

Таблиця 1

Видовий склад, трапляння і рясність трав'яного вкриття на пробних площах

Вид рослин	№ біотопів				
	1	2	3	4	5
1	2	3	4	5	6
<i>Achillea millefolium</i> L.	93/10	20/p	—	—	—
<i>Deschampsia caespitosa</i> (L.)	87/8	47/6	—	—	—
<i>Equisetum arvense</i> L.	60/p	20/n	—	—	—
<i>Phalachroloma annuum</i> L.	100/6	66/p	—	—	—
<i>Vicia cracca</i> L.	13/un	—	—	—	—
<i>Potentilla arenaria</i> Borkh.	40/p	—	—	—	—
<i>Rumex acetosa</i> L.	93/4	—	—	—	—
<i>Hypericum perforatum</i> L.	40/p	40/p	—	—	—
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	27/p	7/un	—	—	—
<i>Trifolium repens</i> L.	27/p	—	—	—	—
<i>Hieracium pilosella</i> L.	53/6	—	—	—	—
<i>Artemisia absinthium</i> L.	47/2	7/un	—	—	—
<i>Cardaminopsis arenosa</i> (L.) Hayek.	13/n	—	—	—	—
<i>Carex pilosa</i> Scop.	93/23	—	27/3	—	—
<i>Lisimachia vulgaris</i> L.	53/1	20/3	—	—	—
<i>Helichrysum arenarium</i> (L.) Moench	40/4	—	—	—	—
<i>Berteroa incana</i> L.	13/un	—	—	/p	—
<i>Phleum pratense</i> L.	13/un	—	—	—	—
<i>Daucus carota</i> L.	27/n	—	—	/n	—
<i>Melandrium album</i> Mill.	7/un	13/n	—	/un	—
<i>Centaurea cyanus</i> (All.) Dost.	13/un	—	—	—	—
<i>Galium verum</i> L.	7/un	—	—	—	—
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	13/n	—	—	—	—
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	7/un	13/p	—	—	—
<i>Fragaria vesca</i> L.	13/1	—	—	—	—
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth	—	13/8	—	—	—
<i>Galium aparine</i> L.	—	13/p	20/n	/un	/n
<i>Eupatorium cannabinum</i> L.	—	7/un	25/5	/p	/4
<i>Potentilla anserina</i> L.	—	13/n	—	/p	—
<i>Solidago canadensis</i> L.	—	87/43	—	—	—
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	—	13/n	—	—	—
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	—	53/9	—	—	—

1	2	3	4	5	6
<i>Senecio vernalis</i> Waldst.et Kit	–	47/2	–	/p	–
<i>Potentilla erecta</i> L. Raeusch.	–	13/n	–	–	–
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	–	33/5	25/4	–	/80
<i>Plantago lanceolata</i> L.	–	13/n	–	/p	–
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	–	7/un	–	–	–
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	–	7/un	–	–	/15
<i>Verbascum thapsus</i> L.	–	7/un	–	–	–
<i>Lupinus polyphyllus</i> L.	–	7/un	–	–	–
<i>Phragmites vulgaris</i> Samp.	–	–	80/60	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	–	–	45/15	/p	/n
<i>Glechoma hederacea</i> L.	–	–	6/un	–	–
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	–	–	–	/p	–
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	–	–	24/un	/n	/un
<i>Cirsium vulgare</i> L.	–	–	–	/n	/un
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	–	–	–	/12	–
<i>Chenopodium rubrum</i> L.	–	–	–	/15	–
<i>Cynanchum acutum</i> L.	–	–	–	/p	–
<i>Symphytum officinale</i> L.	–	–	–	/p	–
<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	–	–	–	/un	–
<i>Poligonum scabrum</i> Moench.	–	–	–	/un	/un
<i>Lycopus europaeus</i> L.	–	–	–	/un	–
<i>Festuca ovina</i> L.	–	–	–	/un	–
<i>Erodium cicutarium</i> L.	7/un	–	–	/un	–
<i>Oenothera biennis</i> L.	7/un	–	–	–	–
<i>Glicine max</i> Moench.	–	–	–	100/70	–
<i>Carduus erispus</i> L.	–	–	–	–	/un
<i>Dactylis glomerata</i> L.	–	–	–	–	/n
Верболози (<i>Salix fragilis</i> , <i>S. caprea</i> , <i>S. cinerea</i>)	–	–	90/20	–	–

Примітка: чисельник – трапляння видів рослин (%), знаменник – рясність трав'яного вкриття (проективне вкриття у %), p – розкидані екземпляри у невеликій кількості, n – поодинокі екземпляри, un – один-два екземпляри на пробну ділянку. У верболозах ростуть слива та верби – ламка, козяча, сіра.

Домінуючими травами вологих лук (біотоп 2) є *Solidago canadensis*, *Juncus conglomeratus*, *Calamagrostis epigeios*, *Deschampsia caespitosa*, *Phalaroides arundinacea*. Загальне проективне вкриття панівних п'ятьох видів трав становить 71 %. Тут частіше трапляються: *Solidago canadensis* (87 %), *Phalachroloma annuum* (66 %), *Juncus conglomeratus* (53 %), *Senecio vernalis* (47 %), *Deschampsia caespitosa* (47 %), *Hypericum perforatum* (40 %).

У верболозах, де ростуть ламка, козяча та сіра верби, а також зрідка трапляється слива, зареєстровано найнижчу видову насиченість трав (тільки 8 видів). Тут переважають *Phragmites vulgaris*, *Urtica dioica*, *Carex pilosa*, *Eupatorium cannabinum*, *Phalaroides arundinacea*. Панівним видом є очерет звичайний, трапляння якого досягає 80 %, а проектив-

не вкриття – 60 %. Відтак досліджувані верболози із заростями очерету характеризуються добрими захисними умовами для існування оленя, чисельність якого у 2017 р. у цьому біотопі становила 9 осіб. Наявність заростей верб, гілки яких охоче поїдають оленеподібні, покращують кормові ресурси звірів.

Найбільш однотипними за рослинністю умовами характеризується четвертий біотоп – сільськогосподарське поле, на якому була висіяна і росла соя. Цей культурний вид у даному біотопі характеризується найвищим показником трапляння (100 %) та проективним вкриттям (70 %). Поряд з культивованою соєю, на цьому полі зареєстровано 21 вид трав'яних рослин, серед яких переважають польові бур'яни. За проективним вкриттям домінують *Chenopodium rubrum* (15 %) та *Galinsoga parviflora*

(12%). Культивовану сою та бур'яни, як показали наші обстеження, добре поїдали олені плямисті. Порівняно з іншими біотопами, поле характеризується найвищим загальним проективним вкриттям трав'яної рослинності (100%). Рясність трав'яного вкриття у межах лучної ділянки поступово зменшується від 87% у верболозах до 76% в умовах вологого та 65% – суходільного луку. Відтак у приболотній смузі видова насиченість літньо-осінніх трав становила лише 10 видів з домінуванням гідрофільної рослини *Phalaroides arundinacea*.

Формування маси трав'яних рослин у різних біотопах Західного Полісся України залежить від умов їхнього росту – гігратопу та трофотопу. Найбільша маса трав облікована в умовах сирого сугрудю (болото) та вологого субору (вологі луки) і, відповідно, становить 2,5 та 1,3 кг/м² (табл. 2).

Найменша маса трав є характерною для свіжого луку та верболозів із заростями очерету – 0,45 та 1,09 кг/м². Висока варіабельність маси трав у верболозах (44,7%) свідчить про нерівномірність їх розподілу в цьому біотопі. Відтак верболози із заростями очерету характеризуються не тільки добрими захисними властивостями, а й кормом для існування оленя. В умовах поля маса культивованої сої, яка є істотним кормом для оленів, має найнижчий показник варіабельності (12,2%) і становить 15,4 тонн · га⁻¹.

Отже, в умовах різних біотопів Західного Полісся формуються значні запаси трав'яних кормів, які можуть бути використані у вольєрному утриманні оленів для їх підгодівлі. Більшість видів рослин певною мірою використовують олені для забезпечення кормових потреб (табл. 3).

Таблиця 2

Маса трав'яних рослин у різних біотопах (кг/м²)

Біотоп	Едотоп	М	Статистичні показники			
			m	g	V, %	P, %
Луки свіжі	B ₂	0,45	0,021	0,067	14,7	4,7
Луки вологі	B ₃	1,30	0,094	0,280	21,6	7,2
Верболози	C ₄	1,09	0,162	0,486	44,7	14,9
Поле	B ₂₋₃	1,54	0,059	0,187	12,2	3,8
Болото	C ₄₋₅	2,52	0,170	0,534	21,3	6,7

Таблиця 3

Відносне поїдання рослин оленем за сезонами року

Назва рослини	Поїдання, бал				Загальний за рік
	зима	весна	літо	осінь	
1	2	3	4	5	6
<i>Achillea millefolium</i> L.	1	–	1	1	1
<i>Equisetum arvense</i> L.	–	–	2	–	2
<i>Vicia cracca</i> L.	–	–	4	–	4
<i>Potentilla arenaria</i> Borkh.	–	–	4	–	4
<i>Rumex acetosa</i> L.	–	–	3	–	3
<i>Hypericum perforatum</i> L.	2	–	2	–	2
<i>Veronica chamaedrys</i> L.	–	–	3	–	3
<i>Trifolium repens</i> L.	–	–	3	4	4
<i>Hieracium pilosella</i> L.	–	–	4	–	4
<i>Artemisia absinthium</i> L.	–	–	–	1	1
<i>Carex pilosa</i> Scop.	2	–	1	–	2
<i>Lisimachia vulgaris</i> L.	–	2	3	–	3
<i>Helichrysum arenarium</i> (L.)	–	–	3	–	3
<i>Berteroa incana</i> L.	–	3	3	3	3
<i>Phleum pratense</i> L.	–	–	2	–	2
<i>Daucus carota</i> L.	–	2	3	–	3

1	2	3	4	5	6
<i>Melandrium album</i> Mill.	—	—	3	4	4
<i>Centaurea cyanus</i> (All.) Dost.	—	—	1	—	1
<i>Galium verum</i> L.	—	3	1	—	3
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	—	—	1	—	1
<i>Tanacetum vulgare</i> L.	—	—	1	—	1
<i>Fragaria vesca</i> L.	2	5	3	—	5
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	—	—	3	—	3
<i>Galium aparine</i> L.	—	3	1	—	3
<i>Potentilla anserina</i> L.	—	—	5	5	5
<i>Solidago canadensis</i> L.	—	—	2	—	2
<i>Equisetum sylvaticum</i> L.	1	—	1	—	1
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	—	—	2	2	2
<i>Potentilla erecta</i> L. Raeusch.	—	—	4	—	4
<i>Phalaroides arundinacea</i> (L.) Rausch.	—	—	2	—	2
<i>Plantago lanceolata</i> L.	—	—	3	—	3
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	—	4	5	—	5
<i>Artemisia vulgaris</i> L.	—	—	1	—	1
<i>Lupinus polyphyllus</i> L.	—	5	4	—	5
<i>Phragmites vulgaris</i> Samp.	—	—	2	—	2
<i>Urtica dioica</i> L.	2	3	—	3	3
<i>Glechoma hederacea</i> L.	—	4	4	4	4
<i>Cirsium arvense</i> (L.) Scop.	—	4	2	—	4
<i>Cirsium palustre</i> (L.) Scop.	—	—	2	—	2
<i>Cirsium vulgare</i> L.	—	3	4	—	4
<i>Galinsoga parviflora</i> Cav.	—	—	3	3	3
<i>Chenopodium rubrum</i> L.	—	—	3	—	3
<i>Cynanchum acutum</i> L.	—	—	1	—	1
<i>Symphytum officinale</i> L.	2	—	—	2	3
<i>Barbarea vulgaris</i> R. Br.	—	—	2	2	2
<i>Poligonum scabrum</i> Moench.	—	3	2	4	4
<i>Festuca ovina</i> L.	—	—	1	—	1
<i>Oenothera biennis</i> L.	—	2	2	4	4
<i>Glicine max</i> Moench.	—	5	4	—	5
<i>Salix fragilis</i> L.	3	—	3	2	3
<i>Salix caprea</i> L.	4	5	3	4	4

З ростучих у різних досліджуваних біотопах трав добре поїдаються оленями і є важливими у кормовому балансі такі рослини: *Lupinus polyphyllus*, *Fragaria vesca*, *Aegopodium podagraria*, *Vicia cracca*, *Trifolium repens*, *Melandrium album*, *Glechoma hederacea*, *Poligonum scabrum*, *Oenothera biennis*, різні види осоту та перстачу тощо. Однак

серед трав'яного вкриття цінні у кормовому балансі бобові рослини становлять понад 10% від загальної чисельності, а злакові – близько 8%. На відміну від інших видів ратичних (сарна європейська, лось), зі зменшенням кормових ресурсів олень лісовий активно споживає злакові рослини (Priedetis, 1990). Живлення деякими видами рослин (*Erodium*

cicutarium, *Lycopus europaeus*, *Verbascum thapsus*, *Eupatorium cannabinum*, *Senecio vernalis*, *Cardaminopsis arenosa*, *Phalachroloma annuum*, *Deschampsia caespitosa*) ми не встановили, відсутні дані про їх поїдання в літературних джерелах (Evtushevskiy, 2009, Priedetis, 1990, Malinovskaia, 1975).

Вагоме значення у живленні оленів мають верби козяча та ламка, а також культурна соя. Наведене різноманіття важливих у кормовому балансі оленів трав, їхні запаси, можуть слугувати певною мірою кормовою базою, а наявність верболозів – захисним укриттям. Поєднання на цій території різних за продуктивністю та захисними умовами біотопів дає змогу організувати та забезпечити ефективне розведення оленів у вольєрному господарстві.

Висновки. На колишніх землях сільськогосподарського користування в умовах Західного Полісся України для можливого створення вольєрів для утримання оленя лісового виділено п'ять біотопів: свіжі суходільні луки, вологі луки, сирі луки, зарості верби з очеретом, сільськогосподарські землі (рілля).

У виділених біотопах у межах колишніх сільськогосподарських земель, загалом обліковано 71 вид судинних рослин. Найбільшу кількість видів трав відзначено на пробних площах суходільного та вологого луку, відповідно: 27 і 25 видів. В умовах суходолу за проективним вкриттям переважають *Carex pilosa* Scop., *Achillea millefolium* L.p.p., *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalachroloma annuum* L., *Hieracium pilosella* L., загальне проективне вкриття становить 53%. Домінуючими травами вологих лук є *Solidago canadensis* L., *Juncus conglomeratus* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., загальне проективне вкриття панівних трав становить 71%. У верболозах, де ростуть ламка, козяча та сіра верби, а також зрідка трапляється слива, зареєстровано найнижчу видову насиченість трав. Тут переважає *Phragmites vulgaris* Samp., трапляння якого досягає 80%, а проективне вкриття – 60%.

Рясність трав'яного вкриття у межах лучної ділянки поступово зменшується від 87% у верболозах до 76% в умовах вологого та 65% – суходільного луку. У приболотній смузі видова насиченість літньо-осінніх трав становить лише 10 видів з домінуванням такої гігрофільної рослини, як *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch.

В умовах сирого сугруду (болото) та волого субору (вологі луки) виявлено найбільшу масу трав'яних рослин, відповідно, 2,5 та 1,3 кг/м². Найменша маса трав є характерною для свіжого луку та верболозів із заростями очерету – 0,45 та 1,09 кг/м². Більшість видів трав'яних рослин, що ростуть у різних досліджуваних лучних біотопах Західного Полісся, певною мірою поїдають олені і вони можуть бути використані для забезпечення кормових потреб тварин у вольєрному розведенні.

В умовах Західного Полісся України на землях, не придатних для ведення сільського господарства,

доцільно організовувати господарства з вольєрного розведення оленів. Наявні запаси трав'яних кормових рослин дають змогу поєднувати вольєрне утримання оленів із можливим їх вільним випасом на пасовищах і кормових полях.

References

- Dobrochaeva, D.N., Kotov, M.I., & Prokudin Yu. N. (1987). *Keys to higher plants of Ukraine*. Kyiv: Scientific thought (in Russian).
- Dzięciołowski, R. (1967). Food of the Red Deer in an annual cycle. *Acta Theriologica*, 12, 503-520.
- Evtushevskiy, M.N. (2009). *Spotted deer in Ukraine and abroad*. Kyiv: Publishing house Ekoinform (in Ukrainian).
- Evtushevskiy, M.N. (2012). *Ukraine hunting animals in the wild and in enclosures*. Cherkasy: Vertyka (in Ukrainian).
- Gebert, C., & Verheyden-Tixier, H. (2001). Variations of diet composition of Red Deer (*Cervus elaphus* L.) in Europe. *Mammal Review*, 31, (3-4), 189-201. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2907.2001.00090.x>
- Hakui, G. G. (2013). ...and then to the ground. *Okhota – national hunting magazin*, 12, 4-8 (in Russian).
- Kuba, J., Landete-Castillejos, T., & Udała J. (2015). Red deer farming: breeding practice, trends and potential in Poland – A Review. *Annals of Animal Science*, 15, 591-599. <https://doi.org/10.1515/aoas-2015-0033>
- Khoyetsky, P.B., & Pokhalyuk, O.M. (2014). Wildlife Management in European Countries. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24.8, 22-27. https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_8/index.htm (in Ukrainian).
- Lysenko, V.I. (2008). Pathways for non-traditional use of low-value agricultural land. *Ecological Bulletin*, 3, 31-32 (in Ukrainian).
- Malinovskaia, G.M. (1975). The digestibility of grass by the forest deer. *Belovezhskaya Pushcha*, 9, 132-136 (in Belarusian).
- Mityushev, P.B., Lyubimov, M.P., & Novikov, V.K. (1950). *Velvet antler reindeer breeding and diseases of deer antler*. Moscow: International book (in Russian).
- Priedetis, A.A. (1990). *The main factors influencing the population density of roe deer, red deer and elk in their joint dwelling*. V Congress of all-Union Theriological society of the Academy of Sciences of the USSR. Moscow: VASHNIL, 168-169 (in Russian).
- Reinken, G. (1998) Agricultural deer farming – an alternative to environmentally friendly grassland use. *Zeitschrift für Jagdwissenschaft*, 44, 78-84 (in German).
- Salganskyi, A.A. (1963). New in catching of deer. *Hunting and hunting economy*, 2, 29-30 (in Russian).
- Vorobiov, D.V. (1967). *The method of topologues research*. Kyiv: Harvest (in Russian).

Травяной покров и запасы луговых кормов для содержания *Cervus elaphus* L.

В.Г. Мазепа¹, Б.И. Колисник², П.Б. Хоецкий³

Охарактеризованы видовой состав, проективное покрытие, встречаемость, обильность и запасы травяного покрова на землях, вышедших из-под сельскохозяйственного пользования в условиях Западного Полесья Украины. Для возможного создания вольеров и содержания оленя благородного выделено пять биотопов: свежие суходольные луга, влажные луга, сырые луга, заросли ивы с тростником, сельскохозяйственные земли (пашня). Приведена характеристика относительного поедания выявленных видов травянистых растений оленем благородным.

Установлено, что в выделенных биотопах в границах бывших сельскохозяйственных земель, в целом произрастает 71 вид сосудистых растений. Наибольшее количество видов трав отмечено на пробных площадях суходольного и влажного лугов, соответственно 27 и 25 видов. В условиях суши по проективному покрову преобладают *Carex pilosa* Scop., *Achillea millefolium* L. p.p., *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalachroloma annuum* L., *Hieracium pilosella* L., общее проективное покрытие которых составляет 53%. Доминирующими травами влажных лугов являются *Solidago canadensis* L., *Juncus conglomeratus* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., общее проективное покрытие преобладающих трав составляет 71%. В зарослях ивняка, где растут ломкая, козья и серая ивы, а также изредка встречается слива, наблюдается самая низкая видовая насыщенность трав. Здесь преобладает *Phragmites vulgaris* Samp., встречаемость которого достигает 80%, а проективное покрытие – 60%.

Обильность травяного покрова в пределах лугового участка постепенно уменьшается с 87% в зарослях ивняка до 76% в условиях влажного

и 65% – суходольного луга. Вблизи болота видовая насыщенность летне-осенних трав составляет лишь 10 видов с доминированием таких гигрофильных растений, как *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., *Phragmites vulgaris* Samp. и *Eupatorium cannabinum* L.

В условиях сырого сугруда (болото) и влажной субори (влажные луга) наблюдается наибольшая масса травянистых растений, соответственно, 2,5 и 1,3 кг/м². Наименьшая масса трав является характерной для свежего луга и ивняков с зарослями тростника – 0,45 и 1,09 кг/м². Большинство видов травянистых растений, произрастающих в различных исследуемых луговых биотопах Западного Полесья Украины, в той или иной степени поедаются оленями и могут быть использованы для обеспечения их кормовых потребностей при вольерном разведении.

В условиях Западного Полесья Украины на землях, не пригодных для ведения сельского хозяйства, целесообразно создавать хозяйства по вольерному разведению оленей. Имеющиеся запасы травянистых кормовых растений позволяют сочетать вольерное содержание оленей с возможным их свободным выпасом на пастбищах и кормовых полях.

Ключевые слова: травяные растения; растительные корма; биотопы; запасы травяного покрова; относительная поедаемость кормовых растений.

Grass cover and meadow forage reserve in the *Cervus elaphus* L. breeding

V. Mazepa¹, B. Kolisnyk², P. Khoetskyi³

Species composition, projective cover, frequency of occurrence, abundance and grass reserve on the out of agricultural use lands in conditions of the Western Polissia of Ukraine are characterized. For the possible formation of enclosures and red deer breeding five habitats are distinguished: fresh dry meadows, moist

¹ Мазепа Василий Григорьевич – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-097-788-45-10. E-mail: vasyi.mazepa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-3409>

² Колисник Богдан Иванович – кандидат экономических наук, доцент, заведующий кафедрой туризма и гостинично-ресторанного дела. Луцкий национальный технический университет, ул. Львовская, 75, г. Луцк, 43018, Украина. Тел.: +38-067-332-6522. E-mail: Kolisnykb52@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4936-146X>

³ Хоецкий Павло Богданович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-068-845-84-77. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>

¹ Vasyi Mazepa – Full Member of the Academy of Forestry Sciences of Ukraine, doctor of agricultural Sciences, Professor of chair of forestry. National forestry University of Ukraine, General Chuprynka street, 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel: +38-097-788-45-10. E-mail: vasyi.mazepa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-3409>

² Bohdan Kolisnyk – candidate of economic Sciences, associate Professor, head of the Department of tourism and hotel-restaurant business. Lutsk national technical University, Lviv street, 75, Lutsk, 43018, Ukraine. Tel: +38-067-332-6522. E-mail: Kolisnykb52@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4936-146X>

³ Pavlo Khoetskyi – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, doctor of agricultural Sciences, Professor of chair of forestry. National forestry University of Ukraine, General Chuprynka street, 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel: +38-068-845-84-77. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>

meadows, wet meadows, willow and cane thickets, agricultural land (arable land). The characteristic of relative eating up of the identified species of herbaceous plants by the deer is presented.

For the evaluation of plants in the seasons diet of deer the method of M.N. Evtushevskyi (2009) was used. According to the methodology relative eating of plants was estimated in points: 1 – species that are eaten badly, 2 – species that are eaten weakly, 3 – species that are eaten satisfactory, 4 – species that are eaten well, 5 – species that are eaten very well and are important in the diet of deer.

71 species of vascular plants are found out within the boundaries of the former agricultural lands. The greatest number of grass species is observed on the sample areas of dry and moist meadows, respectively 27 and 25 species. There are five species of plants which dominate in dry meadows conditions. They are: *Carex pilosa* Scop., *Achillea millefolium* L. p.p., *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalachroloma annuum* L., *Hieracium pilosella* L., total projective cover of them is 53%. The dominant grasses of wet meadows are *Solidago canadensis* (L.), *Juncus conglomeratus* L., *Calamagrostis epigeios* (L.) Roth, *Deschampsia caespitosa* (L.), *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., total projective cover of the dominant grasses is 71%. Willow thickets of crack, goat, grey willow and occasionally plum, have the lowest species diversity of herbs. *Phragmites vulgaris* Samp. dominates in the willow thickets, frequency

of occurrence of which reaches 80%, the projective cover is 60%. Abundance of grass cover within the grassland area decreases gradually from 87% in the willow thickets to 76% in the moist meadows and 65% in the dry meadows. In close to marsh strip species diversity of summer-autumn grass consists only of 10 types with the dominance of hydrophilic plants such as *Phalaroides arundinacea* (L.) Rausch., *Phragmites vulgaris* Samp. and *Eupatorium cannabinum* L.

In conditions of the fairly fertile site type (marsh) and wet pine forest type (wet grasslands) the largest mass of herbaceous plants is observed, respectively 2,5 kg/m² and 1,3 kg/m². The least mass of herbs is characteristic of the fresh meadows and willow and cane thickets – 0.45 and 1.09 kg/m². Most species of herbaceous plants growing in different habitats of the studied meadows of the Western Polissia of Ukraine, in some degree, are eaten up by the deer and can be used to ensure their feed requirements in captive breeding.

In conditions of the Western Polissia of Ukraine on lands not suitable for agriculture it is reasonable to organize farms of captive breeding of the red deer. The existing reserve of herbaceous forage plants make it possible to combine the captive breeding of the deer with the possibility of their free grazing on pastures and forage fields.

Key words: herbaceous plants; plant forage; habitats; grass cover reserve; relative eating up of forage plants.

6. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411938>

Article received 2019.12.05

Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Klaus v. Gadow

kgadow@gwdg.de

University of Göttingen, Germany

UDC 630*182

To Act or not to Act Białowieża Forest under Conflicting Ecological Paradigms

Klaus v. Gadow¹, Chris J. Cieszewski², John A. Kershaw Jr.³

*Białowieża, a national treasure to the people of Poland and a unique ecosystem of historical significance, has become a site of intense international debate, following a large scale Bark Beetle (*Ips typographus*) outbreak. The controversy centers around two opposing ecological paradigms: 1) Ecosystems without human interference would eventually reach a climax state that is self-regulating and in equilibrium (The **No Action** paradigm); 2) Trees infected by *Ips typographus* should be salvaged in order to reduce CO₂ emissions, lower the fire risk, and prevent the collapse of healthy tree communities (The **Adaptive Action** paradigm).*

This contribution analyzes historical evidence and recent issues related to the management of Poland's Białowieża Forest. It presents a proposal towards a negotiated landscape design that allows for small-scale spatial mixing of different land-uses. Białowieża Forest can become a unique example of a continuously evolving forest landscape that is resilient to fluctuating environmental conditions, human values, and societal demands⁴.

Key words: Białowieża; Ecosystem Integrity; Bark Beetle; Nature Conservation; Landscape Model.

Introduction. Białowieża Forest, a national treasure to the people of Poland, is of particular interest to the international research and conservation community because of its relatively large area and unique history (Sekowski, 2011). The Polish part of Białowieża Forest comprises four distinct spatial entities: the Białowieża Forest District (12,593 ha), the Białowieża National Park, which is a World Heritage Site, (10,517 ha), the Browsk

Forest District (20,417 ha) and the Hajnówka Forest District (19,654 ha). The Białowieża Forest, Browsk and Hajnówka districts constitute the «Promotional Forest Complex» (the «Puszcza Białowieska») where tree harvesting is allowed, subject to certain limitations imposed by the European NATURA 2000 network, to ensure the long-term survival of Europe's most valuable and threatened species and habitats.

¹ Klaus von Gadow – Professor (retired), University of Göttingen / Germany, Extraordinary professor, Department of Forestry and Wood Science, University of Stellenbosch / South Africa; Honorary professor, Beijing Forestry University, China. E-mail: kgadow@gwdg.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3641-0397>

² Chris J. Cieszewski – Professor, Fiber Supply Assessment, WSNFR, University of Georgia, Athens GA 30602 USA. E-mail: thebiomat@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-4406>

³ John A. Kershaw Jr. – Professor of Forestry, University of New Brunswick / Canada. E-mail: kershaw@unb.ca ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1360-0091>

⁴ All authors contributed equally to this work.

While the Spruce Bark Beetle (*Ips typographus*) has been present in the Białowieża Forest at least since the early 1800s (Brincken, 1828, Cieszewska and Cieszewski 2019), the dramatic outbreak within the past 25 years is unprecedented. Bark Beetle outbreaks have profound social, economic, and ecological consequences, causing a complete change of the landscape character and deeply affecting the perception of the local communities. The ban on salvaging infected trees has resulted in an explosion in the rate of infestation of healthy spruce trees in Białowieża Forest that threatens to cause a collapse of extensive forest areas. It has also initiated an environmental conflict that has been characteristic after bark beetle proliferations in other regions of Europe (Stadelmann, Bugmann, Meier, Wermelinger, & Bigler, 2013). Two opposing ecological paradigms often cause these conflicts:

a) The No Action paradigm: trees infected by *Ips typographus* should not be salvaged; without human interference, the ecosystem would eventually reach a climax state that is self-regulating and in equilibrium (Worster, 1994). In addition, specific ecosystem dynamics following a natural disaster, such as a Bark Beetle outbreak, are an interesting object of research, and should be left as an «open-air laboratory».

b) The Adaptive Action paradigm: trees infected by *Ips typographus* should be removed timely and continuously in order to reduce CO₂ emissions, lower the fire risk and slow down, and hopefully prevent the further collapse of healthy tree communities. The specific ecosystem dynamics following a Bark Beetle outbreak are well known (Müller, Noss, Bussler, & Brandl, 2010, Nováková, & Edwards-Jonášová, 2015), and there is no justifiable reason to maintain additional «open air laboratories» by protecting uncontrolled bark beetle proliferation given the destructive nature of these outbreaks.

Patch-driven Bark Beetle outbreaks are challenging to control even with active management, but if left untreated can cause significant ecological change (Økland, Nikolov, Krokene, & Vakula, 2016). Attempting to apply a «no action» policy in the forest risks rapid ecological collapse, with a potential for severe ecological disaster for species dependent upon mature conifer forests, as well as significant social and economic consequences for the people living near the forest.

Methods and Objectives. We will analyze historical evidence and recent literature in an attempt to contribute facts and logic to the dispute over the National Park and the Dying Forest. A second objective is to develop a landscape model that would satisfy the goals of the Białowieża National Park directorate. The directorate recently emphasized that «Management should always aim at finding a balance between biodiversity conservation, sustaining of ecosystem services and assuring fair distribution of the costs and benefits of conservation, especially to local inhabitants» (Pabian, & Jaroszewicz, 2009). We will develop an integrated approach that allows for diverse values and ecological

services consistent with the history of Białowieża Forest and future vision of the landscape as a whole.

Results and Discussion. The management of Białowieża Forest is subject to various national Acts and Regulations as well as a series of international restrictions. The Polish State Forest Administration has a statutory obligation to protect the forest and to ensure its continued existence by preventing its destruction. Item 9 of the UNESCO Directive World Heritage does not allow for human intervention into «natural processes» in certain areas of the forest. The «Habitats» directive of *Natura 2000* specifies the preservation of habitats of importance for the ecological community, which in the case of a large scale Bark Beetle gradation, is impossible to achieve without human intervention. There are areas where tree harvesting is controlled subject to the regulations of *Natura 2000* and the requirements of the Polish-Belarusian UNESCO World heritage site «Białowieża Forest». This includes nature reserves and «reference areas»; special landscape protection areas for certain bird species; protection of «nature monuments» as well as «pioneer» and wetland forests. All these administrative and legal requirements are spatially relevant. Specific restrictions that apply in particular spatial units may be irrelevant in others. The complexity of the somewhat contradictory legal and administrative restrictions complicates planning and policy-making. Any attempt to solve the conflict must, therefore, recognize the spatial relevance of the different legal frameworks.

The dispute over the National Park and the Dying Forest. The issue of how to control the beetle outbreak is part of a much larger conflict about how to manage the whole of Białowieża Forest. Three issues, the primeval status of the park, the ecology and health of forests outside of it, and the future management of the forest, are interlinked in public discourse in ways that have obscured how the public understands the forest, its history, and ecology. Activists warned in the Guardian on May 25, 2016, that the harvesting of dead trees will destroy «an ecosystem untouched for 10,000 years». In perhaps one of the most egregious examples, protests were held in Ottawa, London, Edinburgh, and Copenhagen to «prevent the impending destruction of the forest by the local foresters» because of an email sent around by a biology student from Finland who had never visited Białowieża himself (Franklin, 2002). Photographs have been published showing artificial smoke rising among majestic trees to create illusive effects of a «mystic ancient forest». Such visual tricks show the landscape not as it is, but as an illusion (Gutowski et al., 2000, Franklin, 2002).

Activists have selectively used evidence to deny the extent to which the existing National Park is a thoroughly altered landscape that has served, and continues to serve, the needs of its inhabitants. Sensational media reports, which created the myth that Białowieża Forest is a «dying forest destroyed by foresters» is a gross distortion of the truth, because the Białowieża Forests are the result of a long history of forest management and trade in the Baltic (Sunseri, 2012).

A long History of Human Use. The Białowieża Forest in Poland is a complex socio-ecological system that has been shaped by active human management that can be traced back at least five hundred years. Białowieża Forest is a remnant of the lowland forests that once covered much of the central European lowland plains (Falinski, 1986). In the 14th century, the forest became the royal hunting ground of the Jagiellonian kings (Samojlik et al., 2013). While sovereignty over Białowieża Forest has shifted many times over the last 600 years, the forest largely remained the reserved hunting grounds of the ruling classes (Schama, 1995). As a result, Białowieża Forest is one of the few lowland forests in Europe that has never been completely cleared of forest cover (Pabian, & Jaroszewicz, 2009). The fact that the forest has for a half-millennia existed as the protected reserve has predominated in nationalist accounts and in contemporary environmentalist discourse about the forest's «primeval» conditions (Schama, 1995, Franklin, 2002, Sunseri, 2012, Blavascunas, 2012).

The argument that Białowieża Forest is primeval or untouched is based on a highly selective reading of history that denies the longstanding human management and use of the forest. One only has to examine the geography of Białowieża Forest to understand humans used and actively shaped the forest for centuries. The existence of navigable rivers through the forest that connect to the Vistula River and the Baltic Sea provided a means of transporting forest products (Brincken, 1828, Hedemann, 1939, Schama, 1995, Cieszevska and Cieszewski 2019). As early as 1410, the rivers of the Białowieża Forest were noted for their transportation use and economic importance (Brincken, 1826, <http://www.historytoday...>). The forest has historically been more open than today (Vera, 2000). Pollen profiles analyzed from peat bogs in the National Park show increases in the charcoal/pollen ratio from around 1430 (Mitchell, & Cole, 1998), which supports evidence that the forest was intensely settled during the 6th to 12th century (Hedemann, 1939, Gorska, 1976)

and that arable farming and animal husbandry were commonly practiced in the forest through the clearing of meadows (Franklin, 2002). Fires were widespread from 1653 to the late 1700s, supporting assumptions of an open, Pine-dominated forest with substantial human influence on the fire regime (Niklasson et al., 2010). Such evidence, painstakingly collected by scientists in Białowieża Forest, is essential to support policy and decision-making.

Historical memoirs provide a detailed description of Białowieża Forest in the early 1800s. Detailed descriptions of the forest conditions, including sizes and volumes by tree species suggest that a reasonably detailed inventory of the forest must have been available. That timber was an essential contributor to the local economy (Brincken, 1828, Cieszevska and Cieszewski 2019). Additional information on the game population, the use and control of fire in the forest, and the detailed description of hunting, all paint a picture of a forest intensively managed by humans. Of particular interest regarding early human activity is a map from 1639, which shows the forest subdivision and the boundaries of forest compartments before the third partitioning of Poland (Hedemann, 1939). Traces of human activity are visible on at least 90% of the present forest boundaries (Falinski, 1986).

One of the most significant human impacts was the maintenance of high populations of large herbivores for royal hunting through the centuries. The last yew trees, a species known to be particularly vulnerable to browsing, disappeared in Białowieża Forest during the 19th century (Wiecko, 1972). Large herbivores, which are protected in the Białowieża National Park, act as a filter by favoring a few species that are capable of withstanding the browsing pressure, thus reducing the natural species diversity (Kuijper et al., 2010, Pommerening, Brzeziecki, & Binkley, 2016). Special control plots for assessing the effects of browsing would complement existing field plots in the Białowieża Park and thus contribute to a better understanding of this crucial issue (Fig.).



Figure. Fenced (left) and unfenced (right) area showing the effect of browsing by large ungulates

Philosophically, the push to maintain «virgin» or «pristine» environments without humans is a product of a long line of Western thought about the separation of humans from nature. This idea has had many negative social and ecological impacts, such as the dispossession of indigenous people from their

traditional lands and the belief that fenced-in protected areas inevitably produce good conservation outcomes (Wapner, 2014, Purdy, 2015). The belief that humans were separate from nature-inspired practical efforts, such as early forestry, to manage nature primarily for human benefit (Barton, 2002). A new preservationist

impulse emerged in the mid-nineteenth century that called for protecting nature in a state of «wilderness», free from humans (Bennett, 2015). Utilitarian and preservationist views have provided justifications for the dispossession of existing local interests (Westoby, 1987, Gibson, Margaret, McKean, & Ostrom, 2000, Blavascunas, 2012, Bennett, 2015).

Frederic Clements (Clements, & John, 1938) popularized the idea that ecosystems without human interference would, through succession, reach a climax community that was self-regulating and in perpetual equilibrium. The idea that «nature» naturally tends towards equilibrium inspired a wave of hands-off management experiments in national parks throughout the world, beginning in the 1950s and 1960s, that continues to this day (Worster, 1994). There has been significant push-back against these policies, because managers recognize now that humans have always been integral parts of the ecosystems, and human action, if removed entirely, can have significant and unexpected ecological consequences in protected areas as seen by efforts to use natural policies for fire and elk in Yellowstone National Park or moose and wolf populations on Isle Royale (Peterson, 1999).

Landscape Models for Reconciling Diverse Interests. At least two conditions are required to avoid a major conflict: knowledge of the impending problem and the political will to act (Carment, & Garner, 1999, Woocher, 2001). The Białowieża National Park directorate recently emphasized that «Management should always aim at finding a balance between biodiversity conservation, sustaining of ecosystem services and assuring fair distribution of the costs and benefits of conservation, especially to local inhabitants» (Pabian, & Jaroszewicz, 2009). An integrated approach that allows for diverse values and ecological services is consistent with the history of Białowieża Forest. However, to achieve and maintain such integration is not a trivial task. The practical implementation of that vision requires pragmatic concepts of landscape design.

Zoning. The primary purpose of zoning is to assign land use opportunities and restrictions to specific areas, regulating activities, which will be acceptable, and thus preventing land-use conflicts. Zoning has been proposed, for example, as a means to offset the impact on timber production from increased environmental demands (Ontario Ministry, 2000). An advantage of a zoning approach is the spatial segregation of types of land-use based on specific sets of rules and regulations in a simple and straight forward implementation. Thus, zoning may be useful as a very first response to a conservation conflict. A disadvantage is the large scale entrenchment of simple rules and regulations. Zoning usually limits the fine-grained range of spatially relevant options and may thus impede continuous adaptation to changing public demands and environmental conditions.

Small-Scale Spatial Mixing. Small-scale spatial mixing of different options, based on new pragmatic theories, is preferable in generating a continuously evolving landscape in response to human demand and changing environmental conditions (Haber, 2004).

Transdisciplinary systems approaches to landscape design have been proposed where the role of humans in the people-landscape interaction proceeds in mutually influencing loops of actions and reactions (Tress, & Tress, 2001). New concepts, such as the «Multiple Path Design», are based on advanced models of ecosystem dynamics and the preferences of *bona fide* stakeholders (Gadow et al., 2007). Many other approaches exist accounting for the sensible Forest Practices Codes allowing for sustainable harvesting and contemporary efficient inventories (e.g. Manning and McDill 2012, Lowe and Cieszewski 2014).

The original subdivision of Białowieża Forest reveals a systematic grid of primary units of landscape design (Brincken, 1826, Hedemann, 1939). The development of each of these primary spatial units through time is affected by a succession of events. Each primary spatial unit follows an *ecological path* that is defined by a particular set of events (including a conscious «No Action» policy or a «protect old habitat trees» policy) within a particular time frame. Each ecological path is associated with a series of outcomes, and new technology allows the simulation of such ecological paths, resulting in a «multiple path design» that provides long-term solutions and spatially explicit solutions for conservation conflicts. The book «Designing Green Landscapes» presents examples of multiple path designs that help generate a continuously evolving landscape in response to human demand and changing environmental conditions (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-1-4020-6759-4>).

Discussion. Given the largely one-way push to create protected areas, scientists and policy makers need to be careful of embracing a strict and simplistic protected areas' framework, because there is mounting evidence that this can cause problematic and unexpected ecological, social and economic changes. Strict protected areas policies, especially those advocating «no action» or «hands-off» policies, promote the view that humans are not part of nature and have little role to play in ecological functioning.

Over the past few decades, it has become clear, however, that the separation of humans from nature is a cultural construct of relatively recent origin that has negative impacts on people and can cause significant unexpected ecological change (Wapner, 2014). «Nature» does not exist apart from humanity; the world we will inhabit is the one we have made (Purdy, 2015). A significant amount of research has traced the negative social, cultural and economic impacts of people living near protected areas in developing countries. However, less has been focused on developed countries. A study reviewing developments during the past half century based on principles of naturalness, found that, contrary to expectations, managing exclusively for naturalness did not serve to protect all wilderness values and purposes (Bowman et al., 2011). Significant resources and active management are required to preserve ecological values in protected areas because such areas are not self-regulating. Ecological reconstructions show that the world's ecosystems have changed significantly during

the Holocene as a result of interactions between human action, especially from fire and agriculture (Bowman et al., 2011), and environmental conditions, such as natural and human-induced climate change (Parmesan, 2006). A comprehensive investigation into whether it is possible to restore the forests of the American north-east to a historic «natural» condition concluded: «there are no static baseline conditions that exist or have existed for comparison with current conditions or for use as a target for restoration activities» (Foster et al., 2008).

There is a growing concern about the potential of rapid forest decline throughout many of the world's forests as a result of a conjuncture of human and natural processes (Trumbore, Brando, & Hartmann, 2015). The outbreak of Bark Beetle infestations in central Europe is one of the most dramatic of these changes. There is little philosophical, historical or ecological justification for stopping humans from continuing to shape and influence the ecosystems of the Białowieża Forest. A more diverse landscape-including mixed hardwoods and softwoods, remnant old-growth, open woodlands, and commercial forest-would provide the greatest diversity of forest structure with a broader array of ecological services.

Schama (1995) precedes his famous monograph «Landscape and Memory» with a citation of Henry David Thoreau: «It is in vain to dream of a wildness distant from ourselves. There is none such. It is the bog in our brains and bowels, the primitive vigor of Nature in us that inspires that dream». He continues on page 9: «Even the landscapes that we supposed to be most free of our culture may turn out, on closer inspection, to be its product».

Conclusions. The argument that Białowieża Forest is primeval or untouched is based on a highly selective reading of history that denies the longstanding human management and use of the forest. One only has to examine the history of Białowieża Forest to understand that humans have actively shaped the forest for centuries. The effects of drought and beetle infestations are causing dramatic ecological changes in central Europe. There is little philosophical, historical or ecological justification for preventing humans from continuing to ensure the sustainability of the basic functioning of the Białowieża ecosystems. A diverse landscape, with uneven-aged, multi-species, and old growth forests, will provide a desirable array of ecological services. This requires effective control of beetle proliferations and the browsing pressure. Small-scale spatial mixing of different land-uses in response to the preferences of *bona fide* stakeholders is possible using advanced models of ecosystem design.

References

- Barton, G. (2002). *Empire Forestry and the Origins of Environmentalism*. Cambridge: Cambridge University Press.
- Bennett, B. (2015). *Plantations and Protected Areas: A Global History of Forest Management*. MIT Press
- Blavascunas, E. (2012). Reversing orders: Foresters and the local in Poland's Białowieża Forest. NCEEER Working Paper, National Council for Eurasian and East European Research, University of Washington, Seattle, WA. Available at: http://ifmlab.for.unb.ca/People/Kershaw/PDF_Library/B/BlavascunasE2012a.pdf.
- Bowman, D. M. J. S., Balch, J., Artaxo, P., Bond, W. J., Cochrane, M. A., D'Antonio, C. M., ... Swetnam, T. W. (2011). The human dimension of fire regimes on Earth. *Journal of Biogeography*, 38 (12), 2223-2236. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2699.2011.02595>.
- Brincken, J. v. (1826). A Brief Description of the Imperial Białowieża Forest in Lithuania. N. Glücksberg, Imprimeur-Libraire de l'Université Royale (in French)
- Cieszewska, M., & Cieszewski, C. (2019). «*Nota o Puszczy Białowieskiej i Cesarskiej*» Polish Translation of French «*Mémoire Descriptif sur la Forêt Imperiale de Białowieża, en Lithuanie*». C. Cieszewski, K. Marciszewska, & A. Wikło (Eds.), The Directorate of the Polish National Forests, Warsaw, Poland. ISBN: 978-83-65659-38-5.
- Carment, D., & Garner, K. (1999). Conflict Prevention and Early Warning: Problems, Pitfalls and Avenues for Success. *Canadian Foreign Policy*, 6 (2), 103-118. <https://doi.org/10.1080/11926422.1999.9673176>
- Clements, Frederic E., & John E. Weaver. (1938). *Plant Ecology*. 2nd Edition edition. McGraw-Hill Book Company.
- Falinski, J. (1986): *Vegetation Dynamics in Temperate Lowland Primeval Forests: Ecological Studies in Białowieża Forest*. Dr W Junk, Dordrecht & Kluwer Academic Publishers
- Foster, D. R., Donahue, B., Kittredge, D. B., Motzkin, G., Hall, B., Turner, B. L., Chilton, E. (2008). New England's Forest Landscape. Ecological Legacies and Conservation Patterns Shaped by Agrarian History. In: Redman, C. L., Foster, D. R., *Agrarian Landscapes in Transition*, Oxford University Press, Inc., New York, N. Y.
- Franklin, S. (2002). Białowieża Forest, Poland: Representation, Myth, and the Politics of Dispossession. *Environment and Planning A: Economy and Space*, 34, 1459-1485. <https://doi.org/10.1068/a34259>
- Gadow, K. v., Kurttila, M., Leskinen, P., Leskinen, L., Nuutinen, T. & Pukkala, T. (2007). Designing forested landscapes to provide multiple services. *CAB Reviews: Perspectives in Agriculture, Veterinary Science, Nutrition and Natural Resources*, 2, N. 038, 1-15.
- Gibson, Clark C., Margaret, A., McKean, & Elinor Ostrom. (2000). *People and forests: Communities, institutions, and governance*. MIT Press.
- Gorska, I. (1976). Archaeological investigations in Białowieża Forest. *Archeologia Polski*, 21, (1).
- Gutowski, J., Jedrzejewski, W., Bobiec, A., Falinski, J., Czesław, O., Popiel, J., ... Korczak, A. (2000). Management plan for Białowieża National Park for the areas on the Polish side of Białowieża Forest –

- proposal. Report prepared by the Scientific Council of Białowieża Forest, Forest Research Institute Park Dyrekcyjny 5, 17-230. Białowieża, Poland (in Polish)
- Haber, W. (2004). Landscape ecology as a bridge from ecosystems to human ecology. *Ecological Research*, 19 (1), 99-106. <https://doi.org/10.1111/j.1440-1703.2003.00615.x>
- Hedemann, O. (1939). The history of the Forest of Białowieża before 1798. Institut de Recherches des Forêts Domaniales Warszawa, Travaux et comptes rendus, Seria A, Nr. 41: 310 pp. <http://www.historytoday.com/richard-cavendish/battle-grunwald> (in French)
- Kuijper, D.P.J., Jędrzejewska, B., Brzeziecki, B., Churski, M., Jędrzejewski, W., Żybura, H. (2010). Fluctuating ungulate density shapes tree requirement in natural stands of the Białowieża Primeval Forest, Poland. *Journal of Vegetation Science*, 21 (6), 1082-1098. <https://doi.org/10.1111/j.1654-1103.2010.01217.x>
- Mitchell, F.J.G., & Cole, E. (1998). Reconstruction of long-term successional dynamics of temperate woodland in Białowieża Forest, Poland. *Journal of Ecology*, 86 (6), 1042-1059. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2745.1998.00323.x>
- Müller, J., Noss, R.F., Bussler, H., & Brandl, R. (2010). Learning from a «benign neglect strategy» in a national park: response of saproxylic beetles to dead wood accumulation. *Biological Conservation*, 143 (11), 2559-2569. <https://doi.org/10.1016/j.biocon.2010.06.024>
- Niklasson, M., Zin, E., Zielonka, T., Feijen, M., Korczyk, A.F., Churski, M., ... Brzeziecki, B. (2010). A 350-year tree-ring fire record from Białowieża Primeval Forest, Poland: implications for Central European lowland fire history. *Journal of Ecology*, 98 (6), 1319-1329. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2745.2010.01710.x>
- Nováková, M.H., & Edwards-Jonášová, M. (2015). Restoration of Central-European mountain Norway spruce forest 15 years after natural and anthropogenic disturbance. *Forest Ecology and Management*, 344, 120-130. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.02.010>
- Økland, Bjørn; Christo Nikolov, Paal Krokene, Jozef Vakula. (2016). Transition from windfall- to patch-driven outbreak dynamics of the spruce bark beetle *Ips typographus*. *Forest Ecology and Management*, 363, 63-73. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.12.007>
- Ontario Ministry of Natural Resources (1999). Ontario Forest Accord. Queen's Printer for Ontario. Available at: <http://www.mnr.gov.on.ca/mnr/oll/ofaab/accord.html>, as seen on Sep. 27, 2000)
- Pabian, O., & Jaroszewicz, B. (2009). Assessing Socio-economic Benefits of Natura 2000 – a Case Study on the ecosystem service provided by Białowieża Forest (Poland). Report on the project Financing Natura 2000: Cost estimate and benefits of Natura 2000 (Contract N: 070307/2007/484403/MAR/B2): 69 pp.
- Parmesan, C. (2006). Ecological and evolutionary responses to recent climate change. *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics*, 37, 637-669. <https://doi.org/10.1146/annurev.ecolsys.37.091305.110100>
- Peterson, R.O. (1999). Wolf-Moose Interaction on Isle Royale: the End of Natural Regulation? *Ecological Applications*, 9 (1), 10-16. <https://doi.org/10.2307/2641163>
- Pommerening, A., Brzeziecki, B. & Binkley, D. (2016). Are long-term changes in plant species composition related to asymmetric growth dominance in the pristine Białowieża Forest? *Journal of Basic and Applied Ecology*, 17 (5), 408-417. <https://doi.org/10.1016/j.baee.2016.02.002>
- Purdy, J. (2015). *After Nature – a Politics for the Anthropocene*. Cambridge, MA: Harvard University Press.
- Samojlik, T., Jędrzejewska, B., Michniewicz, M., Krasnodebski, D., Dulnicz, M., Olczak, H., ... Rotherham, I.D. (2013). Tree species used for low-intensity production of charcoal and wood-tar in the 18th-century Białowieża Primeval Forest, Poland. *Phytocoenologia*, 43 (1-2), 1-12. <https://doi.org/10.1127/0340-269X/2013/0043-0511>
- Schama, S (1995), *Landscape and Memory*. London: Harper Collins
- Sekowski, A.J. (2011). *Identifying Entrenchment Issues in a Protected Areas Dispute: A Case Study of the Białowieża Forest Conflict in Poland*. (PhD thesis, The University of Texas at Austin, USA). Available at: <https://repositories.lib.utexas.edu/handle/2152/ETD-UT-2011-12-4887>
- Stadelmann, G., Bugmann, H., Meier, F., Wermelinger, B., Bigler, C. (2013). Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (*Ips typographus* L.) infestations. *Forest Ecology and Management*, 305, 273-281. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.06.003>
- Sunseri, T. (2012). Exploiting the ürwald: German post-colonial forestry in Poland and central Africa, 1900-1960. *Past Present*, 214 (1), 305-342. <https://doi.org/10.1093/pastj/gtr034>
- Tress, B., & Tress, G. (2001): Capitalising on Multiplicity: a Trans- disciplinary Systems Approach to Landscape Research. *Landscape and Urban Planning*, 57 (3-4), 143-157. [https://doi.org/10.1016/S0169-2046\(01\)00200-6](https://doi.org/10.1016/S0169-2046(01)00200-6)
- Trumbore, S., Brando, P., Hartmann, H. (2015). Forest health and global change. *Science*, 21 (6250), 814-818; <https://doi.org/10.1126/science.aac6759>
- Vera F.W.M. (2000). *Grazing Ecology and Forest History*. CAB International, Wallingford, Oxon: 506 pp. Available at: [http://lib.du.ac.ir/documents/10157/60360/Grazing+Ecology+and+Forest+History+-+\(2000\).pdf](http://lib.du.ac.ir/documents/10157/60360/Grazing+Ecology+and+Forest+History+-+(2000).pdf)
- Wapner, P. (2014). The changing nature of nature: Environmental politics in the Anthropocene. *Global Environmental Politics*, 14 (4), 36-54. https://doi.org/10.1162/GLEP_a_00256
- Westoby, J. (1987). *The purpose of forests*. Oxford: Basil Blackwell.

- Wiecko, E. (1972). *Puszcza Białowieńska*. Warsaw: Państwowe Wydawnictwo Naukowe.
- Woocher, L. (2001). Deconstructing political will – explaining the failure to prevent deadly conflict and mass atrocities. *Princeton Journal of Public and International Affairs*, 12 (10), 179-206. Available at: <https://jpia.princeton.edu/sites/jpia/files/2001-10.pdf>
- Worster, D. (1994). *Nature's economy: a history of ecological ideas*, 2nd edn. Cambridge: Cambridge University Press

Діяти чи не діяти Біловезька Пуща з погляду конфліктних екологічних парадигм

Клаус ф. Гадов¹, Кріс Цешевський², Джон Кершоу³

Біловезька Пуща, національний скарб для населення Польщі, становить особливий інтерес для міжнародної дослідницької та природоохоронної спільноти через його відносно велику площу та унікальну історію.

Ці конфлікти часто зумовлені двома протилежними екологічними парадигмами: а) парадигма «без дій»: дерева, заражені типографом, не потрібно рятувати; без втручання людини екосистема може врешті-решт досягти кульмінаційного стану, який є саморегулюючим і зрівноваженим (Worster, 1994). Крім того, специфічна динаміка екосистеми після стихійного лиха, наприклад, спалаху розвитку короїда, є цікавим об'єктом для дослідження, і його варто залишати як «лабораторію під відкритим небом». б) парадигма адаптивної дії: дерева, заражені типографом, необхідно видаляти своєчасно та постійно, щоб зменшити викиди CO₂, знизити ризик виникнення пожеж та сповільнити, і, сподіваємось, запобігти подальшій загибелі здорових деревних угруповань.

Специфічна динаміка розвитку екосистеми після спалаху розвитку короїда добре відома (Müller, Noss, Bussler, & Brandl, 2010, Nováková, & Edwards-Jonášová, 2015), і немає вагомих причин підтримувати додаткові «лабораторії під відкритим небом», унеможливаючи таким чином захист від подальшого неконтрольованого розповсюдження короїда, і враховуючи руйнівний характер цих спалахів.

У статті проаналізовано історичні свідчення та новітню літературу, з намаганням внести фактичний матеріал та логічні міркування в суперечку про Національний парк та вмираючий ліс. Інша мета, на яку спрямована робота – розробити ландшафтну модель, яка б відповідала цілям дирекції Національного парку «Біловезька Пуща». Розроблено інтегрований підхід, який дає можливість охопити різноманітні цінності та екологічні послуги, що відповідають історії Біловезької пущі та майбутньому баченню ландшафту в цілому.

Аргумент про те, що Біловезька Пуща є первозданною чи недоторканою, ґрунтується на дуже вибіркового читанні історії, яка заперечує історично тривале господарювання та використання лісу людьми. Варто лише вивчити історію Біловезької пущі, щоб зрозуміти, що люди активно формували ліс століттями. Наслідки посухи та зараження шкідниками зумовлюють різкі екологічні зміни в Центральній Європі. Філософське, історичне чи екологічне обґрунтування не дає підстави для того, щоб люди не могли продовжувати забезпечувати стійкість базового функціонування екосистеми Біловезьжя. Різноманітний ландшафт з різновіковими, різновидовими та старовинними лісами забезпечить бажаний комплекс екологічних послуг. Для цього потрібен ефективний контроль за поширенням шкідників і рекреаційним навантаженням. Дрібномасштабне просторове змішування різних видів землекористування у відповідь на преференції добросовісних зацікавлених сторін можливе за допомогою використання різних видів землекористування у відповідь на преференції.

Ключові слова: Біловезьжя; цілісність екосистеми; короїди; охорона природи; пейзажна модель.

Действовать или бездействовать Беловежская пуща с точки зрения конфликтных экологических парадигм

Клаус ф. Гадов¹, Крис Цешевский², Джон Кершоу³

Беловежская пуща, национальное достояние для населения Польши, представляет особый интерес для международной исследовательской и природо-

¹ Клаус фон Гадоу – профессор, Геттингенский университет, Германия; профессор надзвичайний, кафедра лісового господарства та деревознавства, університет Стелленбош, Південна Африка; почесний професор Пекинского лісотехнічного університету, Китай. E-mail: kgadow@gwdg.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3641-0397>

² Кріс Дж. Цешевський – професор кафедри оцінювання поставання волокон, WSFNR, Університет Джорджії, Афіни GA, 30602, США. E-mail: thebiomat@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-4406>

³ Джон А. Кершоу – професор лісового господарства Університету Нью-Брансвік, Канада. E-mail: kershaw@unb.ca ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1360-0091>

¹ Клаус фон Гадоу – профессор, Геттингенский университет, Германия; профессор чрезвычайный, кафедра лесного хозяйства и древесины, университет Стелленбош, Южная Африка; почетный профессор Пекинского лесотехнического университета, Китай. E-mail: kgadow@gwdg.de ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3641-0397>

² Крис Дж. Цешевский – профессор кафедры оценки поставляемых волокон, WSFNR, Университет Джорджия, Афины GA, 30602, США. E-mail: thebiomat@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2842-4406>

³ Джон А. Кершоу – профессор лесного хозяйства Университета Нью-Брансвик, Канада. E-mail: kershaw@unb.ca ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1360-0091>

охранной общественности из-за его относительно большой площади и уникальной истории.

Эти конфликты часто обусловлены двумя противоположными экологическими парадигмами: а) парадигма «без действий»: деревья, зараженные типографом, не нужно спасать; без вмешательства человека экосистема может в конце концов достичь кульминационного состояния, которое является саморегулируемым и уравновешенным (Worster, 1994). Кроме того, специфическая динамика экосистемы после стихийного бедствия, например, вспышки развития короеда, является интересным объектом для исследования, и ее следует оставить как «лабораторию под открытым небом». б) парадигма адаптивного действия: деревья, зараженные типографом, необходимо удалять своевременно и постоянно, чтобы уменьшить выбросы CO₂, снизить риск возникновения пожаров и замедлить, и, надемся, предотвратить дальнейшую гибель здоровых древесных сообществ.

Специфическая динамика развития экосистемы после вспышки развития короеда хорошо известна (Müller, Noss, Bussler, & Brandl 2010, Nováková, & Edwards-Jonášová, 2015), и нет веских причин поддерживать дополнительные «лаборатории под открытым небом», исключая таким образом защиту от дальнейшего неконтролируемого распространения короеда, и учитывая разрушительный характер этих вспышек.

В статье проанализированы исторические свидетельства и новейшая научная литература с попыткой внести фактический материал и логические рассуждения в спор о Национальном парке и умирающем лесу. Другая цель, на которую направ-

лена работа – разработать ландшафтную модель, соответствующую целям дирекции Национального парка Беловежье. Разработан интегрированный подход, который дает возможность охватить различные ценности и экологические услуги, соответствующие истории Беловежского леса и будущему видению ландшафта в целом.

Аргумент о том, что Беловежская пуща является первозданной или нетронутой, основан на очень выборочном чтении истории, которая отрицает исторически длительный менеджмент и использование леса людьми. Стоит только более детально изучить историю Беловежской пущи, чтобы понять, что люди активно формировали лес веками. Последствия засухи и заражения вредителями вызывают резкие экологические изменения в Центральной Европе. Философское, историческое или экологическое обоснование не дает основания для того, чтобы люди не могли продолжать обеспечивать устойчивость базового функционирования экосистемы Беловежья. Разнообразный ландшафт с разновозрастными, разнообразными и старинными лесами обеспечит желаемый комплекс экологических услуг. Для этого нужен эффективный контроль за распространением вредителей и рекреационными нагрузками. Мелкомасштабное пространственное смешивание различных видов землепользования в ответ на предпочтения добросовестных заинтересованных сторон возможно с помощью применения передовых моделей дизайна экосистем.

Ключевые слова: Беловежье; целостность экосистемы; короеды; охрана природы; пейзажная модель.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411939>
Article received 2019.08.05
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ihor Soloviy
soloviy@yahoo.co.uk

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК[[662.818.6:620.92] – 029:32](477)

Використання паливної деревини у фокусі уваги біоенергетичної політики України

І. П. Соловій¹, М. С. Кафлик², П. Б. Дубневич³

Деревне біопаливо є одним із важливих джерел альтернативної енергії в Україні. Водночас деревна біомаса є одним із найдешевших енергетичних ресурсів. Доведено, що її обсяги у є достатніми для забезпечення енергетичних потреб населення. Проте значний потенційно доступний обсяг деревної біомаси в Україні не використовується для енергетичних потреб, зокрема, залишки деревини на лісосіках. Використання відходів заготівлі та обробки деревини як палива є екологічно та економічно ефективним рішенням. Обґрунтовано доцільність запровадження біоенергетичної політики, що регулюватиме процес вторинного використання деревини. В Україні не прийняті законодавчі норми та положення, які регулюють біоенергетичну сферу, крім «Енергетичної стратегії України до 2035 року». Використання деревної біомаси в енергетичних цілях не регулюється чіткою та прозорою біоенергетичною політикою і набором відповідних інструментів. Раціональне використання потенціалу відходів деревини з позицій економіки замкненого циклу може зробити вагомий внесок у вирішення енергетичної проблеми в Україні. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. розглядає деревну біомасу як один із варіантів отримання паливної енергії, але не описує дії та заходи, безпосередньо спрямовані на отримання цього виду енергії. Законодавча база України не розглядає достатньо детально деревну біомасу як самостійний вид палива. Розвиток біоенергетики охоплює питання отримання енергії з лісосічних відходів, відходів деревообробки та неліквідних залишків, а також енергетичних плантацій. Формування біоенергетичної політики та регіональних стратегій сталого розвитку біоенергетики на основі оцінювання потенціалу деревної біомаси є основним завданням біоенергетичного напрямку в рамках лісового сектору.

Ключові слова: *деревна біомаса; біопаливо; відновна енергетика; біоенергетичний потенціал; лісовий сектор; біоенергетична політика.*

Вступ. Необмежене прогресуюче використання невідновних видів палива зумовило виникнення цілої низки проблем: зміни клімату, забруднення довкілля, зменшення біорізноманіття тощо. Одним із шляхів їх вирішення є перехід до використання

енергії, виробництво якої завдає якомога меншої шкоди довкіллю. В сучасних умовах через зростання вартості невідновних енергетичних ресурсів, в т.ч. природного газу, альтернативні джерела енергії набувають все більшої популярності. Основною пе-

¹ Соловій Ігор Павлович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>

² Кафлик Марія Степанівна – аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-443-13-95. E-mail: andruschakevich1994@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6033-6516>

³ Дубневич Павло Богданович – аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-093-024-05-57. E-mail: paul.dubnevych@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-1462>

ревагою використання енергії деревної біомаси є її приналежність до відновних ресурсів. Лісовий сектор економіки має значний потенціал відходів деревини, яка може бути використана в енергетичних цілях. Вивчення потенційно доступних обсягів біомаси для енергетичних потреб, зокрема деревної, може стати важливим науковим підґрунтям для вирішення цієї проблеми. Зростання виробництва відновлюваної енергії зумовлює необхідність пошуку компромісів щодо виробництва енергії, продуктів харчування та кормів для тваринництва (Schmidt et al., 2012), а також інших аспектів, на які воно впливає, зокрема, кількість та якість води (Lautenbach, 2012). Аналіз енергетичного потенціалу з урахуванням пошуку компромісів конфліктних інтересів здійснювався також і в галузі сільського господарства (Bryan, King & Wang, 2010, Lewandowski et al., 2006, Koschke et al., 2013).

Переваги використання альтернативних джерел енергії описані багатьма дослідниками, проте, питання стосовно того, який обсяг деревної біомаси в Україні може бути використано для енергетичних потреб, залишається дискусійним. Зокрема, Aliyeva (2016) наводить загальні переваги використання альтернативних джерел енергії, а Klimchuk (2012) фокусує увагу на перевагах та недоліках використання енергії сонця, вітру, біомаси сільського господарства та малої гідроенергетики.

За результатами досліджень біоенергетичної асоціації України, потенціал деревної біомаси в Україні, яка може бути використана в енергетичних цілях, є значним. Встановлено, що обсягів біомаси в Україні достатньо, щоб замінити весь імпорту газу і вугілля (15 days of bioenergy in Ukraine, 2019). В Україні опрацьовано термінологічно-поняттєвий інструментарій і теоретико-методологічну базу для розроблення методики оцінювання енергетичного потенціалу деревної біомаси лісів, що опирається на концептуальні засади сталого розвитку (Vasylyshyn, 2017). Водночас значними є прогалини у сфері формування відповідної секторальної політики. Процес отримання деревної енергії та використання деревної біомаси в енергетичних цілях не регулюється інструментами біоенергетичної політики в Україні. Енергетична стратегія України на період до 2035 р. передбачає перехід на відновлювальні джерела енергії, розглядає деревну біомасу як один із варіантів отримання паливної енергії, але не описує чітких дій та заходів регулювання у біоенергетичній сфері (Energy Strategy, 2017). Законодавство фактично не трактує цю сферу діяльності як галузь альтернативної енергетики. Чинна модель та система доступу до лісової біомаси має низку критичних недоліків для біоенергетичного ринку – відсутність прозорого ринку для компаній-заготівельників, відсутність прозорого ринку технічної деревини, залежність ринку біоенергетичної сировини від стратегічного підходу до управління лісовими ресурсами (Vorobey, Gydz, 2017).

В Україні не існує розроблених засад біоенергетичної політики, а також принципів та інструмен-

тів, які б регулювали процес використання деревного біопалива в енергетичних цілях з урахуванням результатів оцінювання наявного потенціалу біомаси та вимог досягнення сталого розвитку.

Об'єкти та методика дослідження. *Об'єкт дослідження* – паливна деревина, яка може бути використана в енергетичних цілях в контексті біоенергетичної політики України. *Предмет досліджень* – еколого-економічні аспекти формування біоенергетичної політики з акцентуванням уваги на деревну біомасу, яка може бути використана в енергетичних цілях. *Мета роботи* – розроблення теоретико-методологічних основ біоенергетичної політики, яка регулюватиме процес використання паливної деревини в енергетичних цілях.

Основними завданнями є розгляд та аналіз деревного біопалива як альтернативного джерела енергії, його частки у структурі інших видів біомаси, а також формулювання самого поняття біоенергетичної політики, яка регулює процес отримання деревної енергії. Методика дослідження ґрунтується на аналізі літературних джерел, матеріалів статистичної звітності, термінологічної і нормативно-правової бази, яка впливає на формування біоенергетичної політики з акцентуванням уваги на деревині як ефективному енергетичному ресурсі.

Результати досліджень. Виділено такі критерії ефективності використання деревної енергії: більша енергоконцентрація кінцевого продукту порівняно з вихідним, що підвищує його транспортальність і переводить з категорії місцевих видів палива у категорію кондиційних експортних; значні масштаби виробничих процесів і пов'язана з цим їхня менша питома енергоємність; менший негативний вплив на довкілля промисловими відходами деревини (Maksymiv, 2016). Ці критерії стосуються здебільшого готової паливно-енергетичної продукції (брикетів, пелет). Вагоме значення має використання необроблених відходів деревини (дров), що є важливим і єдиним паливним ресурсом для більшості населення сільських територій України. На домашні господарства припадає близько 65 % обсягу використання деревної енергії (Maksymiv, 2016). Недостатня розгалуженість гілок газопроводів, географічні умови та історична ментальність населення спонукають до активного використання саме цього виду палива.

Для сталого розвитку біоенергетичної галузі України необхідно сформувати біоенергетичну політику як, наприклад, у Швейцарії, Фінляндії та низці інших країн ЄС, де вона функціонує аналогічно до лісової та екологічної політики. Передбачено низку законодавчих актів, які регулюють процес використання деревини для енергетичних потреб, чітко визначений обсяг та біоенергетичний потенціал, а також, санкції за порушення норм законодавства та нераціональне використання біоенергетичного ресурсу. У Швейцарії розроблена спеціальна методика, яка дає змогу оцінювати цей потенціал як у розрізі кантонів, так і для країни загалом (Burg et al., 2017).

Засади біоенергетичної політики в Україні не сформульовані, не обґрунтовані її пріоритети, принципи та інструменти. Однак окремі її аспекти зазнають впливу лісової та екологічної політики. За визначенням Synyakevich (2011), екологічна політика – це сукупність принципів та інструментів, які використовуються національними й наднаціональними органами, політичними партіями й громадськими організаціями для досягнення мети екологічної політики в галузі відтворення, охорони та використання природних ресурсів. За Dubovich (2018), екологічна політика – це система правових заходів, спрямованих на організаційну та регулятивно-контрольну діяльність держави і/або міжнародних організацій щодо охорони та оздоровлення навколишнього природного середовища, раціонального використання й відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки та належної життєдіяльності громадян. Лісова політика – це сукупність принципів та інструментів, які використовують національні і наднаціональні органи, політичні партії і громадські організації для відстоювання своїх інтересів у галузі відтворення, охорони і використання лісових ресурсів (Synyakevich, 2013).

На основі визначень лісової та екологічної політик, можна сформулювати визначення біоенергетичної політики як сукупності принципів та інструментів, які використовуються державними органами влади, громадськими і міжнародними організаціями та іншими зацікавленими сторонами для здійснення організаційної і регулятивно-контрольної діяльності стосовно процесу використання біомаси для енергетичних потреб, способів її отримання, переробки та використання на засадах енергоефективності відповідно до цілей сталого розвитку.

Біоенергетична політика України у сфері використання деревної біомаси, отримання деревного біопалива має містити ті самі засадничі риси, що і біоенергетична політика будь-якої держави, тобто бути спрямованою на контроль та регулювання процесу використання деревини для енергетичних потреб, способів її отримання, перероблення у формі різних видів продукції (напр., паливних брикетів та пелет), використання і реалізацію паливної продукції, включаючи експорт.

Взаємозв'язок екологічної, лісової та біоенергетичної політик полягає в тому, що остання є похідною від екологічної та лісової, оскільки регулює використання деревної біомаси для енергетичних потреб з урахуванням екологічних обмежень, в той час як лісова політика спрямована на контроль та регулювання безпосередньо процесу використання, охорони та відтворення лісових ресурсів, а екологічна – на охорону довкілля та забезпечення екологічної складової добробуту для населення. Саме вона пропонує інструменти для регулювання та контролю процесу повторного використання деревини з метою отримання енергетичного продукту і водночас зменшення захащення лісосік

відходами лісозаготівлі, дає змогу встановити недоцільність спалювання порубочних решток на лісосіках і, як наслідок, частково забезпечує потреби населення в енергетичних ресурсах.

Створення законодавчо-нормативної бази на основі використання зарубіжного досвіду та оцінки потенціалу деревної біомаси в Україні, яка може бути використана в енергетичних цілях, є головним завданням біоенергетичної політики України. Біоенергетична політика повинна бути спрямованою на досягнення цілей сталого розвитку шляхом застосування відповідних стратегій та інструментів і систематично оцінюватися за допомогою системи індикаторів. Економічна ефективність застосування норм біоенергетичної політики очевидна: збільшення ланцюга доданої вартості від переробки деревини, забезпечення додаткових робочих місць, можливість отримання додаткового доходу на мікро- та макроекономічних рівнях.

Еколого-економічні передумови біоенергетичного використання деревини. Основу рішень біоенергетичної політики України у сфері використання деревної біомаси визначає аналіз можливостей заготівлі деревного біопалива (Possibilities of harvesting fuelwood, 2018). Так, у 2017 р. заготівля ліквідної деревини в Україні склала 19,60 млн м³, у т.ч. дров для опалення – 6,92 млн м³. Вже з 2000 р. спостережено тенденцію поступового збільшення обсягів заготівлі ліквідної деревини та дров для опалення.

Проаналізуємо динаміку заготівлі ліквідної деревини та самозаготівлі дров домогосподарствами в Україні (рис. 1). За результатами аналізу, з 2014 р. самозаготівля дров домогосподарствами перевищувала обсяг заготівлі паливних дров лісогосподарськими підприємствами. Прогнозна оцінка необхідних обсягів заготівлі окремих видів деревного палива постійними лісокористувачами впродовж 2018-2035 рр. ґрунтується на ключових показниках «Енергетичної стратегії України» на період до 2035 року, а також на існуючих статистичних даних та низці експертних оцінок і припущень. Згідно «Енергетичної стратегії», прогнозований обсяг біомаси, біопалива та відходів у загальному первинному постачанні енергії становитиме: 2020 рік – 4 млн т нафтового еквіваленту (н.е.), 2025 рік – 6 млн т н.е., 2030 рік – 8 млн т н.е., 2035 рік – 11 млн т н.е., тобто, зросте протягом 2015-2035 рр. у 5,2 раза (Energy Strategy, 2017).

Частка деревної біомаси згідно прогнозування становить близько 90% від загального обсягу біомаси: 2020 рік – 3,6 млн т н.е., 2025 рік – 5,4 млн т н.е., 2030 рік – 7,2 млн т н.е., 2035 рік – 9,9 млн т н.е.

Питому вагу деревного біопалива у структурі загального постачання первинної енергії України, згідно енергетичної стратегії на період до 2035 року, представлено на рис. 2 (Possibilities of harvesting wood fuel in the forests of Ukraine, 2018; Energy Strategy, 2017).

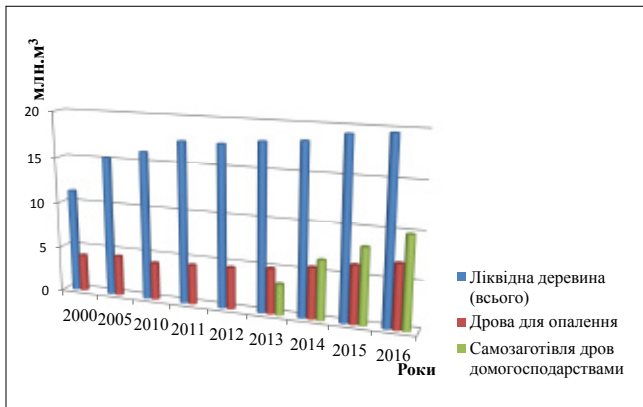


Рис. 1. Обсяги заготівлі ліквідної деревини та самозаготівлі дров домогосподарствами в Україні (Geletukha et al., 2018)

Особливостями структури енергетичного потенціалу біомаси в Україні є відносна обмеженість деревних ресурсів (близько 2,6 млн т н.е./рік за загального потенціалу біомаси 21,2 млн т н.е./рік, за даними 2016 р.) та наявність значного обсягу біомаси сільськогосподарського походження (Possibilities of harvesting fuelwood, 2018). Вагому частину дров для опалення отримують шляхом самозаготівлі домогосподарствами. Це пов'язано з відносно високою вартістю дров для опалення, яку заготовляють місцеві лісгоспи. Обсяг самозаготівлі у 2015 р. оцінений експертами Біоенергетичної асоціації України у 4,38 млн м³. Припускається, що він зменшиться до 2,20 млн м³ у 2035 році за рахунок розвитку цивілізованого ринку біопалива.

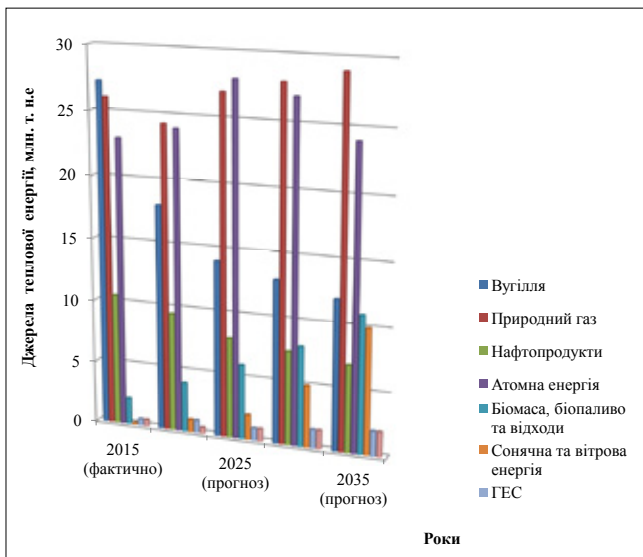


Рис. 2. Питома вага деревного біопалива у структурі загального постачання первинної енергії України, згідно енергетичної стратегії на період до 2035 року

За зазначеного підходу та припущень, частка деревного палива у загальній структурі твердого біопалива становитиме: з урахуванням самозаготівлі дров населенням (домогосподарствами) – 2,35 млн т н.е. (або 12,36 млн м³) у 2018 р. із збільшенням до 2,85 млн т н.е. (або 15,00 млн м³) у

2035 р.; без урахування самозаготівлі дров населенням (домогосподарствами) – 1,76 млн т н.е. (або 8,16 млн м³) у 2018 р. із збільшенням до 2,54 млн т н.е. (або 12,80 млн м³) у 2035 році.

Питома вагу деревного біопалива у структурі використання інших видів біомаси до 2035 р. (враховуючи прогнозну оцінку) представлено на рис. 3.

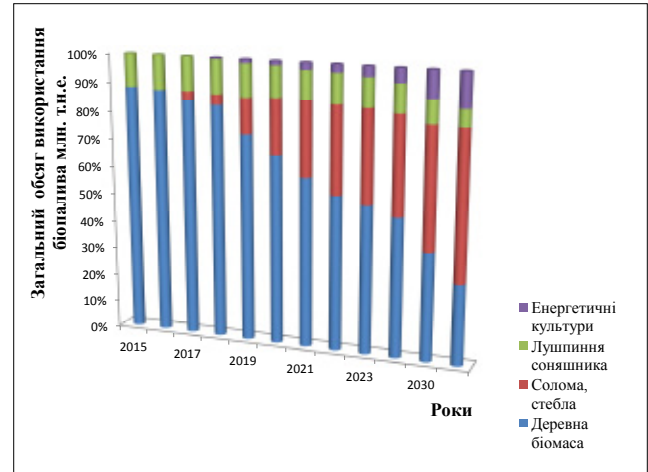


Рис. 3. Питома вага деревного біопалива у структурі використання інших видів біомаси до 2035 року (враховуючи прогнозну оцінку на основі Geletukha et al., 2018)

Для забезпечення використання зазначених обсягів деревного палива (без врахування самозаготівлі дров населенням) обсяг його заготівлі постійними лісочисувачами має складати не менше 8,30 млн м³ у 2018 р. (у тому числі дрова – не менше 7,2 млн м³, тріска – 1,1 млн м³) із збільшенням до 13 млн м³ у 2035 р. (у тому числі дрова – не менше 9,5 млн м³, тріска – 3,5 млн м³). У майбутній перспективі загальний обсяг використання деревного палива буде зростати до 2030 р., пізніше очікується спад разом із обсягом самозаготівлі дров населенням. Поряд з цим, спостерігається збільшення обсягу заготівлі тріски постійними лісочисувачами та загального обсягу використання без врахування самозаготівлі дров населенням. Варто зазначити, що існують два основних джерела отримання деревного біопалива: а) лісова деревна біомаса: відходи на лісосіках, дрова для опалення, які заготовляють державні лісгосподарські підприємства, неліквідна деревина, яка не може бути використана в процесі обробки через низькі технічні властивості; б) відходи деревообробки: технологічна тріска, тирса, що використовуються як паливо, а також є сировиною для виробництва пелет і деревних брикетів.

У першому випадку широко для опалення використовують дрова, тоді як лісозаготівельні відходи переважно залишають безпосередньо на лісосіках.

У зв'язку з цим, нарізла необхідність у формуванні біоенергетичної політики, яку ми трактуємо як сукупність принципів та інструментів, які використовують державні органи влади, міжнародні і громадські організації та інші стейкхолдери

для здійснення організаційної та регулятивно-контрольної діяльності стосовно отримання, переробки та використання біомаси для енергетичних потреб. Не менш важливим аспектом є прийняття відповідних законодавчих актів, які допоможуть розвинути біоенергетичну галузь у сфері використання деревної біомаси в Україні.

Зокрема важливим регуляторним інструментом біоенергетичної політики може стати сертифікація паливно-енергетичної продукції згідно європейських стандартів сталої біоенергетики (Soloviy et al., 2019).

Висновки. В Україні не сформульовано політику та відповідні інструменти, які повинні регулювати процес використання деревини в енергетичних цілях. Основою для їх розробки може стати досвід Швейцарії та країн ЄС, а також нові ініціативи сталої політики у сфері біоенергетики (A new EU sustainable bioenergy policy, 2020).

Основою прогнозування біоенергетичної політики є аналіз можливостей заготівлі деревного палива в лісах України з урахуванням суспільних потреб та екологічних обмежень. Деревна біомаса посідає перше місце серед інших видів біомаси, які використовують в енергетичних цілях в Україні. Аналіз можливостей заготівлі деревного палива в лісах України підтверджує, що потенціал деревної біомаси, яка може бути використана для отримання енергії є значним, і біоенергетична галузь економіки України у сфері використання деревного біопалива має перспективи для розвитку. Значну частку у структурі деревної біомаси становлять відходи від лісопилення та виробництва меблів.

Важливим завданням політики є створення умов для формування прозорого ринку біоенергетики, для якого істотне значення мають політики у сферах регіонального розвитку, енергетики та енергоефективності, управління лісовими ресурсами та розвиток інструментів державно-приватного партнерства (Vorobey, Gydz, 2017). Застосування принципів та інструментів біоенергетичної політики, запровадження європейських стандартів у сфері сертифікації паливно-енергетичної продукції стимулюватиме розвиток біоенергетичної галузі в Україні та використання деревини як енергетичного ресурсу у відповідності з принципами сталого розвитку.

References

A new EU sustainable bioenergy policy (2020). Proposal to regulate bioenergy production and use in the EU's renewable energy policy framework 2020 – 2030. Available at: http://www.birdlife.org/sites/default/files/a_new_eu_sustainable_bionenergy_policy_2016.pdf

Aliyeva, O., & Larina, M. (2016). Renewable Energy: Benefits for All. Heinrich Boll Stiftung. Available online: <https://ua.boell.org/en/2016/09/29/vidnovlyuvana-energetika-perevagi-dlya-vsih>.

Bryan, B.A., King, D., & Wang, E. (2010). Biofuels agriculture: Landscape-scale trade-offs between fuel, economics, carbon, energy, food, and fiber. *GCB Bioenergy*, 2 (6), 330-345. <https://doi.org/10.1111/j.1757-1707.2010.01056.x>

Burg, V., Bowman, G., Erni, M., Lemm, R., & Thees, O. (2017). Analyzing the potential of domestic biomass resources for the energy transition in Switzerland. *Biomass and bioenergy*, 111, 60-69. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2018.02.007>

Dubovich, I.A. (2018). *Environmental policy*. Bucharest: RCR EDITORIAL

Energy Strategy of Ukraine for the period up to 2035 «Safety, Energy Efficiency, Competitiveness». (2017). Order of the Cabinet of Ministers of Ukraine dated August 18. No. 605-p.: <https://de.com.ua/uploads/0/1703-EnergyStrategy2030.pdf> (in Ukrainian).

15 Days of bioenergy in Ukraine – 15 posters with the most interesting facts about the industry (2019). Bioenergy Association of Ukraine. <http://www.uabio.org/infographics/4287-ukrainian-bioenergy-day-campaign> (in Ukrainian).

Klimchuk, S.A. (2012). Alternative energy: current state and prospects for development Investments. *Innovation in Economics*, 24, 1-7. http://chtei-knteu.cv.ua/herald/content/download/archive/2012/v2/NV-2012-v2_20.pdf (in Ukrainian).

Koschke, L., Fürst, C., Lorenz, M., Witt, A., Frank, S., & Makeschin, F. (2013). The integration of crop rotation and tillage practices in the assessment of ecosystem services provision at the regional scale. *Ecological Indicators*, 32, 157-171. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2013.03.008>

Lautenbach, S., Volk, M., Strauch, M., Whittaker, G., & Seppelt, R. (2012). Quantifying trade-offs between bioenergy production, food production, water quality and water quantity aspects in a German case study. In R. Seppelt, A.A. Voinov, S. Lange, D. Bankamp, (Eds.), *Proceedings of the International Congress on Environmental Modelling and Software: Managing Resources of a Limited Planet, Sixth Biennial Meeting, Leipzig, Germany, 1–5 July 2012*; Available online: <http://www.iemss.org/society/index.php/iemss-2012-proceedings>.

Lewandowski, I., Weger, J., van Hooijdonk, A., Havlickova, K., van Dam, J., & Faaij, A. (2006). The potential biomass for energy production in the Czech Republic. *Biomass Bioenergy*, 30 (5), 405-421.

Maksymiv, L. I., Klymovych, V. P., & Zagvoyska L. D. (2016). Using the energy potential of wood: ecological and economic dimension. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14, 244-251. <https://doi.org/10.15421/411633> (in Ukrainian).

Geletukha, G.G., Zhelyesna, T.A., Pastukh, A.V., & Dragnev, S.V. (2018). Analytical note BAU №19. Bioenergy Association of Ukraine. Available online: <http://uabio.org/img/files/docs/position-paper-uabio-19-ua.pdf> (in Ukrainian).

- Schmidt, J., Schönhart, M., Biberacher, M., Guggenberger, T., Hausl, S., Kalt, G. ... Schmid, E. (2012). Regional energy autarky: Potentials, costs and consequences for an Austrian region. *Energy Policy*, 47 (C), 211-221. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.04.059>
- Soloviy, I., Melnykovych, M., Gurung, A.B., Hewitt, R.J., Maksymiv, L., Brang P., Meessen, H., & Kaflyk, M. (2019). Innovation in the use of wood energy in the Ukrainian Carpathians: Opportunities and threats for rural communities. *Forest Policy and Economics*, 104, 160-169. <https://doi.org/10.1016/j.forpol.2019.05.001>
- Synyakevych, I.M. (2011). *Environmental Policy: A Strategy to Overcome Global Environmental Threats*. Lviv: ZUCTS.
- Synyakevich, I.M., Deineka A.M., & Soloviy I.P. (2013). *Forestry Politics*. Kyiv: Knowledge
- Vasylyshyn, R.D. (2017). Theoretical and methodological bases the energy potential of woody biomass in forests estimation on the principles of sustainable forest management. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15, 82-89. <https://doi.org/10.15421/411710> (in Ukrainian).
- Vorobey, V., Gydz, N. (2017). State of the bioenergy market in 9 regions of Ukraine (Volyn, Zhytomyr, Transcarpathian, Ivano-Frankivsk, Lviv, Rivne, Ternopil, Khmelnytsky, Chernivtsi). Analytical research. Lviv: Available online: http://www.ppv.net.ua/uploads/work_attachments/Western_Ukrainian_Bioenergy_Market_Study_2017.pdf (in Ukrainian).

Использование древесины в фокусе внимания биоэнергетической политики Украины

И. П. Соловий¹, М. С. Кафлык², П. Б. Дубневич³

Древесное биотопливо является одним из основных видов альтернативной энергии в Украине и в то же время древесная биомасса – один из самых дешевых энергетических ресурсов Украины. До-

казано, что ее объем является достаточно весомым для обеспечения энергетических потребностей населения. Вместе с тем, значительный объем древесной биомассы в Украине, который может быть использован в энергетических целях, не задействован, в частности, лесосечные отходы. Использование отходов заготовки и обработки древесины в качестве топлива является экологически и экономически эффективным решением. Актуальность внедрения биоэнергетической политики, которая будет регулировать процесс вторичного использования древесины очевидна, поскольку в Украине нет четких законодательных норм и положений, регулирующих биоэнергетическую сферу, кроме «Энергетической стратегии Украины до 2035 года». Установлено, что использование потенциала отходов древесины с позиций экономики замкнутого цикла может внести весомый вклад в решение энергетической проблемы Украины. Использование древесной биомассы в энергетических целях не регулируется четкой и прозрачной биоэнергетической политикой и набором соответствующих инструментов. Энергетическая стратегия Украины на период до 2035 года рассматривает древесную биомассу как один из вариантов получения топливной энергии, но не описывает действия и меры относительно непосредственно самого процесса получения биоэнергии. Законодательная база Украины также считается несовершенной, поскольку хотя и рассматривает древесную биомассу как источник альтернативной (возобновляемой) энергии, но не принимает во внимание все ее особенности как отдельного вида топлива. В связи с этим, уместно перенять опыт других стран по широкому и разностороннему использованию древесной биомассы в энергетических целях. Создание законодательной базы на основе использования зарубежного опыта и оценки потенциала древесной биомассы в Украине, которая может быть использована в энергетических целях, является главной задачей политики биоэнергетики Украины.

Одним из важных источников получения топливной древесины являются отходы лесопильного и мебельного производства. Доказано, что объемов биомассы в Украине достаточно, чтобы заменить импорт газа и угля. Развитие биоэнергетики должно охватывать вопросы получения энергии из лесосечных отходов, отходов деревообработки и неликвидных остатков, а также из энергетических плантаций.

В Швеции около 60% энергии для отопления жилья получают вследствие сгорания биомассы, в то время как в Украине только 9%. Учет социальных и экологических ограничений при определении количества биомассы, которая может быть изъята из леса, обеспечивая эколого-экономическое обособление всего процесса сбора, сортировки и переработки древесной биомассы, является важной составляющей достижения концепции устойчивого развития лесного сектора. Важным заданием является разработка набора инструментов

¹ Соловий Игорь Павлович – академик Лесной академии наук Украины, вице-президент ЛАН Украины, доктор экономических наук, профессор кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>.

² Кафлик Мария Степановна – аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, Львов, 79057, Украина. Тел.: 097-443-13-95. E-mail: andrushakevich1994@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6033-6516>

³ Дубневич Павло Богданович – аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, Львов, 79057, Украина. Тел.: 093-024-05-57 E-mail: paul.dubnevych@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-1462>

и региональных стратегий биоэнергетической политики.

Ключевые слова: древесная биомасса; биотопливо; возобновляемая энергетика; биоэнергетический потенциал; лесной сектор; биоэнергетическая политика.

Fuel wood usage in a focus of bioenergy policy of Ukraine

I. Soloviy¹, M. Kaflyk², P. Dubnevych³

Wood as form of biomass is one of the main types of alternative energy in Ukraine. At the same time, wood biomass is one of the cheapest energy resources. It has been proved that its volume potential can be sufficient to meet the energy needs of the population. It is found that a significant amount of wood biomass in Ukraine, which can be used for energy purposes, is not yet used, particularly wood residuals in forest stands. The use of wood and wood residuals as fuel is an environmentally and cost-effective solution. However to meet sustainability goals some social and environmental limitations should be taken into account. The urgency of implementing a bioenergy policy for governing the process of wood residuals and biomass use for energy purpose is obvious, since there are no clear legislative norms and regulations to stimulate the bioenergy sector development in Ukraine, except for the “Energy Strategy of Ukraine until 2035”. Fuel wood is one of the main types of bioenergy in Ukraine. It is found that sustainable utilization of wood residuals

potential would contribute to the circular economy and at the same time can make a significant contribution to solving energy dependency from suppliers outside Ukraine.

The process of obtaining wood energy and using wood biomass for energy purposes is not governed by clear and transparent bioenergy policy and set of instruments in Ukraine. Ukraine’s energy strategy for the period until 2035 envisages the transition to renewable energy sources, considers wood biomass as one of the options for obtaining fuel energy, but does not describe actions and regulation measures in bioenergy. The legislation is also seen as imperfect as it does not actually treat this wood biomass as an alternative (renewable) energy.

Creating a legislative framework based on the use of foreign experience and the assessment of the potential of wood biomass in Ukraine, which can be used for energy purposes, is the main task of Ukraine’s bioenergy policy. Bioenergy policies should be aimed to achieving the sustainable development goals through the use of appropriate strategies and instruments and systematically assessed through a system of indicators. The main problem with the use of fuel wood is the lack of a legal framework governing its production and use. In this regard, it is appropriate to draw on the experience of other countries in the use of wood biomass for energy purposes. It is found that the main source of fuel wood is sawmill and furniture waste. It has been proven that biomass in Ukraine is sufficient to replace all gas and coal imports. The term “bioenergy” has been found not to refer to deforestation. It is about the use of wood waste and illiquid residues. In Sweden, 60% of heat is produced from biomass, however, in Ukraine only 9%. Taking into account the social and environmental constraints in determining the amount of biomass that can be removed from the forest, providing an ecological and economic justification for the entire process of harvesting, sorting and processing of biomass is an important component of achieving the concept of sustainable development of the forest sector. The main problem with the use of fuel wood is the lack of a legal framework governing its production and use. In this regard, it is appropriate to take into account the experience of other countries in the use of wood biomass for energy purposes. Therefore the most important task is to develop regional strategies and a set of bioenergy policy instruments.

Key words: wood biomass; biofuels; renewable energy; bioenergy potential; forest sector; bioenergy policy.

¹ *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 the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-287-03-88, + 38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5885-6264>.

² *Maria Kaflyk* – Postgraduate Student of the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky Str., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 097-443-13-95. Email: andruschakevich1994@i.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6033-6516>

³ *Pavlo Dubnevych* – Postgraduate Student of the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynky Str., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 093-024-0557. Email: paul.dubnevych@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-1462>

7. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411940>
Article received 2019.06.12
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ion Dubovich
iondubovici@ukr.net

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 33:34*502.3

Економіко-правове регулювання охорони та збереження біорізноманіття екосистем: теорія і практика

І. А. Дубовіч¹, Х. Р. Васишин², Т. Є. Фомічева³, Ю. І. Волковська⁴

Серед основних проблем економіко-правового регулювання особливе місце займає охорона та збереження біорізноманіття екосистем. Доведено, що збіднення та зникнення біорізноманіття екосистем неминуче позначиться на якості життя і здоров'я населення.

Важливо звернути увагу на визначення терміну «біорізноманіття» у національних та міжнародно-правових актах. На сьогодні існує близько 85 визначень терміну «біорізноманіття» і цей термін використовують уже понад п'ятдесят років. Проаналізовано основні причини та наслідки руйнування і втрати біорізноманіття екосистем в Україні та світі, як основного національного багатства кожної держави. Його збереження та невиснажливе використання розглядається як один із пріоритетів у сфері екологічної безпеки, а також охорони, використання та відтворення природних ресурсів.

У зв'язку з євроінтеграційними процесами в Україні та необхідністю адаптації нормативно-правових актів до міжнародних договорів, які Україна підписала та ратифікувала, проаналізовано міжнародні конвенції та угоди у сфері охорони і збереження біорізноманіття екосистем, подано практичні рекомендації щодо ефективного економіко-правового регулювання у сфері охорони та збереження екосистемного біорізноманіття. Запропоновано шляхи імплементації міжнародних конвенцій та угод у національне законодавство, прийняття Закону України «Про охорону та збереження біорізноманіття екосистем», проведення моніторингу біорізноманіття.

¹ Дубовіч Іон Андрійович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат географічних наук, спеціаліст з міжнародного права, доцент, завідувач кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-215-78-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>

² Васишин Христина Романівна – кандидат економічних наук, асистент кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-098-392-16-48. E-mail: kvasylshyn@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2881-233X>

³ Фомічева Тетяна Євгенівна – аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-287-93-40. E-mail: tatyana_fomicheva@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0269-538X>

⁴ Волковська Юлія Ігорівна – аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-098-172-78-60. E-mail: juliane.lviv@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2594-8864>

маніття, здійснення монетизації екосистемних послуг, інтеграцію Конвенції про охорону біологічного різноманіття у Лісовий, Водний, Земельний, Податковий Кодекси України.

Ключові слова: сталий розвиток; екосистемні послуги; платежі за екосистемні послуги; зміни клімату; сталість біорізноманіття екосистем.

Вступ. Збіднення і зникнення біорізноманіття екосистем займає особливе місце серед економіко-правових проблем сучасності та неминуче позначиться на добробуті людей, якості життя та здоров'я населення загалом.

Збереження біорізноманіття екосистем потрібно вважати необхідною умовою для виживання людини і реалізації концепції сталого розвитку. Сталість біорізноманіття екосистем та якість життя людей залежить від кількості видів живих організмів. По-кращення якості життя і добробуту населення, неможливо реалізувати без збереження та поступового відновлення біорізноманіття екосистем.

Біорізноманіття екосистем є національним багатством кожної держави. Його збереження та невиснажливе використання розглядається як один із пріоритетів у сфері екологічної безпеки, а також охорони, використання та відтворення природних ресурсів.

Аналізуючи чисельність населення на планеті Земля впродовж останніх 50 років, яке збільшилось більш ніж у два рази – від 3,7 млрд до 7,6 млрд (2019 р.), можна зробити висновок, що таке збільшення неминуче призведе до зростання обсягів використання природних ресурсів, збільшення площ сільськогосподарських угідь, інтенсифікації розвитку інфраструктури тощо. Така діяльність руйнує та зменшує біорізноманіття екосистем. Зменшення біорізноманіття екосистем призводить до руйнування і деградації природних угруповань, до дестабілізації біоти, втрати цілісності біосфери й, відповідно, до несприятливих умов для життя та здоров'я людини. Втрати біорізноманіття можуть призвести до незворотних наслідків для екосистем і людства.

Руйнування біорізноманіття екосистем відбувається внаслідок: збільшення площі земель сільськогосподарського призначення; знищення лісів; осушення боліт; спорудження водосховищ, каналів, прокладання автошляхів та залізниць, ліній електропередач; побудови міст і промислових об'єктів; видобування корисних копалин; хімізації сільського господарства; забруднення навколишнього природного середовища шкідливими речовинами; збільшення викиду парникових газів, що призводить до зміни клімату; використання значної кількості техніки під час сільськогосподарських робіт тощо. Значне руйнування біорізноманіття екосистем спричиняється також лісовими пожежами, незаконними рубками лісу та ін.

На території України, впродовж останніх 300-400 років, втрачено понад 2/3 лісів і сьогодні держава за лісистістю посідає передостаннє місце серед країн Європи. Площа лісового фонду становить 10,8 млн га, лісистість території близько – 16% (The problem of biodiversity loss, 2019).

За останні 50 років зникли близько 50% екваторіальних і тропічних лісів (The problem of biodiversity loss, 2019). Також значні площі лісів знищено внаслідок лісових пожеж. Наприклад, у 2018 р. у штаті Каліфорнія (США) сталося більше ніж 9500 лісових пожеж, внаслідок чого знищено понад 400 000 га лісів (California wildfires, 2018). У 2019 р. у Сибіру вогонь знищив близько 11 млн га лісу (Five large-scale wildfires, 2019). За даними бразильського Національного інституту космічних досліджень, з січня по серпень 2019 р., пожежі знищили більше 1,8 млн га лісів Амазонії. Окрім Амазонії, широкомасштабні осередки вогню зафіксовані в країнах південного тропічного поясу Африки, зокрема в Анголі (Since early 2019 fires have, 2019). В австралійському штаті Вікторія вогнем знищено понад 10,5 тис. га лісу в національному парку Буніп (Australia's largest fires, 2019).

Внаслідок людської діяльності приблизно одному мільйону з дев'яти мільйонів видів живих організмів нашої планети загрожує зникнення. Такі дані опубліковані у звіті ООН, який підготовлено на основі аналізу 15 тис. наукових та урядових джерел, над якими працювали 145 експертів з 50 країн світу. Цей звіт є першим за останні 15 років, в якому відображений сучасний стан біорізноманіття екосистем планети (Millions of animals and plants, 2019).

За різними оцінками вчених, у найближчі 70-80 років на Землі може зникнути близько 50% наявних видів рослин і тварин. Збіднення та зникнення деяких видів рослин і тварин може призвести до порушення стану екологічних систем, до порушення екологічного балансу в біосфері та зростання загрози планетарному генетичному фонду на Землі.

З наведеного аналізу випливає, що економіко-правове дослідження щодо охорони та збереження біорізноманіття екосистем є вкрай важливим сьогоденним завданням на шляху до охорони природних ресурсів та умов проживання людства.

Україна, яка обрала стратегічний курс на євроінтеграцію, повинна розробити концепцію і методи економіко-правового регулювання у сфері забезпечення сталого розвитку та охорони і збереження біорізноманіття екосистем. Економіко-правове регулювання у цій сфері має відповідати принципам і стандартам ЄС.

Отже, серед основних проблем економіко-правового регулювання особливе місце займає охорона і збереження біорізноманіття екосистем. Саме тому, особливо в останні десятиліття, збереження біорізноманіття екосистем стає одним із актуальних питань у міжнародних відносинах.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – охорона біорізноманіття екосистем.

Предмет досліджень – економіко-правове регулювання охорони і збереження біорізноманіття екосистем на міжнародному та національному рівнях. *Мета роботи* – розроблення теоретичних положень щодо ефективного економіко-правового регулювання охорони і збереження біорізноманіття екосистем на міжнародному та національному рівнях.

Методи дослідження. Теоретико-методологічною основою дослідження є фундаментальні положення економічної теорії, екологічної економіки, екологічної та економічної політики і права, а також сучасні наукові праці вітчизняних і зарубіжних вчених з питань, пов'язаних із сутністю проблем економіко-правового регулювання охорони та збереження біорізноманіття екосистем. Для дослідження економіко-правового регулювання охорони і збереження біорізноманіття екосистем на міжнародному та національному рівнях використано: загальні і спеціальні методи наукових досліджень, зокрема: аналізу, синтезу та логічного узагальнення – під час добору матеріалів для дослідження з метою встановлення закономірностей економіко-правового регулювання, аналізу даних та обґрунтування висновків; наукової абстракції – під час обґрунтування категоріального апарату; індукції та дедукції – для узагальнення основних теоретичних і практичних положень дослідження охорони та збереження біорізноманіття екосистем; страте-

гічного аналізу – під час оцінювання стратегічних напрямів економіко-правових аспектів на міжнародному і національному рівнях; порівняльного аналізу – для дослідження особливостей еколого-економічної політики і права на міжнародному і національному рівнях; нормативного методу – для розробки науково-практичних рекомендацій у сфері формування нормативно-правових актів з питань охорони та збереження біорізноманіття екосистем; синергетичного методу – під час використання системного підходу і комплексного врахування зв'язків та впливу різних рівнів під час вивчення проблем економіко-правового регулювання охорони та збереження біорізноманіття екосистем.

Результати досліджень. Поняття «біорізноманіття» з'явилося порівняно недавно, але швидке підвищення актуальності проблеми щодо його збереження та активне обговорення питань економіко-правового регулювання стосовно охорони біорізноманіття екосистем на міжнародній арені впродовж другої половини ХХ ст. дає підставу визнати його важливість. Термін «біорізноманіття» є скороченням словосполучення «біологічне різноманіття». Сутність цього терміну є досить складною і неоднозначною. Це пояснюється різним тлумаченням «біорізноманіття» (табл. 1). На цей час існує близько 85 визначень терміну «біорізноманіття» (Kazak, 2017).

Таблиця 1

Визначення поняття «біорізноманіття»

Джерело	Зміст
Конвенція про охорону біологічного різноманіття від 1992 р. (ст. 2) («Convention on Biological Diversity», 1992)	Різноманітність живих організмів з усіх джерел, включаючи наземні, морські та інші водні екосистеми і екологічні комплекси, частиною яких вони є; це поняття включає в себе різноманітність у рамках виду, між видами і різноманіття екосистем.
Закон України «Про Загальнодержавну програму формування національної екологічної мережі України на 2000-2015 рр.» від 21.09.2000 р. (ст. 1) (The Law of Ukraine, 2000)	Сукупність усіх видів рослин, тварин і мікроорганізмів, їх угруповань та екосистем у межах території України, її територіальних та внутрішніх морських вод, виключної (морської) економічної зони та континентального шельфу.
Казак Ріната Алімівна. Правові основи охорони біорізноманіття в Україні та Європейському Союзі у другій половині ХХ ст.: історико-правове дослідження (Kazak, 2017)	Комплексний діапазон видів фауни, флори і середовищ існування (біотичного і абіотичного характеру, природного та антропогенного походження), які в синтезі складають основу оптимального функціонування екологічної системи планети.

Існують різні думки щодо тлумачення хронологічного аспекту використання терміну «біологічне різноманіття». Деякі вчені вважають, що цей термін активно використовують вже більше 50 років (Lebedeva, 2002).

На міжнародній політичній арені це поняття увійшло в широкий обіг з 1972 р., зокрема, після Стокгольмської конференції ООН з навколишнього середовища, коли стало зрозумілим, що однією із найактуальніших проблем реалізації сталого розвитку є порушення у сфері збереження біоріз-

номаніття та якості екосистемних послуг. Відомо, що ці порушення в основному спричинені людською діяльністю і вважаються найбільшою загрозою у сфері охорони та збереження біорізноманіття, нормального функціонування і стабільності екосистем.

У відповідь на руйнування біорізноманіття екосистем, ЮНЕП (Програма ООН з навколишнього середовища) організувала в листопаді 1988 р. робочу групу експертів з біологічного різноманіття з метою вивчення необхідності розробки міжнарод-

ної конвенції з біологічного різноманіття. У травні 1989 р. була створена спеціальна робоча група експертів з економіко-правових і технічних питань для підготовки міжнародно-правового документа у сфері збереження і сталого використання біологічного різноманіття. На спеціальній конференції в м. Найробі (Кенія) 22.05.1992 р. була прийнята «Конвенція про охорону біологічного різноманіття». Ця конвенція була відкрита для підписання 05.06.1992 р. на Конференції ООН з довкілля та розвитку в м. Ріо-де-Жанейро (Саміт «Планета Земля») (Convention on Biological Diversity, 1992). Її підписали 168 держав. Конвенція вступила в силу 29.12.1993 року. Україна підписала Конвенцію 11.06.1992 р. у м. Ріо-де-Жанейро і ратифікувала її 29.11.1994 р. (On the ratification of the Convention, 1994).

Після підписання Конвенції про біологічне різноманіття від 1992 р., питання біорізноманіття екосистем набули міжнародного політичного та правового значення і перебувають у центрі уваги науковців і політиків усіх держав світу, у т.ч. України.

У тексті Конвенції про охорону біологічного різноманіття від 1992 р. зазначено, що Сторони усвідомлюють важливість охорони біорізноманіття (табл. 2). У рамках цієї Конвенції підписано два документи: Картахенський протокол про біобезпеку до Конвенції про біологічне різноманіття (The Cartagena Protocol, 2000), ухвалений 29.01.2000 р.; Нагойський протокол з регулювання доступу до генетичних ресурсів і спільного використання вигод на справедливій і рівній основі від їх застосування до Конвенції про біорізноманіття (The Nagoya Protocol, 2011).

Таблиця 2

Основні цілі, принципи та зміст Конвенції про охорону біологічного різноманіття від 1992 року

Цілі, принципи та сутність Конвенції	Зміст
Основні цілі (ст. 1)	Збереження біорізноманіття, стаке використання його компонентів та спільне отримання на справедливій і рівній основі вигод, пов'язаних з використанням генетичних ресурсів, у т.ч. шляхом надання необхідного доступу до генетичних ресурсів шляхом належної передачі відповідних технологій з урахуванням усіх прав на такі ресурси і технології, а також шляхом належного фінансування.
Основний принцип (ст. 3)	Держави мають суверенне право (відповідно до Статуту ООН та принципів міжнародного права) використовувати свої власні природні ресурси відповідно до своєї політики та законодавства в галузі навколишнього природного середовища і несуть відповідальність за забезпечення того, щоб діяльність у рамках їх юрисдикції не завдавала шкоди навколишньому середовищу інших країн або районів за межами дії національної юрисдикції.
Важливість Конвенції (вступна частина)	Базові положення полягають в такому: – збереження і стаке використання біологічного різноманіття підсилить дружні стосунки між країнами та буде сприяти зміцненню миру для всього людства...; – визнання традиційної залежності багатьох місцевих общин і корінного населення, що зберігають традиційний спосіб життя, від біологічних ресурсів, готовність спільного користування на справедливій основі вигодами, пов'язаними з використанням традиційних знань, нововведень і практики, які мають відношення до збереження біологічного різноманіття і сталого використання його компонентів...; – необхідність сприяння міжнародному, регіональному та глобальному співробітництву між країнами і міжурядовими організаціями та неурядовим сектором у справі збереження біологічного різноманіття і сталого використання його компонентів; – збереження біологічного різноманіття потребує істотних капіталовкладень, проте очікується отримання значної кількості екологічних, економічних і соціальних вигод від таких капіталовкладень та ін.
Основні умови Конвенції (ст. 8, ст. 11)	Кожна Договірна Сторона: – встановлює систему охоронних територій або територій, в яких необхідно приймати спеціальні заходи для збереження біологічного різноманіття (ст. 8, літ. а); – сприяє захисту екосистем, природних середовищ існування і збереження життєздатних популяцій, видів у природних умовах (ст. 8, літ. d); – розробляє і здійснює необхідні законодавчі нормативи та/або інші регулюючі положення щодо охорони видів і популяцій, які знаходяться під загрозою (ст. 8, літ. k); – у випадках, коли виявлено факт значного несприятливого впливу на біологічне різноманіття, регламентує чи регулює відповідні процеси і категорії діяльності (ст. 8, літ. l); – приймає, оправдані з економічного і соціального погляду заходи, які сприяють збереженню і сталому використанню компонентів біологічного різноманіття (ст. 11) тощо.

У Конвенції (ст. 15) зазначено:	1. Визнаючи суверенні права країн на свої природні ресурси, право визначати доступ до генетичних ресурсів належить національним урядам і регулюється національним законодавством. 2. Кожна держава намагається створити умови для полегшення доступу до генетичних ресурсів з метою екологічно безпечного використання іншими державами і не створювати обмежень, які суперечать цілям цієї Конвенції. 3. Для цілей цієї Конвенції до генетичних ресурсів, які надаються Договірною Стороною, відносяться лише ті, які надаються країнами походження таких ресурсів або сторонами, які отримали ці генетичні ресурси відповідно до цієї Конвенції. 4. Доступ до генетичних ресурсів регулюється на основі попередньої обґрунтованої згоди Договірної Сторони, яка надає такі ресурси та ін.
---------------------------------	--

У Картахенському протоколі міститься посилення на принцип прийняття засобів застереження, відображений у Принципі 15 Декларації Ріо-де-Жанейро з навколишнього середовища та розвитку. Протоколом також передбачено механізм посередництва з безпеки для надання допомоги з обміну інформацією про живі змінні організми та реалізації Сторонами положень Протоколу (Convention on Biological Diversity, 1992).

Картахенський протокол про біологічну безпеку застосовується в умовах транскордонного переміщення, транзиту, обробки і використання всіх живих змінених організмів, які впливають на збереження та стале використання біорізноманіття, з урахуванням також ризиків для здоров'я людини (табл. 3).

Сторонами Картахенського протоколу про біологічну безпеку є 159 країн та ЄС. Протоколом передбачена процедура завчасної обґрунтованої згоди, яка гарантує надання країнам інформації, необхідної для прийняття рішень для надання згоди на імпортування таких організмів на свою територію.

У 2010 р. Сторони Конвенції про біологічне різноманіття прийняли Стратегічний план у сфері

збереження і сталого використання біорізноманіття на 2011-2020 роки. Його гасло – «Жити в гармонії з природою». У рамках Стратегічного плану було ухвалено 20 цільових задач, відомих як цільові завдання зі збереження та сталого використання біорізноманіття, ухвалені у м. Нагоя (Японія) 29 жовтня 2010 року. Нагойський протокол вступив у силу 12 жовтня 2014 р. (Strategic Plan, 2011).

Сторони Конвенції про біологічне різноманіття взяли на себе зобов'язання встановлювати національні цільові завдання щодо збереження і сталого використання біорізноманіття. Розробка національних цільових задач та їх включення до оновлених національних стратегій і планів дій зі збереження біорізноманіття є ключовим елементом виконання зобов'язань, встановлених в Стратегічному плані.

Нагойський протокол застосовують до генетичних ресурсів у рамках сфери дії статті 15 Конвенції про біорізноманіття і до вигод від використання таких ресурсів. Протокол застосовують також до традиційних знань, пов'язаних із генетичними ресурсами, в рамках сфери дії Конвенції і до вигод від застосування таких знань.

Таблиця 3

Основна мета, цілі та сутність Картахенського протоколу про біологічну безпеку

Мета, цілі та сутність Картахенського протоколу про біологічну безпеку	Зміст
Основна мета Протоколу	Сприяння забезпеченню належного рівня захисту в галузі безпечної передачі, обробки та використання живих змінених організмів, отриманих в результаті використання сучасної біотехнології, які можуть мати несприятливий вплив на збереження і стале використання біологічного різноманіття, з урахуванням також ризиків для здоров'я людини та з приділенням особливої уваги транскордонному переміщенню.
Основні цілі Протоколу	Захист біологічного різноманіття від потенційних ризиків, спричинених генетично зміненими організмами, які є результатом сучасних біотехнологій.
Важливість Протоколу (ст. 4, ст. 22)	Протокол застосовується для транскордонного переміщення, транзиту, обробки та використання всіх живих змінених організмів, які можуть несприятливо впливати на збереження і стале використання біологічного різноманіття, з урахуванням також ризиків для здоров'я людини (ст. 4); Сторони співпрацюють у розвитку та/або зміцненні людських ресурсів і організаційного потенціалу в галузі біобезпеки, включаючи біотехнологію в тій мірі, в якій це необхідно для забезпечення біобезпеки (ст. 22) та ін.

Мета Нагойського протоколу полягає у забезпеченні спільного використання на справедливій і рівній основі вигод від застосування генетичних ресурсів, у т.ч. шляхом забезпечення належного доступу до генетичних ресурсів та належної передачі відповідних технологій, враховуючи всі права на ці ресурси і на технології шляхом належного фінансування, сприяючи таким чином збереженню біорізноманіття і сталому використанню його компонентів.

Однією із важливих міжнародних конвенцій у сфері охорони біорізноманіття екосистем є «Конвенція про охорону мігруючих видів диких тварин» або «Боннська конвенція» (Convention on the Conservation, 1979), підписана у 1979 р. в Бонні. Основні *принципи* Боннської конвенції (ст. 2) полягають у збереженні мігруючих видів і погодженні Сторонами заходів, що вживаються для цих цілей. Сторони визнають необхідність вжиття заходів щодо запобігання загрози зникнення мігруючих видів. У рамках цієї Конвенції укладена низка додаткових угод: Угода про збереження кажанів у Європі (EUROBATS); Угода про збереження мігруючих афро-євразійських водно-болотних птахів (AEWA); Конвенція про водно-болотні угіддя, що мають міжнародне значення, головним чином, як середовища існування водоплавних птахів або Рамсарська конвенція (The Convention on Wetlands of International Importance especially as Waterfowl Habitat, Ramsar Convention); Конвенція про охорону дикої фауни та флори і природних середовищ існування в Європі або Бернська конвенція (The Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats, Bern Convention); Європейська ландшафтна конвенція або Флорентійська конвенція (The European Landscape Convention); Конвенція про захист Чорного моря від забруднення або Бухарестська конвенція (The Convention on the Protection of the Black Sea Against Pollution); Конвенція щодо співробітництва з охорони і сталого використання річки Дунай (The Danube River Protection Convention); Рамкова конвенція про охорону та сталий розвиток Карпат або Карпатська конвенція (The Framework Convention on the Protection and Sustainable Development of the Carpathians, Carpathian Convention); Всеєвропейська стратегія збереження біологічного і ландшафтного різноманіття (The Pan-European Biological and Landscape Diversity Strategy, PEBLDS), яка є механізмом реалізації в Європі Конвенції про біологічне різноманіття (Kostyushyn et al., 2009).

Необхідність вирішення сучасних проблем щодо збереження біорізноманіття екосистем вимагає ефективного економіко-правового регулювання, спроможного забезпечити належне функціонування еколого-економічного правопорядку. Але, як свідчить практика, в кожній державі реалізація економіко-правового дослідження та відповідного регулювання має свою специфіку, зумовлену рівнем економічного розвитку, особливостями культури та багатьма іншими чинниками.

Оскільки збереження біорізноманіття екосистем є проблемами глобальними, то їх розв'язання можливе лише в умовах широкого й активного міжнародного співробітництва всіх держав у цій сфері. Цей аспект пояснюється тим, що навколишнє природне середовище потрібно сприймати як єдине глобальне ціле. Відповідно до такої концепції повинні формуватись міжнародні економіко-правові відносини як системи сукупностей заходів і дій, спрямованих на досягнення глобальних цілей щодо охорони та збереження біорізноманіття екосистем.

Значну роль у забезпеченні ефективного міжнародного співробітництва у галузі охорони та збереження біорізноманіття екосистем між державами та спеціалізованими міжнародними організаціями відіграє ООН. Під егідою ООН підписано багато міжнародних угод щодо охорони та збереження біорізноманіття екосистем. Але, як свідчить практичний досвід, підписані міжнародні документи в цій сфері реалізуються недостатньо. Пояснення полягає в тому, що відсутні належні економіко-правові інструменти практичної реалізації підписаних міжнародних договорів на національному рівні. Саме тому міжнародні договори, підписані представниками різних держав, є неефективними через низький рівень їх імплементації. У зв'язку з цим, потрібні кардинальні концептуальні зміни, які б ґрунтувались на основі міжнародного та національного законодавства і принципів відповідного контролю та моніторингу імплементації міжнародно-правових зобов'язань.

Логічним, науково-обґрунтованим шляхом для створення рівних еколого-економічних прав та обов'язків для населення всіх держав світу, є запропонована академіком НАН України Ю. Ю. Туницею «Екологічна Конституція Землі» (Tunytsya, 2002). На нашу думку, саме на її основі варто розробити і прийняти закон «Про охорону та збереження біорізноманіття екосистем».

Відповідно до Конституції України (ст. 9), міжнародне законодавство має пріоритет перед національним законодавством України та є обов'язковим для імплементації як складової частини національного законодавства. Саме тому Україна повинна адаптувати свої нормативно-правові акти до міжнародних договорів, які Україна підписала та ратифікувала.

Рушійними умовами для зміни національного законодавства є євроінтеграційні процеси в Україні. Українське законодавство досі недостатньо наближене до ЄС. Зараз ця проблема особливо актуальна через підписану Угоду про Асоціацію між Україною та ЄС.

Для реалізації Конвенції про охорону біологічного різноманіття в Україні потрібно здійснити наступні заходи:

- забезпечити інтеграцію Конвенції про охорону біологічного різноманіття у всі сфери життя;
- здійснити проведення моніторингу, зокрема довгострокових систем моніторингу біорізноманіття;

– спрямовувати практичні заходи, програми, законодавство на боротьбу з причинами проблем чи їх мінімізацією, які призводять до втрат біорізноманіття, а не з наслідками;

– здійснювати монетизацію екосистемних послуг, що дало б змогу оцінити вартість біорізноманіття та його компонентів, якість функціонування, статус, тенденції та наслідки його втрати у грошовому еквіваленті для того, щоб враховувати ці аспекти у процесі прийняття рішень.

Висновки. Збереження й відновлення біорізноманіття екосистем потрібно вважати необхідними умовами для виживання людства, покращення якості життя та добробуту людей. Збереження й відновлення біорізноманіття має важливе значення для реалізації концепції сталого розвитку, оскільки сталість екосистем Землі, якість життя і здоров'я людей залежить саме від кількості видів живих організмів.

Політика кожної держави, в т.ч. й України, повинна бути спрямована на ефективне економіко-правове регулювання охорони біорізноманіття екосистем, на тенденцію змін національного законодавства та імплементацію міжнародно-правових угод.

Для належної імплементації міжнародно-правових договорів у сфері збереження біорізноманіття потрібно впровадити ефективний механізм контролю та моніторингу їх виконання на національному рівні.

Для забезпечення комплексного підходу до збереження біорізноманіття та впровадження на національному рівні концепції екосистемних послуг необхідно розробити і прийняти закон «Про охорону та збереження біорізноманіття екосистем», на основі якого будуть встановлюватись концептуальні засади розвитку законодавства у цій сфері.

Оскільки руйнування біорізноманіття екосистем відбувається внаслідок людської діяльності, то в законі «Про охорону та збереження біорізноманіття екосистем» варто відобразити положення, які б забезпечили механізми охорони і збереження біорізноманіття, зокрема, можливість впровадження схем оплати за послуги екосистем.

Біорізноманіття екосистем необхідно вважати національним багатством кожної держави. Його збереження та невиснажливе використання варто розглядати як один із пріоритетів у сфері екологічної безпеки, а також охорони, використання й відтворення природних ресурсів.

Зменшення біорізноманіття екосистем призводить до руйнування і деградації природних угруповань, до дестабілізації біоти, втрати цілісності біосфери й, відповідно, до несприятливих умов для життя і здоров'я людини. Втрати біорізноманіття можуть призвести до незворотних наслідків для екосистем і людства.

Отже, збереження й відновлення біорізноманіття екосистем потребує розроблення нових теоретичних положень щодо ефективного економіко-правового регулювання на міжнародному та національному рівнях.

References

- Australia's largest fires: 10,000 hectares of forest were burned by «wall of fire» (2019). *News today*. Available at: <https://www.segodnya.ua/ua/world/wnews/krupneyshie-pozhary-v-avstralii-stenagnya-vyzhgla-10-tys-gektarov-lesa-1230200.html> (in Ukrainian).
- California wildfires: why they start and how to escape (2018). *BBC News Ukraine*. Available at: <https://www.bbc.com/ukrainian/features-46212254> (in Ukrainian).
- Convention on Biological Diversity (1992). *Verkhovna Rada of Ukraine*. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030 (in Ukrainian).
- Convention on Biological Diversity (1992). Available at: <https://www.cbd.int/history>.
- Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (1979). Available at: <https://uk.wikipedia.org/wiki> (in Ukrainian).
- Five large-scale wildfires in the last decade (2019). *News 112.ua*. Available at: <https://ua.112.ua/mnenie/piat-masshtabnykh-lisovykh-pozhezh-ostannohodesiatylittia-502427.html> (in Ukrainian).
- Kazak, R.A. (2017). Legal basis of biodiversity conservation in Ukraine and the European Union in the second half of the twentieth century: historical and legal research. (The dissertation author's abstract for the degree of Candidate of Law. Kharkiv). Available at: http://dspace.nlu.edu.ua/bitstream/123456789/12591/1/Kazak_2017.pdf (in Ukrainian).
- Kostyushyn, V.A., Gubar, S.I., & Domashlinets, V.G. (2009). *Strategy for the development of biodiversity monitoring in Ukraine*. Kyiv (in Ukrainian).
- Lebedeva, N.V. (2002). *Biological diversity and methods for its assessment. Geography and monitoring of biodiversity*. Moscow: Publishing. Scientific and Educational Center (in Russian).
- Millions of animals and plants are at risk of extinction, people are also in danger. We explain why (2019). *TSN News*. Available at: <https://tsn.ua/svit/milyonam-tvarin-i-roslin-zagrozhuye-vimirannya-lyudi-takozhu-nebezpeci-poyasnyuyemo-chomu-1341339.html> (in Ukrainian).
- On the National Program of Formation the National Ecological Network of Ukraine for 2000-2015: The Law of Ukraine of 21 September 2000 N 1989-III (2000). *Data Verkhovna Rada of Ukraine*. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/main/1989-14> (in Ukrainian).
- On the ratification of the Convention on Biological Diversity: The Law of Ukraine of 29.11.94 № 257/94-VR (1994). *Verkhovna Rada of Ukraine*. Available at: https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/995_030 (in Ukrainian).
- Since early 2019 fires have destroyed more than 1.8 million hectares of Amazon rainforests (2019). *News Mind*. Available at: <https://mind.ua/news/20201406->

- u-serpni-cherez-lisovi-pozhezhi-v-atmosferu-potrapilo-ponad-250-tonn-so2) (in Ukrainian).
- Strategic Plan for the Conservation and Sustainable Use of Biodiversity 2011-2020 (2011). Available at: <https://www.cbd.int/undb/media/factsheets/undb-factsheet-sp-ru.pdf> (in Russian).
- The Cartagena Protocol on Biosafety to the Convention on Biological Diversity (2000). Available at: <https://www.cbd.int/doc/legal/cartagena-protocol-en.pdf>.
- The Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity (2011). Available at: <https://www.cbd.int/abs/doc/protocol/nagoya-protocol-en.pdf>.
- The problem of biodiversity loss (2019). *Electronic website Zhytomyr region: Green tourism with benefits for the environment*. Available at: <http://greentour.org.ua/page/problema-vtrati-bioriznomanittya> (in Ukrainian).
- Tunytsya, Yu. Yu. (2002). *World Environmental Constitution. Idea. Concept. Problems*. Lviv: Ivan Franko Publishing Center (in Ukrainian).

Экономико-правовое регулирование охраны и сохранения биоразнообразия экосистем: теория и практика

И. А. Дубович¹, Х. Р. Василишин², Т. Е. Фомичева³,
Ю. И. Волковская⁴

Среди главных проблем экономико-правового регулирования особое место занимает охрана и сохранение биоразнообразия экосистем. Доказано, что обеднение и исчезновение биоразнообразия экосистем неизбежно скажется на качестве жизни и здоровье населения. Объяснение заключается в том,

что биоразнообразие является основой как для духовного, так и для физического здоровья человека. В связи с этим, сохранение и восстановление биоразнообразия экосистем следует считать необходимыми условиями для выживания человечества, улучшения качества жизни и благосостояния людей. Сохранение и восстановление биоразнообразия также имеет важное значение для реализации концепции устойчивого развития, поскольку постоянство экосистем Земли и качество жизни людей зависит именно от количества видов живых организмов.

Обращено внимание на определение термина «биоразнообразие» в национальных и международно-правовых актах. Отмечено, что в настоящее время существует около 85 определений термина «биоразнообразие» и, что этот термин используется уже более пятидесяти лет. Проанализированы основные причины и последствия потери биоразнообразия экосистем в Украине и мире. Определено, что биоразнообразие является национальным богатством любого государства. Его сохранение и устойчивое использование рассматривается как один из приоритетов в сфере экологической безопасности, а также охраны, использования и восстановления природных ресурсов.

В связи с евроинтеграционными процессами в Украине и необходимостью адаптации нормативно-правовых актов с международными договорами, которые Украина подписала и ратифицировала, проанализированы международные конвенции и соглашения в области охраны и сохранения биоразнообразия экосистем, в частности, Конвенция о биологическом разнообразии (1992 г.), в рамках которой приняты Картахенский протокол о биологической безопасности (2000 г.) и Нагойский протокол регулирования доступа к генетическим ресурсам и совместного использования на справедливой и равной основе выгод от их применения (2014 г.); Конвенция об охране мигрирующих видов диких животных (1979 г.). Представлены практические рекомендации по эффективному экономико-правовому регулированию в сфере охраны и сохранения биоразнообразия экосистем. Предложены пути имплементации международных конвенций и соглашений в национальное законодательство, принятие Закона Украины «Об охране и сохранения биоразнообразия экосистем», проведение мониторинга биоразнообразия, осуществления монетизации экосистемных услуг, интеграция Конвенции о биологическом разнообразии в Лесной, Водный, Земельный, Налоговый Кодексы Украины, разработка эффективного механизма контроля и мониторинга выполнения международно-правовых договоров на национальном уровне, введение платежей за экосистемные услуги.

Ключевые слова: устойчивое развитие; экосистемные услуги; платежи за экосистемные услуги; изменения климата; устойчивость биоразнообразия экосистем.

¹ Дубович Ион Андреевич – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат географических наук, специалист с международного права, доцент, заведующий кафедрой экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-097-215-78-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>

² Василишин Христина Романовна – ассистент кафедры экологической экономики, кандидат экономических наук. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-239-27-78. E-mail: kvasylshyn@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2881-233X>

³ Фомичева Татьяна Евгеньевна – аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов. Тел.: +38-067-287-93-40. E-mail: tatyana_fomicheva@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0269-538X>

⁴ Волковская Юлия Игоревна – аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов. Тел.: +38-098-172-78-60. E-mail: juliane.lviv@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2594-8864>

Economic and legal regulation of ecosystem biodiversity protection and conservation: theory and practice

I. Dubovich¹, K. Vasylyshyn², T. Fomicheva³,
Yu. Volkovska⁴

Conservation of ecosystem biodiversity is one of the main problems of economic and legal regulations. It is proved that the depletion and loss of ecosystem biodiversity will inevitably affect the human populations' quality of life and health. The reason is that biodiversity is the basis for both spiritual and physical health. In this regard, the conservation and restoration of ecosystem biodiversity should be considered as essential conditions for the survival of mankind, improving its quality of life and well-being. The conservation and restoration of ecosystem biodiversity are also important for the sustainable development concept implementation, as the sustainability of Earth's ecosystems and the quality of people's lives depend on the number of living organism's species.

Attention is paid to the definition of the term «biodiversity» in national and international legal acts. For over fifty years about 85 definitions of the term «biodiversity» has been used. The main causes

and consequences of biodiversity loss and ecosystem destruction in Ukraine and the world were analyzed in the article. It has been determined that biodiversity is a national wealth of every state. Conservation and sustainable use of biodiversity are considered as priorities in the field of environmental safety and also in the spheres of protection, use, and reproduction of natural resources.

The conservation of ecosystem biodiversity is a global problem, that can be solved by wide and active international cooperation of all countries in this field. Due to the processes of European integration of Ukraine and the need for legal acts adaptation to international treaties that Ukraine has signed and ratified, international conventions and agreements in the field of protection and conservation of ecosystem biodiversity were analysed. In particular, Convention on the Conservation of Biological Diversity (1992), the Cartagena Protocol on Biosafety (2000), the Nagoya Protocol on Access to Genetic Resources and the Fair and Equitable Sharing of Benefits Arising from their Utilization to the Convention on Biological Diversity (2014), and Convention on the Conservation of Migratory Species of Wild Animals (1979) were analysed. Practical guidance on the effective economic and legal regulation of ecosystem biodiversity protection was provided. The ways of implementing international conventions and agreements into national legislation are proposed. It was suggested the adoption of the Law of Ukraine «On the Protection and Preservation of Ecosystems Biodiversity», monitoring of biodiversity, monetization of ecosystem services, integration of the Convention on Biological Diversity in Forest, Water, Land and Tax Codes of Ukraine, development of an effective mechanism to control and monitor the implementation of international legal agreements at the national level, introduction of payments for ecosystem services such as provisioning, regulating, cultural, supporting services, etc.

The Law on the Protection and Conservation of Ecosystem Biodiversity would provide a mechanism for protecting and conserving ecosystem biodiversity, including the possibility of applying ecosystem service payment schemes.

Key words: sustainable development; ecosystem services; payments for ecosystem services; climate change; sustainability of ecosystem biodiversity.

¹ *Ion Dubovich* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Candidate of Geographical Sciences, Specialist in International Law, Associate Professor, Head at the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097215-78-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>

² *Khrystyna Vasylyshyn* – Assistant Professor at the Department of Ecological Economics, Candidate of Economic Science. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-098-392-16-48. E-mail: kvasylshyn@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2881-233X>

³ *Tatyana Fomicheva* – Postgraduate Student at the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-287-93-40. E-mail: tatyana_fomicheva@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0269-538X>

⁴ *Yuliia Volkovska* – Postgraduate Student at the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-098-172-78-60. E-mail: juliane.lviv@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2594-8864>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411941>
Article received 2019.06.15
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Lyudmyla Zahvoyska
lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 519.876.5:620.925 : [502.174.1:674.8:643]

Моделювання процесу енергетичного переходу методом системної динаміки: енергетичні кооперативи як інструмент переходу до сталого використання деревної біомаси в житловому секторі

Л.Д. Загвойська¹, О.В. Блецка²

Домінуюча парадигма енергогенерування централізована, високовуглецева і породжує енергетичну бідність. Імператив глобальної зміни клімату пріоритезує процес енергетичного переходу, одним із аспектів якого є стале енергетичне використання деревної біомаси. Обґрунтовано необхідність трансформації енергетичного сектора шляхом використання холистичних методів дослідження і деліберативних методів прийняття рішень. Побудовано причинно-наслідкову модель процесу енергетичного переходу і потокову модель поширення екоінновацій для процесу формування енергетичних кооперативів. За результатами регресійного аналізу макроекономічних показників глобальної конкурентоспроможності країн виконано параметризацію потокової моделі для умов України. За результатами моделювання, проведеного з використанням цієї моделі, встановлено, що процес формування енергетичних кооперативів відбуватиметься повільно, насамперед – через неефективність інституцій. Однак, відповідно до здійсненого нами опитування в м. Борислав встановлено, що 18,1% респондентів знайомі з концепцією енергетичних кооперативів, з яких кожен п'ятий готовий вкласти власні кошти в їхній розвиток, близько половини опитаних бажають змінити системи опалення в своїх помешканнях, що значно простіше зробити членам кооперативів. Використовуючи причинно-наслідкову модель, протестовано запропоновані нами SWOT-стратегії процесу покращення енергетичного використання деревної біомаси в житловому секторі, визначено додаткові важелі впливу, виявлено потенційні небажані наслідки і джерела невпевності, що сприятиме глибшому розумінню і кращому управлінню процесом енергетичного переходу.

Ключові слова: трансформація енергетичних систем; кооперативна бізнес-модель; SWOT-аналіз і стратегії; регресійний аналіз; причинно-наслідкова і потокова діаграми; деліберативні методи прийняття рішень.

Вступ. В умовах експоненційно наростаючої втрати якості довкілля (Steffen et al., 2011) та зміни клімату (Hansen et al., 2016) проблема забезпечення вищої ефективності, інклюзивності та екологічності енергетичного сектора – так званого процесу енергетичного переходу – набуває особливої ваги як у наукових дослідженнях, так і в політиці (Droege,

2011, Hansen & Sato, 2016). Імператив глобальної зміни клімату змушує громадянське суспільство і бізнес, політиків і науковців до пошуку шляхів трансформування наявних енергетичних систем, які є високоцентралізованими, вуглецемісткими і породжують енергетичну бідність (Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017).

¹ Загвойська Людмила Дмитрівна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат економічних наук, доцент кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-050-371-44-29. E-mail: lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua ORCID:<https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>

² Блецка Ольга Василівна – магістр з економіки довкілля і природних ресурсів. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-068-532-70-37; E-mail: olyakhust@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0467-8068>

Підписання кліматичних угод у Кіото (1997), а згодом у Парижі (2015) дало поштовх цьому процесу, але водночас показало обмеженість впливу міжнародних і національних інституцій на нього. І хоч на рівні окремих регіонів і країн маємо достатньо переконливі приклади, такі як стратегія розвитку ЄС 2020, наднаціональні енергетичні ініціативи скандинавських країн (Grigoryeva et al., 2018), національні енергетичні ініціативи Бразилії та Франції (Solomon & Krishna, 2011), місцеві енергетичні ініціативи в Німеччині і Нідерландах (Hoppe et al., 2015, Moss et al., 2015) та інші, все-таки необхідність інтенсифікації процесів переходу очевидна (Solomon & Krishna, 2011).

Дослідження цих процесів базуються на різних теоретичних підходах. Зокрема, van der Kroon et al. (2013) веде дослідження з позицій економіки домашніх господарств, вибудовуючи свої міркування щодо поведінки на ринку енергетичних послуг на неокласичній концепції раціонального споживача, який максимізує свою корисність, і, будучи добре поінформованим про всі технології та їхні впливи, вибудовує власну енергетичну драбинку, керуючись особистими вигодами. Зважаючи на обмеженість цього підходу (Simon, 1997, Zahvoyska & Pelyukh, 2019, Bauwens et al., 2016) будують свої дослідження на концепції соціальних екологічних систем, запропонованій McGinnis & Ostrom (2014), що дає змогу органічно поєднати діяльність індивіда в певному соціально-екологічному контексті, його суб'єктність, здатність до дії (*agency*) та інституціональний, біофізичний і технічний контекст перетворень (Stirling, 2014).

Світовий досвід підказує, що зміна головних енергетичних ресурсів відбувається десятиліттями, якщо уряд визнає і підтримує цей національний імператив (Solomon & Krishna, 2011), тоді як причиною млявих і незлагоджених змін є складність і багатоаспектність проблеми (Loorbach, 2010, Zahvoyska, 2005). Нексус енергетичного переходу охоплює питання ефективності власності, довкілля, технічні, соціальні, правові, організаційні та інші аспекти, регіональні та локальні контексти, а також питання ефективності взаємодії стейкхолдерів.

Ці особливості рельєфно виявляються у дослідженні енергетичного переходу в житловому секторі – широкомасштабному процесі соціальних, технічних і довкілних змін. Важливість досліджень цього процесу посилюється тим, що він дає змогу подолати проблему енергетичної бідності, тобто неможливості домашніх господарств забезпечити соціально та матеріально необхідний їм рівень енергетичних послуг (Bridge et al., 2013), а також забезпечити перехід до сталого використання відновних джерел енергії, зокрема деревної біомаси, що стримує зміну клімату.

Тоді як процеси енергетичного переходу, їхні особливості, рушії і перешкоди досліджені на регіональному і національному рівнях для різних країн ЄС (Solomon & Krishna, 2011, Moss et al., 2015, Hoppe et al., 2015, Ericsson & Werner, 2016, Grigoryeva et al., 2018), в Україні такі дослідження поодинокі й обмежені рамками дисциплінарних підходів (Havrysh,

2008, Pastukh, 2016, Stoyko, 2018, Zahvoyska et al., 2007, Zinchenko, 2013).

Усі ці виклики: невідкладна необхідність переходу енергетичного сектора до відновних ресурсів, трансформування наявної енергетичної системи у децентралізовану і низьковуглецеву, ширше залучення місцевих громад до вирішення питань задоволення енергетичних потреб і подолання проблеми енергетичної бідності – актуалізують тему цього дослідження і роблять питання моделювання процесів енергетичного переходу важливими і невідкладними. Завданням цього дослідження є формування елементів організаційно-економічного забезпечення процесу енергетичного переходу в Україні.

Об'єкт і методика дослідження. *Об'єктом дослідження* є процес енергетичного використання деревної біомаси населенням. *Предмет дослідження* – організаційно-економічне забезпечення енергетичного використання деревної біомаси в житловому секторі на засадах сталого розвитку. *Мета дослідження* полягає у розвитку організаційно-економічного забезпечення, розробленні імітаційних моделей для дослідження процесу і надання рекомендацій для забезпечення ефективного переходу до сталого енергетичного використання деревної біомаси у житловому секторі.

Хоча перші енергетичні кооперативи виникли ще на початку XX ст. у США, в європейських країнах кооперативи з відновлюваної енергетики почали поширюватися порівняно нещодавно. У 2011 р. було створено робочу групу з питань енергетики і довкілля в рамках *Cooperatives Europe* для розроблення загальної стратегії і заходів інтенсифікації процесу.

Енергетичний кооператив – це об'єднання громадян, яке створене для забезпечення їхніх енергетичних потреб (як індивідуальних, так і спільних), зокрема: задоволення власних потреб в електроенергії, теплі чи паливі; фінансування витрат на придбання енергогенеруючого обладнання або отримання аудиторських послуг для підвищення енергоефективності будівель; консультування з питань використання відновних джерел енергії тощо (Zinchenko, 2013). Спільна власність дає змогу членам кооперативу поділяти ризики неуспіху ініційованих кооперативом проектів усіма його членами, а також підвищувати ефективність його діяльності порівняно з ефективністю індивідуальної діяльності завдяки ефекту масштабу. У практиці Австралії, Данії, Німеччини, США та інших країн маємо переконливі приклади придбання енергетичними кооперативами вітрових турбін, сонячних панелей, обладнання для гідроелектростанцій та ін. на локальному і регіональному рівнях (Schreuer & Weismeier-Sammer, 2010, Bauwens et al., 2016, Bouzarovski & Tíradó Herrero, 2017, Grigoryeva et al., 2018).

Енергетичні кооперативи є дієвим інструментом інтенсифікації процесу енергетичного переходу. Однак для його застосування необхідні відповідна законодавча підтримка, як це було, наприклад, в Австро-Угорщині, коли прийняття закону «Про

кооперативні товариства» у 1873 р. дало поштовх до розвитку кооперативного руху в усій країні. Зокрема, на території Західної України особливо успішні кооперативні бізнес-моделі були в сільському господарстві, чому сприяла підтримка з боку греко-католицької церкви та особисто митрополита А. Шептицького (Prokop, 2010). Започаткування української кооперації потребувало відповідної економічної та агрономічної навченості, що стимулювало підвищення якості соціального капіталу. Згодом цей економічний успіх забезпечив підґрунтя українського національно-визвольного руху на цих теренах.

Процеси трансформації енергетичного сектора сьогодні відбуваються в синергії з процесами економічної та екологічної глобалізації і формування глобальних соціальних мереж, що помітно сприяє поширенню екоінноваційних практик у світі (Zahvoyska, 2014). Ця динаміка нелінійна і поширюється вона нерівномірно: існує сильна залежність від раніше прийнятих рішень, соціально-економічного та інституціонального контекстів, глибини і системності охоплення різних сфер суспільної діяльності трансформаційними процесами (Loorbach 2010, Bouzarovski & Tirado Herrero, 2017). Тому дослідження цих соціальних, технічних і довкілних змін потребує використання нових методів і підходів, які відображають синергетичний характер проблеми (Zahvoyska, 2013, Stirling, 2014). Охопити весь спектр питань, які породжує цей процес, достатньо складно, оскільки енергетичний сектор має тісні зв'язки з усіма сферами діяльності людини, а енергетична безпека є одним із пріоритетів сталого розвитку. Аналітичні інструменти і методи обґрунтування управлінських рішень мають бути чутливими до зміни цінностей, пріоритетів і критеріїв прийняття рішень.

Одним із таких інструментів є підхід системної динаміки (Meadows et al., 1972, Sterman, 2000). Системно-динамічні моделі зазвичай розглядають макроскопічний рівень економічних чи соціальних систем і використовують для цього лише одного агента з порівняно невисоким рівнем складності структури. У контексті парадигми системної динаміки досліджувану систему представляють на високому рівні абстракції – як взаємопов'язані процеси зі зворотними (підсилюючими чи балансуєчими) зв'язками або як потоки, запаси і накопичувачі, які відображають взаємодію елементів системи.

Перевага методів системної динаміки, порівняно з іншими методами імітаційного моделювання, полягає в можливості дослідити траєкторії і час, необхідний для досягнення бажаного рівня розвитку, тобто процеси руйнування наявного і формування нового рівноважного стану. Обмеженням підходу є його принципова неадаптивність – рівняння і зворотні зв'язки в моделях системної динаміки є структурними, вони формуються ще на етапі постановки задачі, тож можливість їх виникнення значною мірою контролюється варіацією значень параметрів моделі.

Для дослідження та моделювання процесу енергетичного переходу ми використали причинно-наслідкову та потокову діаграми. Причинно-наслідкові діаграми – головний інструмент системної динаміки – використовують для якісного аналізу процесів і систем, насамперед – для візуалізації проблеми, пошуку й апробації можливих рішень, залучення стейкхолдерів до деліберативного прийняття рішень (Rauschmayer & Wittmer, 2006, Stave & Kopainsky, 2015, Fedoruk & Zahvoyska, 2018). Потокові діаграми використовують для кількісного аналізу. Їх формують на базі диференціальних рівнянь, які описують зміни потоків і запасів, і застосовують для аналізу характеру змін у системах за різних початкових умов з метою пошуку оптимальних рішень. Параметризацію потокової діаграми виконано за результатами регресійного аналізу макроекономічних даних.

Для розуміння та управління процесом переходу до сталого використання деревної біомаси в житловому секторі виконано SWOT-аналіз і запропоновано SWOT-стратегії, для апробації яких використано причинно-наслідкову діаграму. Інструментальним середовищем моделювання слугувала програма AnyLogic (Karrov, 2009).

Результати та обговорення. Для візуалізації логіки виникнення і перебігу процесу енергетичного переходу ми побудували системно-динамічну модель, а саме – діаграму причинно-наслідкових зв'язків із петлями зворотного зв'язку (рис. 1). Ця модель складається з двох блоків: концептуального, який відображає логіку досліджуваного процесу, та операційного, який описує розвиток енергетичних кооперативів. Зв'язки між елементами цієї моделі показано стрілочками. Знак «+» означає прямий, посилюючий зв'язок між змінними (**R**), а знак «-» – балансуєчий (**B**).

Перший блок причинно-наслідкової моделі відображає логіку виникнення зміни клімату та її подолання з використанням балансуєчого зворотного зв'язку: усталене бачення причини зміни клімату полягає в неефективності домінуючої енергетичної парадигми та енергетичних систем, що призводить до надмірного використання викопного палива, викидів парникових газів, а відтак – у нагріванні навантаження на довкілля. Що більші ці навантаження, то більш відчутна зміна клімату, її вплив на добробут, зокрема безпеку населення (продовольчу, енергетичну та ін.), на розвиток таких галузей економіки, як сільське і лісове господарство, транспорт, страховий сектор тощо. Що більші ці екодеструкції, то більша увага національних урядів і міжнародних громадських організацій до причин виникнення цих змін. Ці запити знаходять відображення в наукових дослідженнях і, зрештою, через певний час приводять до ефективних рішень, зокрема: міжнародних угод, національних зобов'язань, правових та економічних інструментів, інформаційних заходів, освітніх програм тощо.

Цей балансуєчий цикл можна розглядати як на національному, так і на регіональному (місцевому)

рівнях, які відрізняються характером і масштабом заходів. Зокрема, на регіональному рівні йдеться про організаційно-економічні заходи, такі як регіональні програми, фонди, заходи самоорганізації громади для протидії викликам, наприклад, енергетичні кооперативи. Тож маємо дві балансуєчі петлі в концептуальному блоці системно-динамічної моделі.

Другий блок моделі має операційний характер і дає змогу простежити процес формування і розвитку енергетичних кооперативів. У ньому показані акселератори росту (Karpov, 2009, Katalevsky, 2011), які описують ефект акумулювання знань і компетенцій, масштабу виробництва, а також поширення інновацій, як наприклад, створення енергетичних кооперативів. Це самопідсилювані зв'язки.

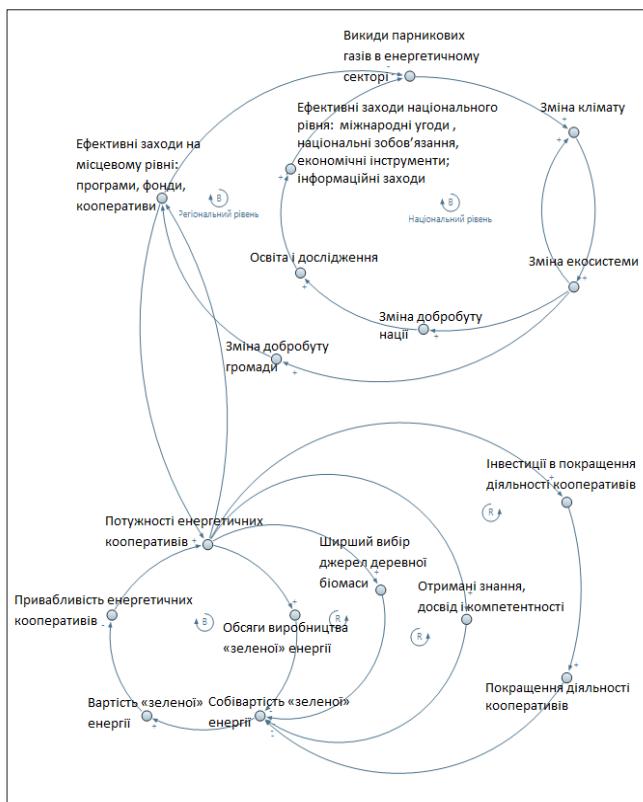


Рис. 1. Причинно-наслідкова діаграма процесу енергетичного переходу

Між обома розглянутими блоками цієї моделі існує зворотний зв'язок: самі кооперативи, які спеціалізуються на виробництві енергії з деревної біомаси, виникають внаслідок актуалізації проблеми енергетичного переходу, а їхнє успішне функціонування сприяє інтенсифікації цього процесу.

Для дослідження процесу формування кооперативів ми використали модель поширення інновацій (Bass, 1980) та модель системної динаміки інновацій (Sternman, 2000, Borshchev & Filippov, 2004, Karpov, 2009, Katalevsky, 2011). Ця модель теж має два цикли: балансуєчий, який описує насиченість ринку, та самопосилюваний, який описує інформування про інновації самими членами енергетичних кооперативів. Для балансуєчого циклу врахована

ефективність реклами, а для самопосилюваного – кількість контактів, якість інституцій і самі позитивні відгуки.

Для параметризації цієї моделі проведено кореляційно-регресійний аналіз впливу інституційно-економічних чинників на успішність енергетичних кооперативів. Для цього ми використали макроекономічні показники, запропоновані Світовим Економічним Форумом (WEF, 2018), які агреговані в індексі глобальної конкурентоспроможності і характеризують сприятливість середовища для ведення бізнесу, якість людського капіталу, ринки та екосистеми інновацій. За результатами кореляційного аналізу з 11 макроекономічних показників (табл. 1) було відібрано ті, які мали найвищий коефіцієнт кореляції із залежною змінною Y:

Y – наявність енергетичних кооперативів: 1 – наявні; 0 – відсутні;

X1 – інституції (частота появи фактів корупції, захист інтелектуальної власності, якість управління земельними ресурсами, надійність служб поліції і т. ін.);

X2 – ринок збуту (конкуренція у сфері послуг, поширеність нетарифних бар'єрів, складність тарифів, відкритість торгівлі послугами);

X3 – фінансова система (ринкова капіталізація, кредитний дефіцит, наявність венчурного капіталу і т. ін.);

X4 – інноваційні можливості (різноманітність робочої сили, співпраця з багатьма сторонами, наукові публікації, патентні заявки і т. ін.).

Для створення бази даних дослідження ми відібрали країни-сусіди України, які мають подібний досвід формування енергетичної політики та інституційно-особливості, насамперед – країни Вишеградської четвірки, а також країни з досвідом створення енергетичних кооперативів: Австрія, Великобританія, Данія, Німеччина, США, Швеція, Естонія, Іспанія. Результати описативного аналізу цих даних (табл. 2) відображають скромний успіх України у формуванні бізнес-середовища.

Методом найменших квадратів побудовано статистично значущу ($p > 0,99$) багатофакторну регресійну модель (1), однак жоден із її регресорів не був статистично значущим навіть з імовірністю $p \geq 0,9$:

$$y = 0,041 \cdot X_1 - 0,045 \cdot X_2 - 0,008 \cdot X_3 + 0,021 \cdot X_4 + 0,046 \quad (1)$$

(1,573) (-1,062) (-0,361) (1,158) (0,028)

$$F_{\text{розрах}} = 6,155; F_{0,95; 4; 11} = 3,357; R^2 = 0,691;$$

$$t_{0,9; 16-4-1} = 3,106.$$

Застосовувавши покроковий метод для уникнення мультиколінеарності, отримуємо парну регресійну модель (2):

$$y = 0,0397 \cdot X_1 - 1,9737. \quad (2)$$

(4,9801) (-3,83)

$$F = 24,8; R^2_{\text{скориг}} = 0,61; t_{0,95; 16-1-1} = 2,14$$

Таблиця 1

Макроекономічні показники, які формують індекс глобальної конкурентоспроможності країн 4.0

Країна	1. Сформованість інституцій (0-100 max)	2. Інфраструктура (0-100 max)	3. Впровадження ІКТ (0-100 max)	4. Макроекономічна стабільність (0-100 max)	5. Навички (0-100 max)	6. Ринок збуту (0-100 max)	7. Ринок праці (0-100 max)	8. Фінансова система (0-100 max)	9. Стан ринку (0-100 max)	10. Динаміка бізнесу (0-100 max)	11. Інноваційні можливості (0-100 max)	Наявність енергетичних кооперативів (1-так / 0-ні)
	X1	–	–	–	–	X2	–	X3	–	–	X4	Y
Австрія	72,7	88,3	64,7	100,0	78,4	66,5	67,3	72,9	64,3	69,9	74,3	1
Албанія	53,9	57,3	52,3	70,0	68,7	57,0	68,4	51,3	39,2	64,1	31,7	0
Великобританія	77	89	71	100,0	80,0	69,0	76,0	88,0	82,0	79,0	79,0	1
Данія	75,9	86,3	82,3	100,0	84,9	66,9	78	85,8	59,6	79,1	75,4	1
Естонія	70,0	75,0	77,0	100,0	78,0	65,0	69,0	66,0	42,0	69,0	53,0	1
Іспанія	64,0	89,0	74,0	90,0	71,0	62,0	59,0	75,0	77,0	66,0	63,0	1
Німеччина	73,5	90,2	69,3	100,0	85,4	72	74,1	80,2	85,8	81,6	87,5	1
Польща	57,1	79,3	54,4	100,0	72,9	61,2	59,8	63,4	73,4	61,5	48,7	0
Румунія	58,1	71,2	67,1	89,2	61,8	57,3	60,7	51,9	64,7	60,1	39,6	0
Сербія	51,6	73	56,9	75,0	67,5	56,5	61,5	55,9	50,7	60,9	39,7	0
Словаччина	56,4	77,6	67,8	99,9	68,6	55	60,2	63,7	57,7	64,5	46,6	0
США	74,6	89,5	71,2	99,6	86,3	73,8	81,9	92,1	99,2	86,5	86,5	1
Угорщина	54,0	78,0	61,0	90,0	68,0	54,0	58,0	60,0	62,0	57,0	48,0	1
Україна	46,3	70,1	51,0	55,9	68,9	55,3	59,5	48,7	62,7	55,3	39,0	0
Чехія	60,0	84,0	66,0	100,0	74,0	60,0	63,0	67,0	65,0	70,0	57,0	0
Швеція	76,0	84,0	85,0	100,0	84,0	69,0	71,0	89,0	65,0	80,0	80,0	1

Джерело даних: WEF (2018).

Таблиця 2

Описова статистика початкових даних дослідження впливу факторів на формування енергетичних кооперативів

Назва	Сформованість інституцій (0-100 max)	Ринок збуту (0-100 max)	Фінансова система (0-100 max)	Інноваційні можливості (0-100 max)	Наявність енергетичних кооперативів (1 – так, 0 – ні)
	X1	X2	X3	X4	Y
1	2	3	4	5	6
Середнє значення	63,82	62,53	69,43	59,31	0,56
Станд. похибка	2,58	1,61	3,59	4,67	0,13
Медіана	62,00	61,60	66,50	55,00	1,00
Мода	–	69,00	–	–	1,00
Станд. відхилення	10,31	6,46	14,36	18,69	0,51
Дисперсія	106,24	41,72	206,22	349,47	0,26

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5	6
Ексцес	-1,54	-1,27	-1,26	-1,48	-2,22
Асиметрія	-0,08	0,28	0,19	0,20	-0,28
Діапазон	30,70	19,80	43,40	55,80	1,00
Мінімум	46,30	54,00	48,70	31,70	0,00
Максимум	77,00	73,80	92,10	87,50	1,00
Україна	46,3	55,3	48,7	39,0	0

Джерело: авторські розрахунки за (WEF, 2018)

З імовірністю $p = 0,95$ вона показує, що лише змінна $X1$ – ефективність інституцій – є статистично значущим чинником успішності енергетичних кооперативів: покращення якості діяльності інституцій на один пункт підвищує успішність кооперативів на чотири пункти. Тож цю змінну ($X1$) потрібно врахувати в потоковій діаграмі (рис. 2). Однак, нагадаємо, що за цим показником Україна має дуже слабку позицію (див. табл. 2): 110-те місце в рейтингу 140 країн.

Позиціонування аналізованих країн за двома ознаками: сформованість інституцій ($X1$) і наявність енергетичних кооперативів (Y) відносно середніх значень цих величин (див. табл. 2) показало наявність трьох кластерів:

- 1) країни з середнім (Іспанія) і вище від середнього (Естонія, Австрія, Німеччина, США, Данія, Швеція і Великобританія) рівнями розвитку інституцій. В усіх цих країнах енергетичні кооперативи успішні;
- 2) країни з рівнем розвитку інституцій нижче від середнього (Чехія, Румунія, Польща, Словаччина, Албанія, Сербія та Україна), в яких енергетичні кооперативи відсутні або слабкі;
- 3) і лише Угорщина з рівнем сформованості інституцій нижче від середнього має позитивний

досвід функціонування енергетичних кооперативів.

Тож енергетичні кооперативи – це той ефективний інструмент, який трансформує довіру економічних агентів та якісне бізнес-середовище у дієвий механізм переходу до більш децентралізованої й екологізованої моделі енергетичної системи, яка використовує насамперед місцеві ресурси і забезпечує задоволення енергетичних потреб місцевих громад. У разі відмови від викопного палива і переходу до сталого використання біомаси енергетичний кооператив може отримати додаткові вигоди: від можливості отримання безвідсоткової позики чи гранту – до «зеленого тарифу» за вироблену електроенергію і тепло. І такі вигоди можуть бути суттєвими.

Керуючись дослідженнями інших учених і результатами власних досліджень, проведених у м. Борислав, ми прийняли такі значення для параметрів потокової моделі (див. рис. 2): 8,5 тис. потенційних членів кооперативів-власників житлових приміщень; коефіцієнт урахування впливу джерел заохочення становить 0,011, позитивних відгуків – 0,015; вплив інституцій за результатами регресійного аналізу оцінили як 0,039; прийняли, що між членами кооперативів і потенційними учасниками відбувається 25 контактів щороку.

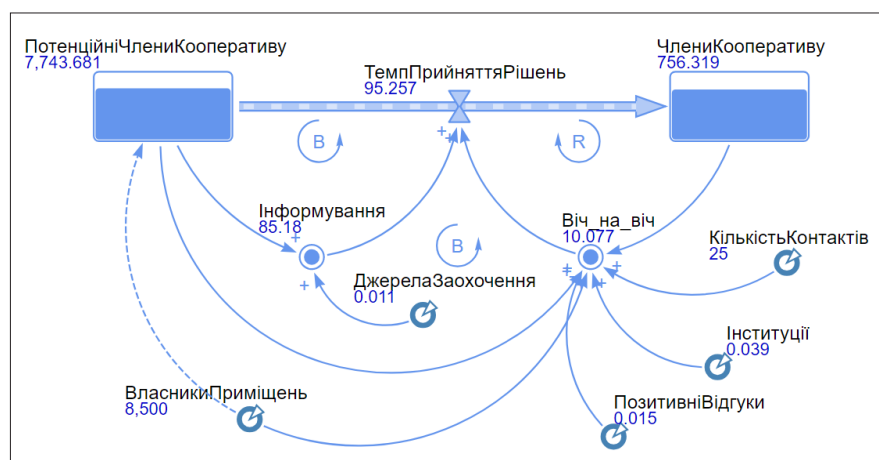


Рис. 2. Параметризована потокова діаграма моделі поширення екоінновацій.

Час моделювання – 8 років; коефіцієнт впливу джерел заохочення 0,011

Джерело: авторська розробка за (Bass, 1980, Sterman, 2000, Borshchev&Filippov, 2004, Karpov, 2009, Katalevsky, 2011)

Розвиток кооперативів описує змінна *ТемпПрийняттяРішень*. За результатами моделювання бачимо, що через 8 років кількість членів кооперативів складатиме лише 756 осіб, тобто 8,9% власників помешкань міста. Це означає, що інформування через джерела заохочення чинитиме більший вплив на процес прийняття рішень, ніж відгуки членів енергетичних кооперативів. Таку ситуацію можна пояснити тим фактом, що сам процес переходу відбувається повільно, насамперед – через неефективність інституцій. Разом із тим, за результатами проведеного нами опитування населення м. Борислав 18,1% респондентів знайомі з концепцією енергетичних кооперативів, а 21,7% цих респондентів готові вкласти власні кошти в їхній розвиток. Близько половини опитаних (44,6%) бажають змінити системи опалення у своїх помешканнях, що значно простіше зробити членам кооперативів. 8,3% респондентів вважають ефективним використання дров для опалення. Деякі респонденти прямо вказували на неефективність інституцій як передумову млявого перебігу процесу створення енергокооперативів.

Зазначимо, що довіра до державних і громадських інституцій, прозорість і передбачуваність їхньої економічної поведінки є важливими передумовами для формування енергетичних кооперативів, які зможуть без патерналістичного сподівання на державу забезпечувати себе та інших енергетичними ресурсами і послугами, створюючи при цьому «зелені» робочі місця і нову якість життя.

Отже, результати моделювання та опитування показують зацікавленість і принципову можли-

вість реалізації ідеї енергетичних кооперативів в інституціональному макросередовищі України. Проте процес їхнього формування відбувається доволі мляво. Тож для розуміння рухів і перешкод цього процесу ми провели SWOT-аналіз (Rauch et al., 2015), результати якого (табл. 3) стали підґрунтям для формування SWOT-стратегій розвитку досліджуваного процесу.

Для перевірки обґрунтованості й ефективності запропонованих SWOT-стратегій ми використали причинно-наслідкову модель процесу енергетичного переходу (див. рис. 1), яка послужила інструментом для пошуку відповідей на тестові запитання типу «*what-if*» (Bennich et al., 2018, Fedoruk & Zahvoyska, 2018). Результати цього моделювання (табл. 4), яке забезпечило цілісне охоплення різноманіття взаємовпливів ідентифікованих процесів, дали змогу виявити перешкоди, які можуть виникнути у запропонованих нами SWOT-рекомендаціях, їхні потенційні небажані наслідки, невизначеність, яку потрібно ще дослідити, а також запропонувати додаткові важелі впливу на процес.

Виявлені небажані можливі наслідки запропонованих рекомендацій потребують окремого аналізу і прийняття рішень для їх запобігання, оскільки вони можуть заблокувати процес. Особливої уваги у цьому контексті потребують питання забезпечення відповідності вимогам сталого лісокористування. Запропоновані додаткові важелі впливу є інструментом спрямування енергетичного переходу в бажаному напрямі.

Таблиця 3

Результати SWOT-аналізу практики використання деревної біомаси на прикладі м. Борислав

Сильні позиції (<i>Strengths</i>)		Слабкі позиції (<i>Weaknesses</i>)	
Внутрішні	- S1 / Велика пропозиція деревної біомаси, оскільки місто має комунальний ліс - S2 / Наявний досвід використання деревної біомаси у нежитловому секторі міста - S3 / Підтримка переходу на деревну біомасу з боку місцевої влади - S4 / Готовність громади до співпраці задля суспільної вигоди – реалізації енергетичного переходу - S5 / Зменшення витрат населення на опалення завдяки реалізації енергетичного переходу		- W1 / Відсутність ефективного стимулу на законодавчому та економічному рівнях для активізації енергетичного переходу - W2 / Відсутність державного фінансування цього процесу - W3 / Необізнаність населення у питаннях енергетичної ефективності і переходу - W4 / Відсутність якісної лісозаготівельної техніки для перероблення відходів деревини - W5 / Сильна конкуренція деревної біомаси з викопним паливом, несформовані ринки - W6 / Великі викиди NO₂ у повітря внаслідок спалювання деревини - W7 / Несертифікованість деревного палива на ринках
Можливості (<i>Opportunities</i>)		Загрози (<i>Threats</i>)	
Зовнішні	- O1 / Посилення тенденцій процесу енергетичного переходу в світі - O2 / Світовий досвід функціонування енергетичних кооперативів і проєктів - O3 / Поява технологій і бізнес-моделей ефективної утилізації деревних відходів		- T1 / Велика пропозиція дешевого супутнього газу - T2 / Загроза надмірного використання деревних ресурсів - T3 / Невпевненість населення в дієвості енергетичних кооперативів

Зовнішні (продовження)	• O4 / Залучення зарубіжних інвесторів до енергетичного переходу в Україні • O5 / Більша площа комунального лісу • O6 / Розгортання місцевого виробництва деревних пелет і брикетів • O7 / Зростання обсягів споживання пелет місцевого виробництва (м. Дрогобич) • O8 / Комбінування деревної біомаси з іншими відновлюваними джерелами енергії	• T4 / Відсутність коштів у населення • T5 / Наявність субсидій на опалення, які перешкоджають реалізації переходу на відновні джерела енергії • T6 / Підвищення ціни на деревину • T7 / Конкуренція в доступі до енергетичної деревини • T8 / Виникнення нових енергетичних технологій і альтернативного використання деревини

Джерело: авторська розробка за результатами опитування.

Варті особливої підтримки виникаючі синергії у покращенні якості різних форм капіталу. Пильнішу увагу потрібно звернути на вимушені компроміси ресурсокористування, причини й умови їх досягнення. Визначальними чинниками успішної реалізації переходу постають суб'єктність стейкхол-

дерів, їхня готовність діяти, знання і вміння, а також ефективність інституцій і взаємоузгодженість влади, декларованої нею відповідальності і реальних дій. Ці висновки узгоджуються з результатами досліджень інших учених (Stirling, 2014).

Таблиця 4

Тестування SWOT-стратегій покращення використання деревної біомаси в житловому секторі м. Борислав з увагою на енергетичні кооперативи

Запитання для тестування рекомендованих заходів	Бажаний результат	Потенційні небажані наслідки	Додаткові важелі впливу	Невизначеності та приклади пов'язаних запитань
1	2	3	4	5

Рекомендація 1. Агресивна, SO стратегія. Використання власного досвіду і потенціалу, а також ресурсів міжнародних програм і фондів для забезпечення правової, економічної та інформаційної підтримки енергетичного використання деревної біомаси в житловому секторі міста з узгодженням економічних, соціальних та екологічних цілей, зокрема і шляхом створення енергетичних кооперативів

1. Що дасть синергія цих зусиль і ресурсів?	– Часткова реалізація цілей енергетичного переходу	– Через зниження ціни «зеленої» енергії може зрости споживання – Низька якість інституцій може унеможливити виникнення кооперативів	– Державне стимулювання і фінансова підтримка – Міжнародна підтримка	– Чи будуть стійкими ці кооперативи в майбутньому, коли закінчатимуться проекти чи гранти?
---	--	--	---	--

Рекомендація 2. Конкурентна, WO-стратегія. Формування ринкової та консультаційної інфраструктури, розроблення і запровадження екоінноваційних (кооперативних) бізнес-моделей і технологій ефективнішого використання деревних відходів у житловому секторі

2. Що дасть формування цієї інфраструктури?	– Конкурентний доступ до біомаси – «Зелені» робочі місця – Виконання міжнародних зобов'язань Україною	– Відсутність державного фінансування ускладнить перехід – Значні обсяги споживання деревної біомаси збільшать викиди NO₂	– Підтримка на законодавчому та економічному рівнях	– Чи буде ефективна ця інфраструктура, і чи не буде вона корумпована?
---	---	---	---	---

1	2	3	4	5
Рекомендація 3. Консервативна, ST-стратегія. Сприяння співпраці держави і громади в питаннях активізації процесу енергетичного переходу				
3. Що дасть залучення громади до процесу енергетичного переходу?	– Синергія інтересів громади і держави – Деліберативне прийняття рішень	– Можливе надмірне використання лісових ресурсів	– Спілкування зацікавлених осіб, краще розуміння інтересів інших	– Чи змінить громада своє рішення, досягнувши мети?
Рекомендація 4. Запобіжна, WT-стратегія. Екологізація економічної, освітньої і наукової діяльності, коригування системи цінностей, критеріїв та інститутів				
4. Що дадуть процеси екологізації економіки та освіти?	– Холістичне розуміння і вирішення проблеми енергетичного переходу	– Відсутність попиту на деревну біомасу через високі ціни	– Обізнаність населення сприяє ефективності його діяльності	– Обмін досвідом з кооперативами в інших регіонах

Джерело: авторська розробка за результатами SWOT-аналізу і моделювання.

Висновки. У сучасному соціо-еколого-економічному контексті для України пріоритетним завданням є здійснення енергетичного переходу, одним із аспектів якого є забезпечення енергетичного використання деревної біомаси у житловому секторі на засадах сталості. Проте цей процес має дифузний характер і зачіпає низку взаємопов'язаних процесів у різних сферах життєдіяльності: соціальній, екологічній, економічній, технічній, освітній та ін. Тому моделювання цього процесу потребує холістичного розуміння складної динаміки ініційованих змін і відповідних інструментів її дослідження, одним із яких є системна динаміка.

Запропоновані нами елементи механізму організаційно-економічного забезпечення – причинно-наслідкова діаграма процесу енергетичного переходу та потокова діаграма процесу формування енергетичних кооперативів – виявилися ефективними для ідентифікації, візуалізації та системного аналізу нексусу енергетичного переходу. Набутий досвід побудови цих моделей підказує, що ці моделі легко піддаються деталізації та коригуванню, відображають (конфліктуючі) позиції стейкхолдерів і забезпечують підґрунтя для застосування деліберативних методів прийняття рішень, що важливо для вирішення проблем на засадах постнекласичної наукової парадигми.

Здійснений аналіз показав складність досліджуваного процесу і різноманіття шляхів його імплементації, недостатність та обмеженість технологічних рішень. Для розуміння цінності запропонованих рішень важливо врахувати той факт, що запропоновані SWOT-стратегії інтенсифікації процесу енергетичного переходу можуть створювати ефекти синергії з іншими заходами, або блокувати бажані зміни. Тому невизначеність, притаманна досліджуваним процесам і системам, забезпечує широке поле для

подальших досліджень шляхів і засобів забезпечення енергетичного переходу в житловому секторі, можливо, з використанням запропонованих нами системно-динамічних моделей, які виявилися ефективними засобами пізнання та управління.

Acknowledgement. The research were conducted under the Swiss-Ukrainian project «Identifying Green Energy Options for the Ukrainian Carpathians from a biophysical and socioeconomic perspective», funded by the Swiss Secretariat for Research, Education and Innovation and run by Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research WSL and Ukrainian National Forestry University.

References

- Bass, F. M. (1980). The relationship between diffusion rates, experience curves, and demand elasticities for consumer durable technological innovations. *Journal of business*, 53 (3), 51-67. [http://0021-9398/80/5332-0009\\$01.50](http://0021-9398/80/5332-0009$01.50)
- Bauwens, T., Gotchev, B., & Holstenkamp, L. (2016). What drives the development of community energy in Europe? The case of wind power cooperatives. *Energy Research & Social Science*, 13, 136-147. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2015.12.016>
- Bennich, T., Belyazid, S., Kopainsky, B., & Diemer, A. (2018). The bio-based economy: Dynamics governing transition pathways in the Swedish forestry sector. *Sustainability*, 10 (4), 976. <https://doi.org/10.3390/su10040976>
- Borshchev, A., & Filippov, A. (2004, July). From system dynamics and discrete event to practical agent based modelling: reasons, techniques, tools. In *Proceedings of the 22nd international conference of the system dynamics society* (Vol. 22). Oxford,

- England. <http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.511.9644&rep=rep1&type=pdf>
- Bouzarovski, S., & Tirado Herrero, S. (2017). The energy divide: Integrating energy transitions, regional inequalities and poverty trends in the European Union. *European Urban and Regional Studies*, 24 (1), 69-86. <https://doi.org/10.1177/0969776415596449>
- Bridge, G., Bouzarovski, S., Bradshaw, M., & Eyre, N. (2013). Geographies of energy transition: Space, place and the low-carbon economy. *Energy policy*, 53, 331-340. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2012.10.066>
- Droege, P. (Ed.) (2011). *Urban energy transition: From fossil fuels to renewable power*. Elsevier: Amsterdam, Boston, Heidelberg, London ...
- Ericsson, K., & Werner, S. (2016). The introduction and expansion of biomass use in Swedish district heating systems. *Biomass and bioenergy*, 94, 57-65. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2016.08.011>
- Fedoruk, M., & Zahvoyska, L. (2018). Modeling the process of ecologization investments in energy saving in residential and public buildings of cities by using the method of system dynamics. *Journal of European Economy*, 17 (3), 333-345. <https://doi.org/10.35774/jee2018.03.333>
- Grigoryeva, A., Hesamzadeh, M.R., & Tangeras, T. (2018). Energy System Transition in the Nordic Market: Challenges for Transmission Regulation and Governance. *Economics of Energy & Environmental Policy*, 7 (1), 127-147. <https://doi.org/10.5547/2160-5890.7.1.agri>
- Hansen, J., & Sato, M. (2016). Regional climate change and national responsibilities. *Environmental Research Letters*, 11 (3), 034009. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1748-9326/11/3/034009>
- Hansen, J., Sato, M., Hearty, P., Ruedy, R., Kelley, M., Masson-Delmotte, V., ... & Velicogna, I. (2016). Ice melt, sea level rise and superstorms: evidence from paleoclimate data, climate modelling, and modern observations that 2 C global warming could be dangerous. *Atmospheric Chemistry and Physics*, 16 (6), 3761-3812. <https://doi.org/10.5194/acp-16-3761-2016>
- Havrysh, V.I. (2008). Economic bases of formation of agricultural cooperatives of fuel and energy orientation. *AgroInKom*, 1-2, 40-44 (in Ukrainian).
- Hoppe, T., Graf, A., Warbroek, B., Lammers, I., & Lepping, I. (2015). Local governments supporting local energy initiatives: Lessons from the best practices of Saerbeck (Germany) and Lochem (The Netherlands). *Sustainability*, 7 (2), 1900-1931. <https://doi.org/10.3390/su7021900>
- Karpov, Yu. G. (2009). *Simulation of systems*. Introduction to modelling with AnyLogic 5 BHV-Peterburg, St.Petersburg (in Russian).
- Katalevsky, D.Y. (2011) *The fundamentals of simulation and systems analysis in management*. Moscow: Moscow University (in Russian).
- Loorbach, D. (2010). Transition management for sustainable development: a prescriptive, complexity-based governance framework. *Governance*, 23 (1), 161-183. <http://transitionacademy.nl/content/uploads/2016/07/Literatuur-Derk-Loorbach-7-Transition-management-for-sustainable-development-a-prescriptive-complexity-based-governance-framework.pdf>
- McGinnis, M., & Ostrom, E. (2014). Social-ecological system framework: initial changes and continuing challenges. *Ecology and Society*, 19 (2). <http://dx.doi.org/10.5751/ES-06387-190230>
- Meadows, D.H., Meadows, D.L., Randers, J., & Behrens, W.W. (1972). *The limits to growth*. New York: Universe Books
- Moss, T., Becker, S., & Naumann, M. (2015). Whose energy transition is it, anyway? Organisation and ownership of the *Energiewende* in villages, cities and regions. *Local Environment*, 20 (12), 1547-1563. <https://doi.org/10.1080/13549839.2014.915799>
- Pastukh, A. (2016). Creation of energy co-operatives in Ukraine: legal aspects. Presentation at the seminar «Bioenergy village – energy independence at the local level», 18.02.2016, Kyiv. http://saee.gov.ua/sites/default/files/6_EC_Pastukh.pdf (in Ukrainian).
- Prokop, A.V. (2010). Part greek catholic church in building operative institutions Galicia late nineteenth-early twentieth century. *Herald of LUTE*, 9, 122-129 (in Ukrainian).
- Rauch, P., Wolfsmayr, U.J., Borz, S.A., Triplat, M., Krajnc, N., Kolck, M., ... & Mühlberg, C. (2015). SWOT analysis and strategy development for forest fuel supply chains in South East Europe. *Forest Policy and Economics*, 61, 87-94. <http://dx.doi.org/10.1016/j.forpol.2015.09.003>
- Rauschmayer, F., & Wittmer, H. (2006). Evaluating deliberative and analytical methods for the resolution of environmental conflicts. *Land Use Policy*, 23 (1), 108-122. <https://doi.org/10.1177/0734242X06063817>
- Schreuer, A., & Weismeier-Sammer, D. (2010). Energy cooperatives and local ownership in the field of renewable energy technologies: A literature review. Available at: <https://epub.wu.ac.at/id/eprint/2897>
- Simon, H.A. (1997). *Models of bounded rationality: Empirically grounded economic reason* (vol. 3). MIT Press, London.
- Solomon, B.D., & Krishna, K. (2011). The coming sustainable energy transition: History, strategies, and outlook. *Energy Policy*, 39 (11), 7422-7431. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2011.09.009>
- Stave, K.A., & Kopainsky, B. (2015). A system dynamics approach for examining mechanisms and pathways of food supply vulnerability. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 5 (3), 321-336. <https://doi.org/10.1007/s13412-015-0289-x>
- Steffen, W.L., Rockström, J., & Costanza, R. (2011). How defining planetary boundaries can transform our approach to growth. *Solutions: For a Sustainable & Desirable Future*, 2 (3), 59-65. Available at: http://pdxscholar.library.pdx.edu/iss_pub

- Sterman, J. (2000) *Business Dynamics: Systems Thinking and Modeling for a Complex World*. Boston; Irwin /McGraw-Hill.
- Stirling, A. (2014). Transforming power: Social science and the politics of energy choices. *Energy Research & Social Science*, 1, 83-95. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2014.02.001>
- Stoyko, O. M. (2018). Energy cooperatives as the main form of civil society participation in energy transit. *Hileya: Scientific Bulletin*, 136, 233-235. http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/gileya_2018_136_57.pdf (in Ukrainian).
- Van der Kroon, B., Brouwer, R., & Van Beukering, P. J. (2013). The energy ladder: Theoretical myth or empirical truth? Results from a meta-analysis. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 20, 504-513. <http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2012.11.045>
- WEF (2018). *Global Competitiveness Report*. Available at: <http://reports.weforum.org/global-competitiveness-report-2018/country-economy-profiles>
- Zahvoyska, L. D. (2005). Recent trends in ecological economics investigations. *Scientific Bulletin of UNFU*, 15 (6), 136-143 <https://cyberleninka.ru/article/n/prioritetni-napryamki-naukovih-doslidzen-ekologichnoyi-ekonomiki> (in Ukrainian).
- Zahvoyska, L. D. (2013). Theoretical approaches to modeling dynamics of ecological and economic systems. *Modeling of the Regional Economy*, 2, 85-102. http://nbuv.gov.ua/j-pdf/Modre_2013_2_10.pdf (in Ukrainian).
- Zahvoyska, L. D. (2014). Conceptualizing of eco-innovations in the context of recent ecological-economic discourse. *Odesa National University Herald. Series Economy*, 19 (2/5), 17-20. http://visnyk-onu.od.ua/journal/2014_19_2_5/04.pdf (in Ukrainian).
- Zahvoyska, L. D., Lazor, O. Ya, & Lazor, O. D. (2007). Approaches and techniques of environmental impact assessment. *Economy of Ukraine*, 3, 80-89. (in Ukrainian).
- Zahvoyska, L. D., Pelyukh, O. R. (2019). Epistemological instruments for ecological-economic systems investigations. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 18, 154-163. <https://doi.org/10.15421/411916> (in Ukrainian).
- Zinchenko, A. (2013). Energy cooperatives and their opportunities for distribution in Ukraine. Retrieved from <http://www.biowatt.com.ua/trends/energetichni-kooperativi-ta-mozhливosti-yih-poshirennya-v-ukrayini> (in Ukrainian).

Моделирование процесса энергетического перехода с использованием системной динамики: энергетические кооперативы как инструмент перехода к устойчивому использованию древесной биомассы в жилом секторе

Л. Д. Загвойска¹, О. В. Блецка²

Доминирующая парадигма производства энергии является высокоцентрализованной, углеродоемкой и способствует существованию энергетической бедности. Императив глобального изменения климата актуализирует энергетический переход для обеспечения эффективности, инклюзивности и экологической безопасности процессов производства энергии. Одним из аспектов этого процесса является переход к устойчивому использованию древесной биомассы в жилом секторе с использованием энергетических кооперативов в качестве средства содействия процессу перехода. Этот процесс связан с некусом изменений, вызванных в таких сферах, как социальная, экологическая, экономическая, технологическая, образовательная и т. д. Противоречивая динамика процессов может создать синергии или потребовать компромиссов.

Чтобы охватить сложность процесса перехода, мы разработали и применили модели системной динамики. Причинно-следственная диаграмма переходного процесса использована для понимания процесса. Модель состоит из двух блоков: концептуального, описывающего общую логику смягчения изменений климата, и операционного, описывающего развитие энергетических кооперативов.

Для количественного анализа процесса развития энергетических кооперативов предложена диаграмма потоков и накопителей. Эта диаграмма основана на модели распространения инноваций Басса (1980) и модели системной динамики Стермана (2000). Диаграмма параметризована в соответствии с реалиями г. Борислава. Особенности украинского институционального ландшафта изучены с использованием регрессионного анализа 11 показателей, агрегированных в индексе глобальной конкурентоспособности 4.0 (WEF, 2018). Согласно результатам анализа, дополнена диаграмма потоков и накопителей параметром *институции*, описывающим зависимость экономической активности индивидов

¹ Загвойска Людмила Дмитриевна – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат экономических наук, доцент кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-050-371-44-29. E-mail: lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>

² Блецка Ольга Васильевна – магистр экономики окружающей среды и природных ресурсов. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-068-532-70-37; E-mail: olyakhust@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0467-8068>

от эффективности институций. Моделирование 8-летнего периода, выполненное с использованием параметризованной диаграммы, продемонстрировало довольно вялый переход к энергетическим кооперативам – только 8,9% домовладельцев, что можно объяснить неэффективностью институций Украины.

Однако, согласно опросу, который проведен в г. Борислав, с концепцией энергетических кооперативов знакомы 18,1% респондентов. Из них, каждый пятый был готов инвестировать в развитие кооперативов; около половины респондентов намерены изменить системы отопления в своих домах, что проще сделать членам кооперативов.

Чтобы получить представление об использовании древесной биомассы для г. Борислава, проведен SWOT-анализ и предложено четыре SWOT-стратегии для управления процессом. Эти рекомендации изучены с помощью вопросов «что, если» с использованием предложенной нами модели процесса перехода, что позволило выявить возможные непреднамеренные последствия, неопределенности и дополнительные вмешательства, облегчающие понимание процесса и делиберативное принятие решений по управлению процессом энергетического перехода.

Ключевые слова: трансформация энергетических систем; кооперативная бизнес-модель; SWOT-анализ и стратегии; регрессионный анализ; причинно-следственная и поточная диаграммы, делиберативные методы принятия решений.

Modelling Energy Transition Process using System Dynamics: Energy Cooperatives as a Tool for Transition to Sustainable Use of Wood Biomass in the Residential Sector

L. Zahvoyska¹, O. Bletska²

Dominant energy generation paradigm is highly centralized, carbon intensive, and enable energy poverty. Global climate change imperative prioritizes energy transition to ensure effectiveness, inclusiveness

and environmental safety of energy generation processes. One of the pillars of the process is a transition to sustainable use of wood biomass in the residential sector using energy cooperatives as a mean for the transition process facilitation. This transition process deals with a nexus of changes induced in different realms like social, ecological, economic, technological, educational etc. Counterintuitive dynamics of the processes can create synergies or trade-offs.

To embrace a complexity of the process we proposed and applied system dynamics models. Causal loop diagram of the transition process was used to understand the scope. The model consists from two blocks: conceptual, which describes the general logic of the climate change mitigation, and operational one, which represents development of energy cooperatives (balancing and reinforcing loops correspondently).

Stock-flow diagram was proposed for quantitative analysis of the energy cooperatives development process. The model is based on the Bass model of innovation diffusion (1980) and Sterman model of its system dynamics (2000). The stock-flow diagram was parameterized according to realities of Boryslav city. Features of Ukrainian institutional landscape were examined using regression analysis of 11 indicators, aggregated in Global Competitiveness Index 4.0 (WEF, 2018) to reflect complexity of competitiveness. According to results of regression analysis, we complemented the stock-flow diagram with another parameter – Institutions – which describes dependence of individuals' economic activity on institutions' performance. Simulation run for 8-year period using the parameterized stock-flow model demonstrated quite weak transition toward energy cooperatives – only 8.9% of homeowners – that can be explained by a poor performance of institutions in Ukraine.

However, according to a survey we conducted in Boryslav, 18.1% of the respondents are familiar with the concept of energy cooperatives, of which one in five was ready to invest in the cooperative development; about half of the respondents likely to change the heating systems in their homes, which is easier to manage through renewable energy cooperatives.

To get insight of wood biomass usage for Boryslav we run SWOT analysis and proposed four SWOT strategies for the process facilitation. These recommendations were tested against 'what-if' questions using the proposed causal loop diagram of the transition process to reveal potential unintended consequences, additional interventions and uncertainties resulted from the process complexity. These findings facilitate understanding and deliberative governance of the process.

Key words: transformation of energy systems; cooperative business model; SWOT analysis, SWOT strategies; regression analysis, closed-loop diagrams; stock and flow diagram; deliberative decision making.

¹ Lyudmyla Zahvoyska – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Economic Sciences, Associate Professor of the Department for Ecological Economics, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-050-371-44-29. E-mail: lyudmyla.zahvoyska@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0028-4723>

² Olha Bletska – Master of Environmental and Natural Resource Economics, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-068-532-70-37; E-mail: olyakhust@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0467-8068>

8. ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ДОВКІЛЛЯ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411942>
Article received 2019.08.24
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author

Oleg Machuga
oleg_mach@ukr.net
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*377.4:531.8

Науково-методичні підходи до обґрунтування енергоощадних та екологобезпечних параметрів лісових машин

М. М. Борис¹, О. С. Мачуга², Н. В. Шевченко³, Н. І. Библюк⁴

Досконалість конструкції лісових машин залежить від вдалого вибору їхніх енергетичних, вагових, геометричних та експлуатаційних параметрів, вплив яких виявляється безпосередньо в процесі роботи машин у реальних виробничих умовах. Під час проектування лісової машини необхідно таким чином обґрунтувати її параметри, щоб в процесі експлуатації машини питомі енерговитрати на одиницю виконаної роботи, а також негативний вплив на довкілля були мінімальними. З'ясовано, що наявні науково-методичні підходи до проектування лісових машин не повною мірою дають змогу всебічно обґрунтувати їхні параметри, які б забезпечували можливість ефективних режимів їхньої роботи з огляду не тільки енергоощадності, але й екологобезпечності. Тому відповідне обґрунтування параметрів лісових машин потребує розроблення нових та вдосконалення відомих математичних моделей і методів їх руху.

Розвинуто науково-методичні засади енергетичного підходу у формі варіаційних нерівностей стосовно енергії та енергії системи для проектування лісових машин. Побудовано метод аналізу механічної поведінки лісових машин у взаємодії з робочим середовищем та виконано оцінювання параметрів колієутворення внаслідок руху лісової машини ґрунтовою опорною поверхнею. Систематизовано параметри, що впливають на енергоощадність та екологобезпечність машини. Із застосуванням методу енергетичних, вагових і геометричних аналогій отримано графічні залежності для різних типів лісових машин, за якими встановлюють раціональні

¹ Борис Микола Михайлович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат технічних наук, доцент, проректор з науково-педагогічної виховної роботи та міжнародних зв'язків. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-237-21-22, +38-098-964-39-33. E-mail: borysmm@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3107-7938>

² Мачуга Олег Степанович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, доцент кафедри лісових машин. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-239-27-69, +38-067-670-19-06. E-mail: oleg_mach@ukr.net ORCID <http://orcid.org/0000-0002-9151-8854>

³ Шевченко Наталія Василівна – кандидат технічних наук, доцент кафедри лісових машин. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-239-27-69, +38-067-664-39-88. E-mail: shenatalka@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4004-891X>

⁴ Библюк Нестор Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор кафедри лісових машин. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-239-27-69, +38-097-306-61-38. E-mail: oleg_mach@ukr.net

значення експлуатаційних параметрів. Розвинуто метод обґрунтування, розрахунку характеристик та аналізу вибору гідромеханічної трансмісії лісової машини.

Використання запропонованого підходу дасть змогу проектувати лісові машини, які би забезпечували вигоди енергоощадності та екологобезпеки.

Ключові слова: енергетичний підхід; ексергія системи; екологічна безпека; енерговитрати; кореляційні криві; колієутворення; гідромеханічна трансмісія.

Вступ. Під час проектування лісових машин однією із визначальних умов є встановлення раціональних параметрів конструкції, які забезпечували б її досконалість, повною мірою враховували особливості взаємодії машини з опорною поверхнею, якою вона рухається, предметом праці, а також із навколишнім середовищем. З цього погляду, важливим завданням є всебічне удосконалення наявних науково-методичних, теоретичних і практичних підходів до проектування лісових машин з метою ощадливого використання енергоносіїв та дотримання вимог екологічної безпеки упродовж їх експлуатації.

У процесі руху лісової машини її взаємодія з робочим середовищем, зокрема ґрунтовою опорною поверхнею, пакетом деревини тощо характеризується взаємним впливом складників такої динамічної системи. Діючи на ґрунт, лісова машина зумовлює в ньому низку зворотних та незворотних змін: пружне деформування, ущільнення, зумовлене зміною структури скелету ґрунтових мас, в'язке течіння, спричинене зміною структури насиченості ґрунту водою, відривання рушіями машини частин ґрунту тощо. З іншого боку, на машину діє пакет деревини, який може зумовити в її елементах складні коливні процеси та напружений стан, перенавантаження двигуна й трансмісії.

Такі чинники взаємодії машини з робочим середовищем можуть призвести до негативних екологічних наслідків: понад допустиме ущільнення ґрунту, формування колії, знищення поверхневого родючого шару ґрунту, а також спровокувати ерозійні процеси ґрунтових мас. Формування вказаних змін ґрунту здійснюється за рахунок поглинання енергетичного ресурсу двигуна машини, що, своєю чергою, призводить до підвищення витрати паливно-змащувальних матеріалів.

Традиційним є підхід до компонування конструкції (Byblyuk, 2004a) та вибору експлуатаційних параметрів (Bilyk & Adamovskyj, 2004), які забезпечили б можливість мінімізації питомих енерговитрат щодо одиниці виконуваної роботи (Borys, 2007). Водночас експлуатація лісових машин у технологічних процесах галузі зазвичай призводить до негативних, з огляду сталого розвитку, наслідків, напрями яких охарактеризував Byblyuk (2004b). У такому контексті систематизовано вплив лісотранспорту на стан природного середовища Українських Карпат (Byblyuk, 2004c) та вплив господарської діяльності людини на формування передумов негативних стихійних явищ в Карпатах (Byblyuk, Kovalchuk & Machuga, 2008). Окремим аспектам впливу лісозаготівельних машин на природне та

робоче середовище присвячені дослідження вібрата шумоавантаження харвестерів і форвардерів (Louis, Philip, Owende & Shane, 2004) та лісовозів (Byblyuk, Shevchenko & Freudun, 2013), пошкодження заготовленої стовбурової деревини (Honsa, 2007), пошкодження підросту (Sowa & Szewczyk, 2000), встановлення потенційних ризиків лісозаготівлі (Adamovsky, Styranivsky & Borys, 2017), визначення опорних реакцій, що призводять до колієутворення (Walczyk, 2007), взаємодії машин, їхніх робочих органів із робочим середовищем (Machuga, 2019) тощо.

Незворотні зміни у ґрунтовому середовищі, які виявляються його ущільненням, зумовлені низкою макро- та мікроскопічних деструкційних явищ. Насамперед, це розрив міжмолекулярних та адгезивно-когезивних зв'язків між окремими ґрунтовими часточками, які формують скелет ґрунту. Крім того, окремі часточки ґрунту можуть зазнавати квазіпластичних деформацій та деформацій, зумовлених явищами повзучості (Zotsenko, Vynnykov & Miroshnichenko, 2019). Попри такі процеси рідина, яка присутня в ґрунтовій масі, в процесі ущільнення скелету ґрунту зазнає в'язкого течіння, перерозподіляючись у порожнинах між окремими часточками ґрунту, що призводить до зміни вологості ґрунту. Такі процеси відбуваються в умовах перетворення механічної енергії в теплову – дисипації енергії, яка за своєю сутністю є мірою незворотності процесу ущільнення ґрунту (Yakhno & Machuga, 2016).

Наукова робота присвячена аспектам розвитку (Byblyuk, Borys, Machuga & Shevchenko, 2019) загальної стратегії вибору раціональних значень параметрів проєктованих машин, які б інтегровано охоплювали і мінімізацію питомих енерговитрат щодо виконуваної роботи, і мінімізацію негативного впливу машини на довкілля. Такий розвиток вбачається у поглибленому аналізі головних складників взаємодії – ґрунту та елементів конструкції машини.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – узагальнені підходи до обґрунтування енергоощадних та екологобезпечних параметрів конструкції лісових машин. Предмет дослідження – науково-методичні та прикладні методи і засоби моделювання, розрахунку й обґрунтування раціональних параметрів конструкції лісових машин. Метою дослідження є розвиток наявних та формування нових підходів до обґрунтування параметрів лісових машин шляхом комплексного застосування засад енергетичних методів, методів аналогій та розрахункових методів.

Основними завданнями є дослідження процесу колієутворення внаслідок неодноразових проїздів лісової машини, систематизація методології енергетичних, вагових і геометричних аналогій для обґрунтування параметрів лісових машин, удосконалення розрахункових схем та методів вибору гідромеханічної трансмісії лісової машини.

Енергетичні методи розвинуто для класу задач, пов'язаних із урахуванням величини дисипації енергії, яка витрачається на розривання міжмолекулярних зв'язків між часточками ґрунту, на подолання зусиль, зумовлених повзучістю та на подолання опору в'язкому течінню в рідинній компоненті ґрунту тощо. Енергетичний баланс у середовищі ґрунтової маси характеризується нагромадженою механічною енергією, тобто енергією пружного стиснення – ексергією. Крім того, для повного аналізу трансформаційних процесів, що відбуваються у механічній системі «машина – ґрунтова опорна поверхня», необхідно залучати до розгляду енергетичний ресурс дисипації, тобто теплову енергію, яка виникає в процесі деструкцій та енергетичних трансформацій, тобто анергію (Yakhno & Machuga, 2017).

Досконалість конструкції лісової машини залежить від ступеня раціональності її характеристик та параметрів, вплив яких виявляється безпосередньо під час роботи машини, залежно від експлуатаційних, виробничих і технологічних умов, зокрема – у стійкості та плавності ходу (Byblyuk, Herys & Borys, 2011), у динамічних навантаженнях трансмісії (Bilyk, Borys & Kussyj, 2007) та ін. Виходячи з оцінювання параметрів досконалості конструкції, визначено загальні положення щодо ефективності роботи лісової машини (Borys, Herys, Shevchenko & Gromjak, 2013).

Для обґрунтування раціональних параметрів лісових машин зазвичай використовують два головні науково-методичні підходи (Bilyk & Adamovsky, 2004, Styranytsky, Byblyuk, Borys & Herys, 2006): а) фізичне, математичне та комп'ютерне моделювання динамічних процесів руху машини; б) застосування

методології енергетичних, вагових і геометричних аналогій.

Перший підхід дає змогу на підставі сформованих розрахункових моделей, зокрема, коливань лісотransпортної системи та їхнього математичного опису, визначати комплексні (питомі) показники. Застосування ж методів енергетичних, вагових і геометричних аналогій дає змогу будувати графічні залежності, за допомогою яких можна встановити раціональні значення параметрів лісових машин, відповідних до конкретних конструкторських завдань, енергетичних та екологічних вимог.

З погляду енергоощадності важливим є вдалий вибір двигуна лісової машини та її трансмісії (Shevchenko, 2011). Проектуючи гідромеханічну трансмісію, яку широко використовують у лісових машинах, обґрунтовують тип гідротрансформатора (ГТ), після чого за відомими параметрами та безрозмірними характеристиками наявних ГТ вибирають серед них узгоджений, як за потужністю та частотою обертання, так і за параметрами швидкісної характеристики двигуна і навантажувальними характеристиками ГТ (Shevchenko, 2015).

Результати та обговорення. З огляду на те, що в процесі руху лісова машина та опорна поверхня перебувають у взаємозв'язку, для його врахування та адекватного відтворення у математичній моделі побудовано структурну схему взаємодії машини з ґрунтовою опорною поверхнею, яка відображає елементи взаємного впливу цієї складної динамічної системи (рис. 1).

Для розвитку наукових засад енергетичного підходу запропоновано використовувати варіаційні нерівності, як математичний апарат дослідження поведінки неідеалізованих механічних систем із представленням енергії у вигляді суми ексергії та анергії, а також аналізувати механічну поведінку таких об'єктів з урахуванням їхньої здатності до структурних змін (Machuga, 2019):

$$\delta(Ex - An) \leq 0, \quad (1)$$

де Ex – ексергія механічної системи, An – анергія такої системи, δ – оператор варіювання.

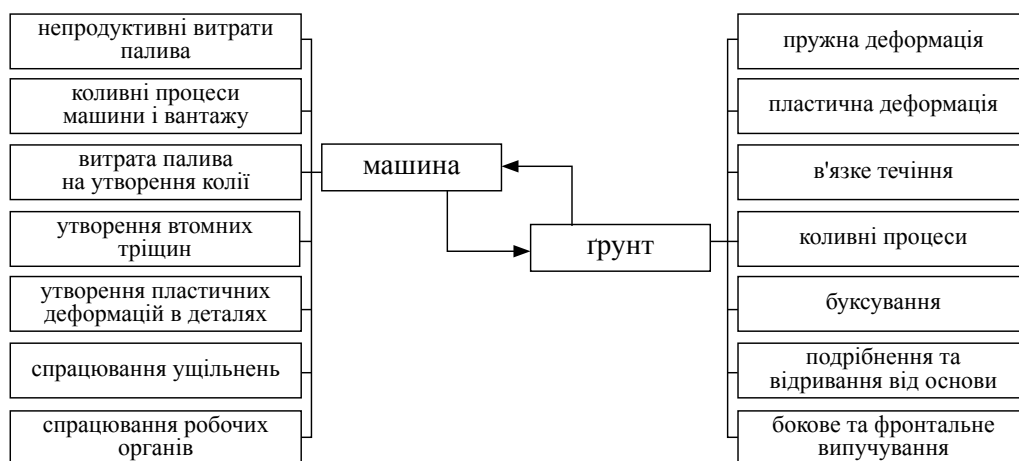


Рис. 1. Структурна схема взаємодії лісової машини з опорною поверхнею

Отже, для забезпечення умов енергетичної ощадливості та екологічної безпеки, проектні розрахунки параметрів елементів конструкцій та вузлів лісових машин повинні базуватися, окрім загальноприйнятих методик, на умові енергетичного балансу (1). Відношення (1) визначає сукупність раціональних параметрів машини, які здатні забезпечити заданий рівень енергетичних затрат машини в процесі виконання нею відповідних технологічних операцій.

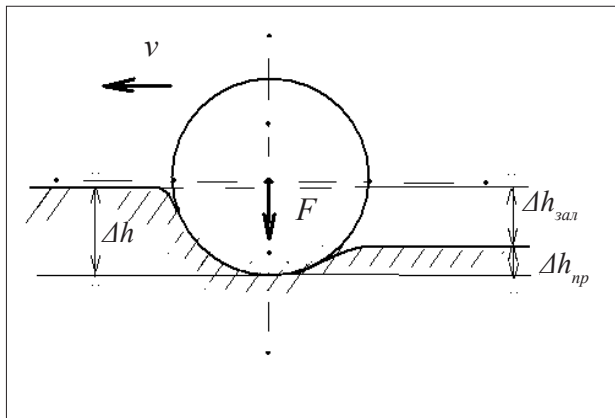
Враховуючи широкий спектр реологічних властивостей ґрунту (пружність, пластичність, здатність до ущільнення, в'язкого течіння та різних деградаційних процесів – зносу, сколу тощо), здійснено дослідження процесу колієутворення внаслідок руху мобільної лісової машини ґрунтовою поверхнею (рис. 2).

Використовуючи у варіаційній нерівності (1) отримані наближені вирази ексергії (Machuga, 2019) та анергії даної системи, залежність залиш-

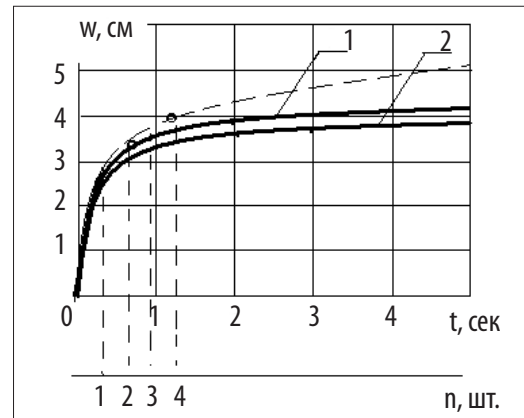
кових деформацій контактної поверхні від часу $w = w(t)$ набуде вигляду:

$$w = w(t) \leq \frac{\frac{F}{S_k} + \sigma_T \cdot 1 + \frac{4k_1}{\sqrt{\pi}} \cdot \frac{\sqrt{S_k}}{H}}{\frac{E}{H}(2 - \nu^2) + \frac{2\pi\mu}{t} \cdot k_1^2}, \quad (2)$$

де E , ν – модуль пружності та коефіцієнт поперечного обтиснення ґрунту, H – глибина ґрунту, на якій істотними є пружні деформації, σ_T – границя текучості ґрунту, μ – динамічна в'язкість ґрунту, k_1 – поправочний коефіцієнт, який враховує відхилення реального об'єму в'язкого чи пластичного деформування від тору, t – час, $\pi \approx 3,14$, Δh – повна деформація матеріалу ґрунту, яка складається з суми Δh_{np} , $\Delta h_{зал}$ – відповідно пружної та залишкової (пластичної) деформації, S_k – площа контакту шини і ґрунту.



а



б

Рис. 2. Колієутворення від руху мобільної машини ґрунтовою поверхнею: а – розрахункова схема взаємодії рушія з ґрунтом; б – залежність залишкової деформації точок опорної поверхні від часу t та кількості проїздів n для різних типів ґрунтів: 1 – зволожені ґрунти, 2 – жорсткі ґрунти, штрихпунктирна лінія – перезволожені податливі ґрунти, що відповідають умовам проведення експериментів (точки на рисунку)

Аналізуючи праву частину нерівності (2), відзначимо сповільнення росту залишкової деформації поверхні ґрунту в часі, що може свідчити про поступове ущільнення ґрунту. Істотним чином на залишкову деформацію впливають в'язкість та границя текучості. Отримане відношення може використовуватися для теоретичних й експериментальних досліджень процесу ущільнення та параметрів контактної взаємодії рушія мобільної машини з робочим середовищем, у цьому випадку – ґрунтовою опорною поверхнею.

Величини залишкових деформацій контактної поверхні ґрунту (рис. 2, б) визначено із відношення (2) для трельовального трактора HSM, що рухався зі швидкістю $v = 3,6$ км/год перезволоженою ґрунтовою поверхнею. Отримані результати якісно та кількісно охоплюють відомі експериментальні дані порівняно з іншими теоретичними результатами: відхилення від експерименту отриманих теоретич-

них кривих, поданих на рисунку 2 б, на 30% менше, ніж теоретичні результати інших авторів (Machuga, 2019).

Враховуючи те, що досконалість конструкції лісових машин залежить від різноманітних за природою та значеннями параметрів, в таблиці подано їх узагальнення шляхом об'єднання в окремі групи. Ця систематизація допоможе під час проведення досліджень, залежно від експлуатаційних, виробничих і технологічних умов використання машини, враховувати лише ті параметри, які найбільшою мірою впливають на її енергоощадність та екологобезпечність.

Моделювання динамічних процесів лісотранспортної системи передбачає такі дослідження: крутильних коливань у трансмісії, коливань у вертикальній площині, коливань у вертикальній поздовжній площині, коливань у вертикальній поперечній площині тощо. Реалізація математич-

них моделей дає змогу встановити на підставі розрахунків комплексні (питомі) показники, оптимізація яких дає змогу обґрунтувати раціональні параметри лісових машин, враховуючи реальні умови їхньої експлуатації (рис. 3).

Для порівняльної оцінки лісових машин можна використати комплексний критерій – умовну питому продуктивність:

$$W_Q = M \cdot v_{\text{сер}} / Q_W, \quad (3)$$

де M – повна маса машини для транспортування деревини; $v_{\text{сер}}$ – середня технічна швидкість руху, км/год; Q_W – середня витрата пального, л/100 км.

З використанням запропонованого методу енергетичних, вагових і геометричних аналогій побудовано кореляційні залежності між головними параметрами для різних типів лісових машин. На рис. 4 подано кореляційні залежності параметрів для форвадерів. Отримані значення коефіцієнтів кореляції свідчать, що для більшості лісових машин спостерігається тісна степенева залежність між їх енергетичними, ваговими і геометричними параметрами. Аналіз цих залежностей дає змогу сформулювати вимоги до головних параметрів перспективних лісових машин, виходячи із завдань, які ставлять перед розробниками.

Таблиця

Класифікація параметрів колісних лісотранспортних засобів, що впливають на досконалість конструкції

Енергетичні	Вагові	Геометричні	Експлуатаційні
- потужність двигуна; - крутний момент двигуна; - тягове зусилля на гаку	- маса тягача; - маса причіпної ланки; - рейсове навантаження; - розподіл власної ваги між осями; - момент інерції тягача відносно поперечної осі	- зміщення коника від задньої осі тягача; - відстань між кониками; - зміщення точки опирання пакета деревини від задньої осі тягача; - відстань від точки опирання пакета деревини до опорної поверхні; - база, колія, ширина коліс; - дорожній просвіт	- пружні властивості та геометричні параметри опорної поверхні; - пружні властивості пакета деревини; - тип і характеристика систем підресорювання; - параметри поворотних і зчіпних пристроїв; - тип шин (діаметр і ширина коліс); - тип трансмісії

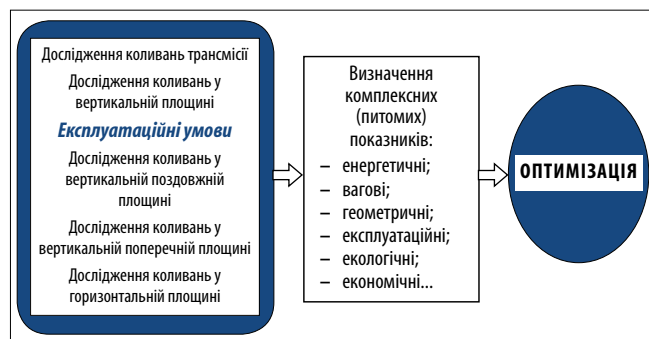


Рис. 3. Схема процедури обґрунтування параметрів лісових машин

Раціональний вибір параметрів трансмісії лісової машини потребує ретельного обґрунтування доцільності застосування гідромеханічної передачі. Узагальнений підхід до розв'язку такої задачі ґрунтується на удосконаленні розрахункової моделі лісової машини з гідромеханічною трансмісією (рис. 5). Така зведена модель включає в себе гідротрансформатор (ГТ), три обертові маси, пружну й дисипативну ланки, що моделюють податливість і тертя у шинах коліс.

На підставі розрахункової моделі (рис. 5) складено математичну модель руху лісової машини з гідромеханічною трансмісією.

Зведена жорсткість c_{mpij} на кожній з передач визначається за формулою:

$$c_{mpij} = \frac{I}{\frac{(u_{kni} u_{pkj})^2}{c_{kap}} + \frac{u_{mpij}^2}{c_n} + \frac{u_{mpij}^2}{c_{ш}}}, \quad (4)$$

де i – номер передачі коробки передач; j – номер передачі роздавальної коробки; u_{mpij} – загальне передатне число на увімкненій передачі; u_{kni} , u_{pkj} – передатні числа увімкнених коробки передач та роздавальної коробки; c_{kap} , c_n , $c_{ш}$ – коефіцієнти крутильної жорсткості карданних валів, півосей ведучих мостів і шин ведучих коліс.

Зведений кут й кутова швидкість обертової маси J_3 , еквівалентної поступальній масі дісової машини, залежать від передатного числа трансмісії

$$\varphi_3 = \varphi_k u_{mpij}; \quad \dot{\varphi}_3 = \dot{\varphi}_k u_{mpij}.$$

Зведений момент опору рухові M_3 визначається з урахуванням передатного числа u_{mpij} на увімкненій передачі та коефіцієнта корисної дії механічної частини трансмісії η_{mp} . Для сортиментовоза його обчислюють за формулою:

$$M_3 = \frac{M_f + M_i}{u_{mpij} \eta_{mp}}, \quad (5)$$

де M_f , M_i – відповідно моменти опору коченню та опору підніманню сортиментовоза.

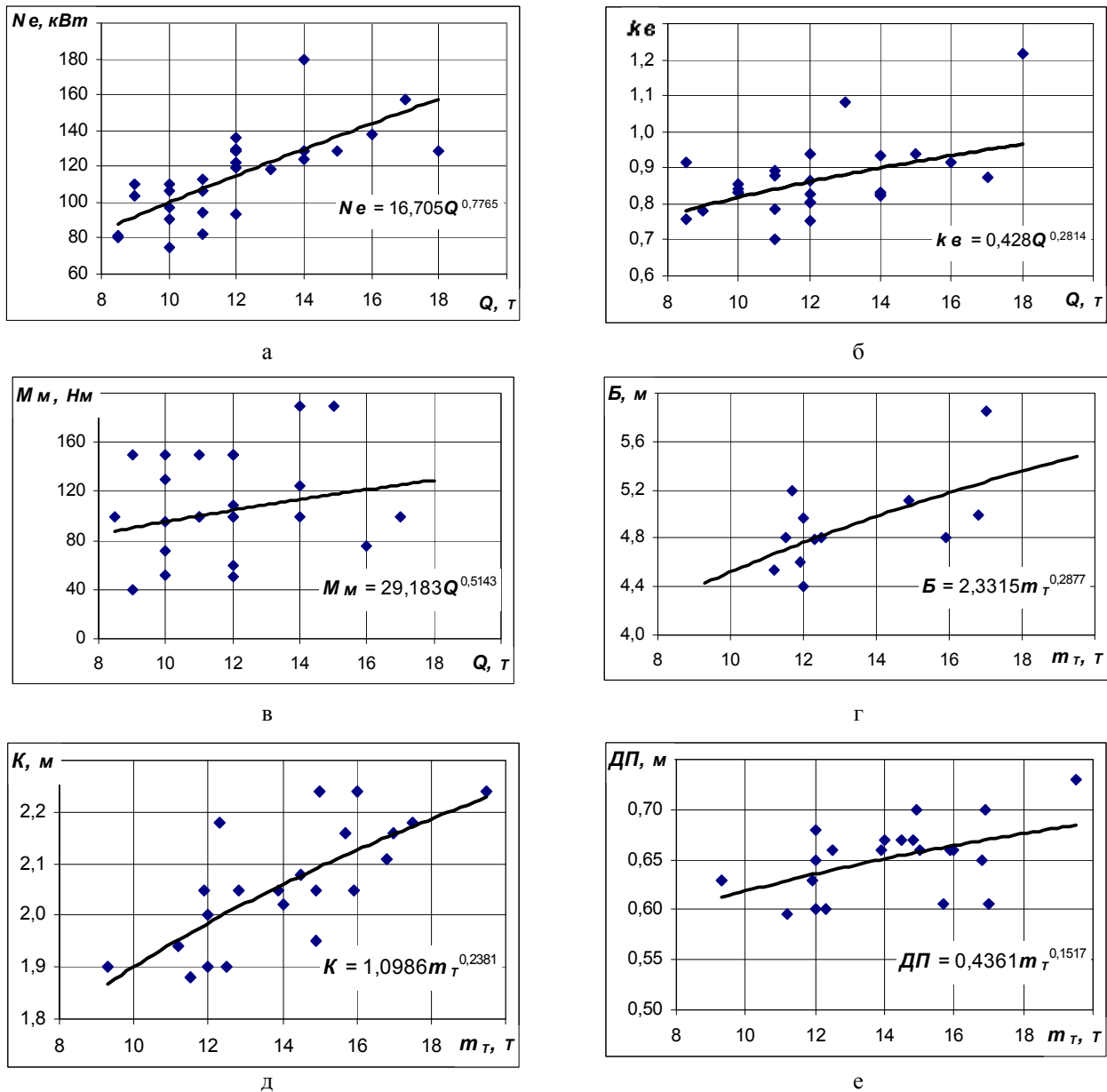


Рис. 4. Залежності потужності (а), коефіцієнта використання маси (б) та вантажного моменту гідроманіпулятора (в) від вантажності форвадера і бази (з), колії (д) й дорожнього просвіту (е) від власної маси форвадера

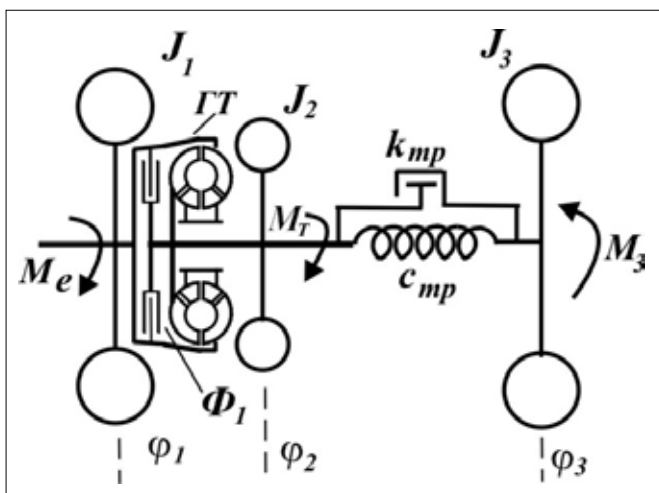


Рис. 5. Схема зведеної розрахункової моделі лісової машини з гідромеханічною трансмісією: M_e – крутний момент двигуна; M_T – момент на турбінному колесі ГТ; M_3 – зведений момент опору рухові; φ_1 – кут обертання маховика двигуна; φ_2 – кут повороту турбінного колеса ГТ; φ_3 – зведений кут повороту мас трансмісії та ведучих коліс; J_1 – момент інерції маховика двигуна з насосним колесом та фрикціоном Φ_1 для блокування ГТ; J_2 – зведений моменти інерції турбінного колеса ГТ з обертовими масами коробки передач і роздавальної коробки; J_3 – зведений момент інерції ведучих коліс і поступальної маси лісової машини з вантажем; c_{mp} , k_{mp} – зведені коефіцієнти крутильної жорсткості та в'язкого опору карданних валів, півосей ведучих мостів і шин ведучих коліс

Формули для визначення зведених моментів інерції обертових мас моделі трансмісії, набудуть вигляду:

$$J_2 = \frac{J_o \eta_{mp}}{(u_{кп} u_{рк})^2}; \quad J_3 = \frac{I}{u_{mp}^2} \left(\frac{G}{9,8I} r^2 + \Sigma J_{\kappa} \right),$$

де J_o – сумарний момент інерції турбінного колеса ГТ з обертовими масами коробки передач і роздавальної коробки; G – вага сортиментовоза з вантажем; r^2 – радіус ведучих коліс; ΣJ_{κ} – сумарний момент інерції усіх коліс колісної машини.

Прийнявши за узагальнені координати кути повороту φ_1 , φ_2 і φ_3 обертових мас зведеної розрахункової моделі, можна записати рівняння її руху у вигляді:

$$\left. \begin{aligned} J_1 \ddot{\varphi}_1 &= M_e \eta_{ГТ}; \\ J_2 \ddot{\varphi}_2 + k_{mp}(\varphi_2 - \varphi_3) + c_{mp}(\varphi_2 - \varphi_3) &= K \cdot M_e; \\ J_3 \ddot{\varphi}_3 - k_{mp}(\varphi_2 - \varphi_3) - c_{mp}(\varphi_2 - \varphi_3) &= -M_3; \end{aligned} \right\},$$

де K , $\eta_{ГТ}$ – коефіцієнти трансформації та корисної дії ГТ.

Розв'язки рівнянь у вигляді узагальнених координат $\varphi_1(t)$, $\varphi_2(t)$ і $\varphi_3(t)$ і їхніх похідних, як функцій часу t , дають можливість обчислювати основні параметри поступального руху – швидкість СЛМ

$$V(t) = 3,6 \frac{r \varphi_3(t)}{u_{mp}} \text{ і пройдений шлях } S(t) = \varphi_1(t) r.$$

Реалізація математичної моделі у програмному середовищі *Delphi* дала змогу отримати результати розрахунку параметрів розгону та тягово-швидкісні характеристики лісової машини залежно від параметрів ГТ, зокрема густини робочої рідини, частоти обертання насосного колеса, активного діаметра ГТ та коефіцієнта моменту насосного колеса, а також спільної роботи двигуна внутрішнього згорання із гідротрансформаторами різних типів у випадку варіювання активного діаметру ГТ (рис. 6).

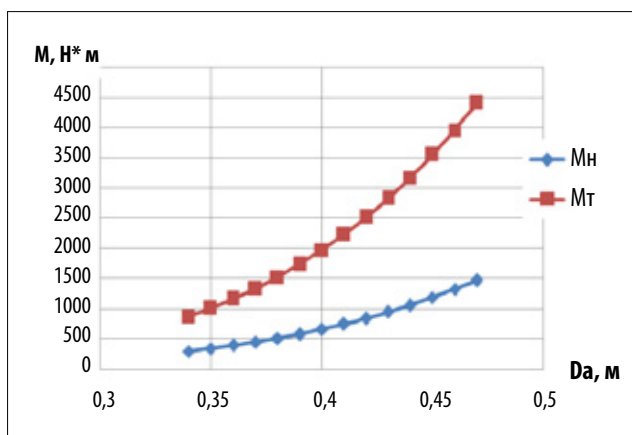


Рис. 6. Залежність моментів на насосному і турбінному колесах від величини активного діаметра гідротрансформатора (за частоти обертання вала двигуна $n = 2200$ об/хв.)

Аналіз отриманих результатів свідчить, що показники ГТ є доволі чутливими до розміру активного діаметра D_a . Збільшення цього діаметра лише на 20% призводить до зростання у 2,5 рази моменту на турбінному колесі M_t .

Висновки. Наявні науково-методичні, теоретичні та практичні підходи до проектування лісових машин удосконалено з комплексною метою ощадливого використання енергоносіїв та дотримання вимог екологічної безпеки впродовж їхньої експлуатації.

Розроблено методологію енергетичного підходу для інженерного оцінювання інтенсивності процесу колієутворення внаслідок неоднократного проїзду лісової машини ґрунтовою поверхнею руху. Отримані результати якісно та кількісно наближені до відомих експериментальних даних: їхні відхилення від експерименту на 30% менші, аніж теоретичні результати інших авторів. Отримані результати у вигляді аналітичної залежності глибини колії від часу, характеристик ґрунту та умов контакту колеса з поверхнею руху, доцільно використовувати для визначення прийнятних з огляду мінімізації деформації ґрунту значень експлуатаційних параметрів, зокрема – тиску повітря в шинах лісової машини, їхнього типорозміру, а відповідно – розмірів поверхні контакту колеса з ґрунтом залежно від експлуатаційних умов.

На стадії ескізного компонування перспективних лісових машин вибір їхніх параметрів доцільно здійснювати на підставі запропонованого в роботі методу енергетичних, вагових і геометричних аналогій. Формування вимог до параметрів лісових машин за отриманими кореляційними залежностями засвідчує їхнє мінімальне відхилення від експериментальних даних, що складає 12-18%.

Використання отриманих результатів з вибору енергетичних, вагових, геометричних та експлуатаційних параметрів, застосування прийнятних типів рушіїв з допустимим тиском повітря в колесах залежно від виду ґрунту, а також результати визначення робочих параметрів гідродинамічних передач, зокрема їхніх активних діаметрів, дасть змогу проектувати лісові машини, які забезпечуватимуть необхідні вимоги енергетичної ощадності та водночас характеризуватимуться мінімальним негативним впливом на довкілля в процесі їхньої експлуатації.

Удосконалено метод обґрунтування раціональних параметрів гідромеханічної трансмісії, розроблено схему розрахункової моделі лісової машини з гідротрансформатором, трьома обертовими масами, пружною та дисипативною ланками, що моделюють податливість і тертя у шинах колісних рушіїв. Порівняльний аналіз тягово-швидкісних показників такої машини з механічною й гідромеханічною трансмісією показав переваги останньої. Гідромеханічна трансмісія дає змогу реалізувати широкий діапазон безступінчастої зміни сили тяги в межах кожної передачі, що істотно зменшує кількість перемикачів передач під час руху, сприяє підвищенню на 10-18% продуктивності транспорт-

ного засобу, зменшенню до 30% показників тягово-швидкісних властивостей – часу і шляху розгону до максимально можливої швидкості, а також зменшенню втомленості водія. Силові параметри гідротрансформатора є дуже чутливими до розміру його активного діаметра: його збільшення лише на 20% призводить до зростання моменту на турбінному колесі у 2,5 рази.

References

- Adamovsky, M. G., Styranivsky, O. A., & Borys, M. M. (2017). Spatial modeling of transport development of forest area and their potential environmental risks. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 27 (8), 127-132. <https://doi.org/10.15421/40270814> (in Ukrainian).
- Bilyk, B. W., & Adamovsky, M. G. (2004). *Design of self-driving forestry machines: Parameter selection, layout and traction calculation*. L'viv: ZUKTs (in Ukrainian).
- Bilyk, B. W., Borys, M. M., & Kussyj, A. G. (2007). Influence of gearbox numbers on dynamic loads in the transmission of a wheeled forest tractor. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 17 (8), 127-132. Available at: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2007/17_8/index.htm (in Ukrainian).
- Borys, M. M. (2007). *Substantiation of the parameters of the skidding vehicle to increase its operational properties* (Doctoral dissertation, National Forestry university of Ukraine, L'viv, Ukraine).
- Borys, M. M., Herys, M. I., Shevchenko, N. V., & Gromjak, J. O. (2013). Methods of the multi-operation forestry machines operation efficiency determining. *KhNTUAg. Bulletin: Innovative Technologies of Woodworking Industry*, 143, 178-183 (in Ukrainian).
- Byblyuk, N. I. (2004a). *Forest vehicles. Theory*. L'viv: Publishing house «Panorama» (in Ukrainian).
- Byblyuk, N. I. (2004b). Ecological compatibility of existing logging technologies with the natural environment: European experience and Ukrainian realities. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 3, 118-132 (in Ukrainian).
- Byblyuk, N. I. (2004c). Forest transport in the Ukrainian Carpathians: the main stages and trends of development. *Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University: Engineering, Technology and Environment*, 14 (3), 183-194. Available at: <http://nv.nltu.edu.ua/> (in Ukrainian).
- Byblyuk, N., Borys, M., Machuga, O., & Shevchenko, N. (2019). Scientific-methodical, theoretical and practical aspects of the energy-saving, environmental-safely forest machines projecting. In TUZVO (Eds.) *Mobilné energetické prostredky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilných strojov: Zborník vedeckých recenzovaných prác*, 33-42. Zvolen. Slovakia: Technická universita vo Zvolenie (in Slovak).
- Byblyuk, N., Herys, M., & Borys, M. (2011). Influence of parameters of the wheeled timber machines on controllability and stability of their motion. In TUZVO (Eds.) *Mobilné energetické prostredky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilných strojov: Zborník vedeckých recenzovaných prác*, 25-35. Zvolen. Slovakia: Technická universita vo Zvolenie.
- Byblyuk, N. I., Kovalchuk, I. P., & Machuga, O. S. (2008). Dangerous natural disasters in the Carpathians: the reasons and the ways of their minimization. *Scientific works of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 105-119 (in Ukrainian).
- Byblyuk, N., Shevchenko, N., & Freydun, A. (2013). Design parameters effect on the intensity of log truck heave vibrations. *Polska akademia umiejetnosci prace komisji nauk rolniczych, lesnych i weterynaryjnych PAU*, 18, 305-312.
- Honsa, J., & Neruda, J. (2007). Analysis of damage to logs by functional mechanisms of harvesters. In TUZVO (Eds.) *Mobilné energetické prostredky – Hydraulika – Životné prostredie – Ergonómia mobilných strojov: Zborník vedeckých recenzovaných prác*, 41-50. Zvolen. Slovakia: Technická universita vo Zvolenie.
- Louis, M. S., Philip, M. O., & Owende, J. L. (2004). Assessment of vibration levels in a cut-to-length timber harvester. In Mendel Univ. (Eds.). *Forest and Wood Processing's Technology and the Environment: Proc. of the 2-nd int. sci. conf. Fortechenvi*. 2, 373-382. Brno. Czech Republic: Mendel Univ. of Agric. and Forestry.
- Machuga, O. S. (2019). *The development of the energy approach scientific principles in the solution of the problems of interaction the machines with the working environment*. (Doctoral dissertation, National Forestry university of Ukraine, L'viv, Ukraine). Retrieved from: <https://nltu.edu.ua/index.php/pages/spetsializovani-vcheni-rady/spetsializovana-vchena-rada-d35-072-03/item/294>.
- Shevchenko, N. V. (2011). Analysis logging truck forward motion simulation results and optimization of its basic parameters. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 21 (7), 102-106. Available at: <http://nv.nltu.edu.ua/> (in Ukrainian).
- Shevchenko, N. V. (2015). Application of hydromechanical transmission on logging trucks. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry University*, 25 (4), 161-167. Available at: <http://nv.nltu.edu.ua/> (in Ukrainian).
- Sowa, J. M., & Szewczyk, G. (2000). The dimension of damage caused in fir and spruce growths as a result of cutting and felling trees in spruce forest. *Akta Agraria et Sylvestria. Ser. B. Vol. XXXVIII*, 75-90 (in Polish).
- Styranivsky, O. A., Byblyuk, N. I., Borys, M. M., & Herys, M. I. (2006). Type and main parameters of perspective wheeled timber transport vehicles. *Scientific Bulletin of the Ukrainian National Forestry*

- University, 16 (6), 62-69. Available at: <http://nv.nltu.edu.ua/> (in Ukrainian)
- Walczyk, J. (2007). Analysis of wheel reactions and specific pressures during work of timberjack 1270 B harvester. In CULF (Eds.) *Logging and Wood Processing in Central Europe* (pp. 134-138). Prague: Czech University of Life Science.
- Yahno, O., & Machuga, O. (2016). Exergic analysis and variational inequalities methods in some fluid mechanic's problems. *Bulletin of NTUU «KPI». Mechanical Engineering Series*. 78 (3). 19-25. <https://doi.org/10.20535/2305-9001.2016.78.73382> (in Ukrainian).
- Yahno, O.M., & Machuga, O.S. (2017). Variational formulation of problems for structurally inhomogeneous hydromechanical systems. *Industrial hydraulics and pneumatics*, 2 (56). 26-33. www.pgjournal.vsau.org (in Ukrainian).
- Zotsenko, M. L., Vynnykov, Yu. L., Miroshnichenko, I. V. (2019). *Engineering Geology and Solid Mechanics Starter*. Poltava: PolNTU.

Научно-методические подходы к обоснованию энергосберегающих и экологобезопасных параметров лесных машин

Н. М. Бoryс¹, О. С. Мачуга², Н. В. Шевченко³,
Н. И. Быблюк⁴

Работа посвящена систематизации методических, научных, прикладных подходов и принципов построения моделей, методов обоснования характеристик и параметров проектируемых машин. Та-

кие машины должны удовлетворять условиям максимально возможной энергетической бережливости и экологической совместимости с окружающей природной средой.

Совершенство конструкции лесной машины зависит от удачного выбора ее энергетических, весовых, геометрических и эксплуатационных параметров, влияние которых проявляется непосредственно в процессе работы машин в реальных производственных условиях. Учитывая это, при проектировании лесной машины необходимо таким образом обосновать ее параметры, чтобы в процессе эксплуатации этой машины удельные энергозатраты на единицу выполненной работы и негативное влияние на опорную поверхность и окружающую среду были минимальными. Обоснование параметров лесных машин, математических моделей их движения, а также методов реализации таких моделей, выполнено с применением энергетического и силового подходов. Однако имеющиеся научно-методические подходы к проектированию лесных машин не в полной мере позволяют всесторонне обосновывать их параметры.

В исследовании нашли свое развитие научно-методические основы энергетического подхода, который можно применить для проектирования новых лесных машин. С этой целью методология вариационных неравенств использована в качестве математического аппарата исследования механического поведения неидеализированных механических систем. Выполнена оценка параметров колеобразования в результате движения лесной машины грунтовой опорной поверхностью с учетом широкого спектра реологических свойств грунта и его устойчивости к различным деградационным процессам.

Применение метода энергетических, весовых и геометрических аналогий позволило получить графические зависимости для различных типов лесных машин, по которым можно установить рациональные значения их эксплуатационных параметров. Установлено, что во время проектирования лесных машин важен правильный выбор соответствующих узлов и агрегатов с такими параметрами, которые обеспечивали бы эффективные режимы их работы с учетом энергосбережения и экологобезопасности.

Усовершенствован метод обоснования, расчета характеристик и анализа выбора гидромеханической трансмиссии лесных машин.

Дальнейшее развитие получила методология энергетического подхода для инженерной оценки интенсивности процесса колеи вследствие неоднократного проезда лесной машины грунтовой поверхностью движения. Получены результаты, отклонение которых от эксперимента на 30 % меньше, чем подобные результаты других исследователей; их целесообразно использовать для определения значений эксплуатационных параметров.

Метод энергетических, весовых и геометрических аналогий позволяет получить корреляционные

¹ Бoryс Николай Михайлович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат технических наук, доцент, проректор по научно-педагогической воспитательной работе и международным связям. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-237-21-22, + 38-098-964-39-33. E-mail: borysmm@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3107-7938>.

² Мачуга Олег Степанович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор технических наук, доцент кафедры лесных машин. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-239-27-69, + 38-067-670-19-06. E-mail: oleg_mach@ukr.net ORCID (<http://orcid.org/>) 0000-0002-9151-8854.

³ Шевченко Наталья Васильевна – кандидат технических наук, доцент кафедры лесных машин. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-239-27-69, + 38-067-664-39-88. E-mail: shenatalka@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4004-891X>.

⁴ Быблюк Нестор Иванович – академик Лесной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор кафедры лесных машин. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-239-27-69, + 38-097-306-61-38. E-mail: oleg_mach@ukr.net

зависимости с минимальным (12-18%) отклонением от экспериментальных данных.

Установлено, что силовые параметры гидро-трансформатора достаточно чувствительны к размеру его активного диаметра. Его увеличение лишь на 20% приводит к росту момента на турбинном колесе в 2,5 раза.

Ключевые слова: энергетический подход; эксергия системы; экологическая безопасность; энергозатраты; корреляционные кривые; колебание; гидромеханическая трансмиссия.

Scientific and methodological approaches to the substantiation of the forest machines energy-saving and environmentally friendly parameters

M. Borys¹, O. Machuga², N. Shevchenko³,
N. Byblyuk⁴

This paper is devoted to systematization of the methodological, scientific and applied approaches and principles of the characteristics and parameters substantiation models and methods creation for the designed machines. Such machines must satisfy the conditions of maximum energy savings and environmental compatibility.

The excellence of the construction of a forest machine depends on the successful choice of its energy,

weight, geometric and operational parameters, the impact of which is manifested directly in the machines operation in real production conditions. Therefore, when designing a forest machine, it is necessary to substantiate its parameters so that during the operation of this machine the specific energy consumption per unit of the performed work and the negative impact on the environment are minimal. The justification of the forest machines parameters is based on the development of new and improvement of known mathematical models of their movement, as well as methods of implementation of such models, in particular – with the use of energy and power approaches. However, the available scientific and methodological approaches to the design of forestry machines do not fully allow them to substantiate their parameters.

This paper develops the scientific and methodological principles of the energy approach that can be used for new forest machines design. To this end, the methodology of variational inequalities was used as a mathematical apparatus for studying the mechanical behavior of non-idealized mechanical systems. The parameters of rutting formation due to the movement of the forest machine on the soil support surface have been evaluated, taking into account a wide range of rheological properties of the soil and its ability to different degradation processes. Method of energy, weight and geometric analogies usage allowed the graphical dependences for different types of forestry machines obtaining, by which it is possible to set rational values of their operational parameters. It has been found that when designing forestry machines, it is important to choose the right parameters value that would provide them with efficient modes of operation in terms of energy efficiency and environmental friendliness. The substantiation, characteristics calculation and analysis hydro mechanical transmission choice method in timber haulage is developed.

The methodology of energy approach for engineering estimation of the intensity of the process of rutting formation due to repeated passage of the forestry machine with the soil surface has been developed. The results were 30% less deviated from the experiment than the results of other authors; they expediently should be used to determine the values of operational parameters.

The method of energy, weight and geometric analogies according to the obtained correlation dependencies testifies minimal (12-18%) deviation from the experimental data.

It is established that the power parameters of the hydro transformer are quite sensitive to the size of its active diameter, its increase by only 20% leads to a turbine wheel torque increase on the 2.5 times.

Key words: energy approach; exergy of the system; ecological safety; energy costs; correlation curves; rutting formation; hydro mechanical transmission.

¹ *Mykola Borys* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Vice-Rector for Scientific and Pedagogical Educational Work and International Relations, National Forestry University of Ukraine, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-237-21-22, + 38-098-964-39-33. E-mail: borysmm@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-3107-7938>

² *Oleg Machuga* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Machines, National Forestry University of Ukraine, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-239-27-69, +38-067-670-19-06. E-mail: oleg_mach@ukr.net ORCID ([http://](http://orcid.org/)) 0000-0002-9151-8854

³ *Natalia Shevchenko* – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Forestry Machines, National Forestry University of Ukraine, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-239-27-69, +38-067-664-39-88. E-mail: shenatalka@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-4004-891X>

⁴ *Nestor Byblyuk* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Professor of the Department of Forestry Machines, National Forestry University of Ukraine, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-239-27-69, +38-097-306-61-38. E-mail: oleg_mach@ukr.net

9. РЕСУРСОЩАДНІ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/411943>
Article received 2019.07.11
Article accepted 2019.12.26

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Bekhta
bekhta@ukr.net

General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674-419.32

Властивості фанери з використанням як клею термопластичної плівки

П. А. Бехта¹, І. І. Кусняк²

Запропоновано використання термопластичної плівки поліетилену низької густини (ПЕНГ) у виробництві фанери замість класичних синтетичних клеїв, що дає змогу одержувати екологічно чистий матеріал. Здатність термопластичної плівки склеювати шпон оцінювали визначенням міцності фанери на зріз. Крім того, були досліджені й інші фізико-механічні властивості фанери, зокрема вологість, водопоглинання і набрякання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год, межа міцності на статичний згин і модуль пружності. Змінними параметрами у дослідженні були температура пресування 140°C, 160°C, 180°C та витрата термопластичної плівки 130 г/м², 150 г/м², 170 г/м² та 190 г/м². Для порівняння властивостей фанери, виготовленої з термопластичної плівки, було виготовлено фанеру з використанням карбамідоформальдегідного клею.

Результати показали, що склеювання листів шпону ПЕНГ позитивно впливає на властивості фанери. Міцність на зріз зразків фанери, склеєних термопластичною плівкою, знаходиться в межах 1,46-1,69 МПа, що перевищує нормативне значення міцності в 1,0 МПа згідно стандарту EN 314-2. Температура пресування помітно впливає на проникнення полімеру у клітини та судини шпону. Механічне блокування, яке спостерігалось за час випробування зразків фанери на зріз, утворюється між неполярною плівкою і полярною деревиною. Крім того, з'ясовано розподіл температури всередині пакета шпону за різної витрати та виду клею. Оптимальними умовами для склеювання листів шпону у виробництві фанери, враховуючи товщину фанери та економічні затрати, є температура пресування 160°C та витрата термопластичної плівки 130 г/м².

Ключові слова: луцений шпон; поліетилен низької густини (ПЕНГ); карбамідо-формальдегідний клей; товщина; вологість; спресування; щільність; водопоглинання; набрякання; міцність на зріз; межа міцності на статичний згин; модуль пружності.

¹ Бехта Павло Антонович – академік 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. Тел.: +38-032-238-44-99. Факс: +38-032-237-89-05. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

² Кусняк Ірина Іванівна – асистент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>

Вступ. Деревинні композити мають комплекс цінних властивостей, що надає їм перевагу над традиційним конструкційним матеріалом (масивною натуральною деревиною). Невід'ємною складовою деревинних композиційних матеріалів є фанерна продукція, до якої відносяться різноманітні види фанери, а також LVL, PSL, LSL, OSB і продукти переробки деревинних відходів (деревинні пресовані маси) тощо (American wood council, 2017). Обсяги виробництва фанери в Україні впродовж 2000-2018 рр. зростали і станом на 2018 р. сягали 190 тис. м³ (рис. 1), тоді як світове виробництво фанери у 2017 р. досягло 157 млн м³ (FAOSTAT, 2017).

Для виготовлення такої кількості фанери необхідно використати багато смоли, приблизно 18 тис. тонн (Bekhta & Sedliačik, 2019). У виробництві фанери до сих пір найчастіше використовують синтетичні термореактивні клеї на основі феноло-формальдегідних (PF) та карбамідо-

формальдегідних (UF) смол. Суттєвим недоліком цих клеїв є висока токсичність, зумовлена виділенням вільного формальдегіду. Крім того, формальдегід виділяється в процесі експлуатації деревинних композитів, отриманих з використанням таких полімерів. На сьогодні існує значний попит на екологічно чисті речовини, тоді як широко використовувані смоли містять токсичні та канцерогенні сполуки. Важливим чинником, який впливає на погіршення екологічної ситуації, є викиди формальдегіду.

Шкідливі екологічні наслідки використання синтетичних термореактивних клеїв можуть призвести до пошкодження органів дихання, очей та нервової системи і навіть призвести до раку та лейкемії. Всесвітня організація охорони здоров'я (World Health Organization, 2004) також недавно прийшла до висновку, що формальдегід є канцерогеном для людини.

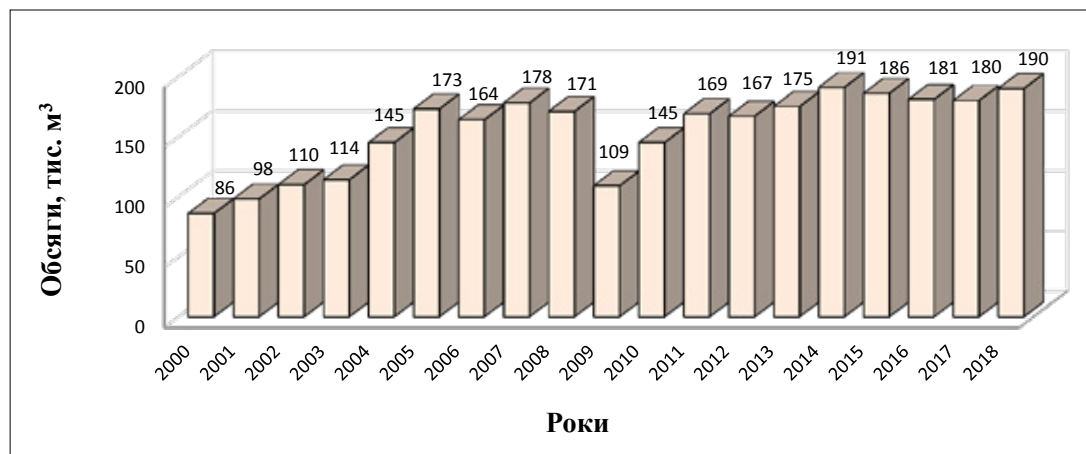


Рис. 1. Обсяги виробництва фанери в Україні (State Statistics Service of Ukraine, 2008-2018)

Впродовж останніх років здійснюють інтенсивний пошук вирішення проблеми зменшення токсичності деревинних композитних матеріалів. Однак, шляхи та засоби зменшення шкідливих викидів виробництва деревинних композитів, на жаль, до кінця не є вирішеними. Одним із можливих напрямів зменшення токсичності деревинних композитів – заміна термореактивних клеїв (PF та UF) на термопластичні клеї (поліетилен, поліпропілен, полістирол, полівінілхлорид). На сьогоднішній день є багато напрацювань у цьому напрямі. Запропоновано можливість склеювання листів шпону з пінополістиролом (Hu et al., 2005), фурановою смолою (Matsi et al., 2010, Piirlaid et al., 2010), поліуретановими клеями (Beaud et al., 2006) та поліефірними смолами (Hagdan et al., 2015). Одним із напрямів покращення якості фанери є використання як клею термопластичних полімерів – поліетилену високої густини (ПЕВГ), поліпропілену, полістиролу, полівінілхлориду у вигляді плівки (Lustosa et al., 2015, Fang et al., 2013, Fang et al., 2012, Han & Lee, 1997, Chang et al., 2017, Liiri, 2013, Zike & Kalnins, 2011, Song et al., 2016, 2017, Sorensen & Ky, 1933, Bekhta & Sedliačik, 2019).

Крім того, оскільки поліолефінові плівки можуть бути виготовлені з переробленої пластмаси, то деревинні композити на їхній основі також сприяють зменшенню пластичних відходів, що має величезні економічні, соціальні та екологічні переваги. Це дає можливість використовувати у виробництві деревинних композитів не лише первинні термопластичні полімери, але й вторинні полімери (відходи) (Borysiuk et al., 2010, Climenhage, 2003, Yorur, 2016, Kajaks et al., 2014, Smith et al., 2002, Cui et al., 2010).

В Україні фанеру виготовляють в основному з використанням березового шпону, тоді як багато зазначених вище робіт присвячені склеюванню лущеного шпону таких порід як тополя, червоне дерево, ялина, сосна та евкаліпт за допомогою термопластичних полімерів. Березовий лущений шпон намагалися склеїти за допомогою полістиролу та відходів термопластів (Borysiuk et al., 2010, Kajaks et al., 2014, Zike & Kalnins, 2011).

Виконані експериментальні дослідження присвячені вирішенню *актуальної проблеми* – виробництва деревинного композиту (фанери) на основі нетоксичних клеючих матеріалів. У способі виго-

товлення екологічно чистих деревинних композитних матеріалів на основі шпону завдяки тому, що замість рідкого синтетичного клею використовують термопластичну плівку, досягається зменшення токсичності готового матеріалу, скорочення циклу виготовлення композитних матеріалів, підвищення культури виробництва, зменшення втрат синтетичних клеїв, відпадає потреба в чищенні обладнання для нанесення клею (за його відсутності).

Матеріали та методика досліджень. Об'єкт дослідження – технологічний процес виготовлення фанери з використанням як клею термопластичної плівки поліетилену низької густини (ПЕНГ). Предмет дослідження – закономірності впливу витрати термопластичної плівки і температури пресування на властивості фанери. Мета дослідження – з'ясувати фізико-механічні властивості фанери, виготовленої з використанням лущеного березового шпону, склеєного термопластичною плівкою поліетилену низької густини (ПЕНГ).

Матеріали. Для виготовлення фанери використовували лущений березовий шпон розміром $300 \times 300 \times 1,6$ мм і вологістю $6 \pm 2\%$. Листи шпону відбирали візуально без видимих дефектів. Для склеювання листів шпону використовували термопластичну плівку з поліетилену низької густини (ПЕНГ) трьох товщин – 0,025 мм, 0,069 мм та 0,138 мм. З метою отримання різної витрати плівки 130 г/м^2 , 150 г/м^2 , 170 г/м^2 та 190 г/м^2 використовували набір плівок різної товщини. Зокрема, для витрати 130 г/м^2 використано один шар плівки товщиною 0,138 мм; для витрати 150 г/м^2 – два шари плівки товщиною 0,138 мм та 0,025 мм; 170 г/м^2 – три шари плівки товщиною 0,138 мм та два шари плівки 0,025 мм; 190 г/м^2 – два шари плівки товщиною 0,138 мм та 0,069 мм. У табл. 1 наведено основні властивості термопластичної плівки ПЕНГ.

Таблиця 1

Властивості поліетиленової плівки ПЕНГ

Параметр	Значення
Товщина плівки, δ , мм	1* – $0,025 \pm 0,002$; 2* – $0,069 \pm 0,002$; 3* – $0,138 \pm 0,003$;
Густина, ρ^{20} , г/см^3	1 – 0,911; 2 – 0,907; 3 – 0,916;
Температура плавлення, $T_{\text{пл}}$, °C	1 – 114 (105 – початок плавлення); 2 – 110 (103 – початок плавлення); 3 – 112 (108 – початок плавлення).

Примітка. 1*, 2*, 3* – поліетиленові плівки (ПЕНГ).

Термопластичні плівки формували таких самих розмірів, що й листи шпону. Для порівняння результатів використовували карбамідо-формальдегідний клей, який готували відповідно з рецептом виробництва. Як затверджувач використовували 20%-ий розчин NH_4Cl , як наповнювач – каолін.

Виготовлення зразків фанери. Для виготовлення п'ятишарової фанери листи шпону у пакеті вкладали за взаємно перпендикулярним напрямком волокон деревини у суміжних шарах. Між суміжними листами шпону вкладали термопластичну плівку (замість нанесення шару рідкого клею) (рис. 2). Карбамідо-формальдегідний клей під час формування пакета шпону наносили за допомогою валика вручну.



Рис. 2. Технологічний процес формування пакета шпону та його пресування

Сформований пакет шпону подавали в прес для гарячого пресування за наступними режимними параметрами (табл. 2).

Температура пресування пакетів шпону залежить від виду клею, зокрема від температури плавлення термопластичних плівок. Значення температур плавлення ПЕНГ знаходиться в межах $110-114^\circ\text{C}$, тому температура гарячого пресування має бути вищою ніж 114°C , щоб полімер добре розтікався по поверхні і проникав всередину шпону (Suberliak & Bashtannik, 2006). Також не рекомендується склеювати фанеру за температури вище 200°C , оскільки відбувається термічне розкладання компонентів деревини, що призводить до зменшення когезійної міцності клейового з'єднання (Gupalo, 1993).

Після гарячого пресування зразки фанери, виготовленої на основі термопластичних полімерів, піддавали стадії холодного пресування за кімнатної температури протягом 5 хв, щоб не допустити їх жолоблення. Для кожного режиму склеювання листів шпону з використанням термопластичної плівки та карбамідо-формальдегідного клею, було виготовлено три зразки фанери, які після склеювання кондиціонували 7 діб ($T = 20 \pm 2^\circ\text{C}$, $W = 65 \pm 5\%$). З кожної фанери вирізали зразки для визначення вологості, щільності, водопоглинання та набрякання після витримки у воді впродовж 24 год, межі міцності на зріз, межі міцності на згин та модуль пружності.

Визначення властивостей фанерних зразків. Товщину, щільність, вологість, водопоглинання і набря-

кання за товщиною після витримки у воді впродовж 24 год, міцність на зріз, межу міцності на статичне згинання та модуль пружності визначали відповідно до стандартів (EN 323 (1993), EN 310 (1993), EN 314-1 (2004), EN 314-2 (1993), EN 317 (1993)). Перед початком визначення водопоглинання після витримки у воді впродовж 24 год зразки фанери зважували, а для визначення набрякання після витримки у воді впродовж 24 год – заміряли товщину та занурювали у дистильовану воду на 24 год. Після замочування зразки виймали, залишки води приби-

рали фільтрувальним папером і зважували з точністю до 0,01 г – для визначення водопоглинання після витримки у воді впродовж 24 год. Також заміряли товщину зразків з точністю до 0,001 мм – для визначення набрякання після витримки у воді впродовж 24 год. Для визначення вологості зразки фанери зважували з точністю до 0,01 г і висушували у сушильній шафі з природною циркуляцією повітря за температури $103 \pm 2^\circ\text{C}$ до постійної маси. Після охолодження в ексікаторі з безводним хлористим кальцієм зразки зважували з тією ж точністю.

Таблиця 2

Умови виробництва фанери

Випробування	Умови виробництва фанери				
	Вид клею	Витрата клею, г/м ²	Температура пресування, °C	Тиск пресування, МПа	Час пресування, хв
1	ПЕНГ	130, 150, 170, 190	140, 160, 180	1,8	6,5
2	КФ-МТ	110	110		

Щільність зразків визначали їх зважуванням та замірюванням лінійних розмірів. Вимірювання товщини зразка розміром $50 \times 50 \times S$ мм здійснювали у точці перетинання діагоналей з точністю до 0,01 мм. Довжину і ширину зразків вимірювали відповідно до поперечної і повздовжньої осей з точністю до 0,1 мм.

Для випробування зразків фанери на міцність на зріз, їх попередньо замочували у воді кімнатної температури впродовж 24 год.

Визначення межі міцності на згин здійснювали навантаженням на взірець з постійною швидкістю до руйнування і фіксуванням максимального навантаження з точністю до 1%. Модуль пружності визначали замірюванням прогинання центральної частини зразка, досягнувши зусилля $F_1 = 10\%$ та $F_2 = 40\%$ максимального навантаження.

Спресування фанери C (%) обчислювали за формулою:

$$C = \left(1 - \frac{S_\phi}{S_n} \right) \cdot 100, \quad (1)$$

де S_n – товщина пакета шпону до склеювання, мм;

S_ϕ – товщина фанери, мм.

Товщину, густину та температуру плавлення термопластичної плівки ПЕНГ визначали відповідно до TU U 33.2-30291682-002 (2004), GOST 15139 (1969) та GOST 21553 (1976).

Результати досліджень. Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на фізичні і механічні властивості фанери проаналізовано за допомогою дисперсійного аналізу (ANOVA). Цей аналіз здійснювали за допомогою програми SPSS версії 22 (IBM Corp., Armonk, NY, USA). Отримані результати підсумовані в табл. 3.

Для визначення значущості впливу температури пресування та витрати термопластичної плівки на фізико-механічні властивості фанери, використовували тест множинних діапазонів Дункана з різницею між групами.

Групи з однаковими літерами в кожному стовпчику вказують, що між значеннями фізико-механічних показників фанери, згідно з тестом Дункана, немає статистичної різниці ($p \geq 0,05$). Результати множинного діапазону Дункана для зразків фанери, склеєної з плівкою ПЕНГ, порівнювали також із зразками фанери, склеєної КФК (табл. 6).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на товщину, спресування та щільність фанери. Метою замірювання товщини фанери було вибрати параметри пресування, за якими товщина фанери знаходилася в допустимих межах, щоб уникнути зайвої витрати сировини. Товщина фанери повинна відповідати Європейському стандарту EN 315. Згідно стандарту, середнє значення товщини фанери, склеєної з п'яти листів лущеного шару, має складати 6,5 мм і знаходитися у межах від 5,91 до 7,50 мм. У цьому дослідженні значення товщини фанери були 7,36 мм для зразків, виготовлених з використанням карбамідо-формальдегідного клею і, відповідно, 7,46-7,79 мм для зразків, виготовлених з використанням термопластичної плівки. Середні значення товщини та спресування зразків фанери наведені у табл. 7.

Аналіз ANOVA показав, що температура пресування, витрата та вид клею суттєво впливають на товщину фанери, тоді як на величину спресування фанери – тільки температура пресування та вид клею. На щільність фанери має суттєвий вплив лише вид клею (див. табл. 7).

Таблиця 3

Значення змінних параметрів у визначенні фізичних та механічних властивостей фанери, виготовленої з термопластичної плівки ПЕНГ за ANOVA

Залежні змінні	Товщина фанери		Спресування фанери		Щільність фанери		Вологість фанери		Водопоглинання фанери	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Витрата	124,273	0,000*	2,319	0,101**	0,110	0,954**	10,653	0,000*	33,773	0,000*
Температура	75,438	0,000*	51,164	0,000*	0,315	0,730**	11,998	0,000*	2,344	0,098**
Витрата × Температура	1,973	0,110**	0,119	0,993**	0,088	0,997**	1,614	0,150**	5,208	0,000*

Залежні змінні	Набрякання фанери		Міцність на зріз		Межа міцності на статичний згин		Модуль пружності	
	F	P	F	P	F	P	F	P
12	13	14	15	16	17	18	19	20
Витрата	3,138	0,026**	2,285	0,080**	43,487	0,000*	12,537	0,000*
Температура	77,644	0,000*	3,005	0,052**	65,585	0,000*	47,282	0,000*
Витрата × Температура	0,479	0,823**	0,471	0,829**	19,143	0,000*	3,623	0,003*

Таблиця 4

Значення змінного параметру клею у визначенні фізичних та механічних властивостей фанери за ANOVA

Залежні змінні	Товщина фанери		Спресування фанери		Щільність фанери		Вологість фанери		Водопоглинання фанери	
	F	P	F	P	F	P	F	P	F	P
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Клей	29,720	0,000*	38,439	0,000*	25,221	0,000*	147,448	0,000*	54,266	0,000*

Залежні змінні	Набрякання фанери		Міцність на зріз		Межа міцності на статичний згин		Модуль пружності	
	F	P	F	P	F	P	F	P
12	13	14	15	16	17	18	19	20
Клей	11,301	0,000*	64,865	0,000*	11,429	0,000*	6,030	0,000*

Примітка. F – значення F; * – суттєва різниця на рівні 5% ($P \leq 0,05$); ** – несуттєва різниця.

Таблиця 5

Тест Дункана для зразків фанери, виготовлених з плівки ПЕНГ

№ з.п.	Витрата плівки, г/м ²	Середнє значення	Група	Температура пресування, °C	Середнє значення	Група
1	2	3	4	5	6	7
Фізико-механічні властивості фанери						
Товщина, мм						
1	130	7,52	A	140	7,71	B
	150	7,57	B	160	7,60	A
	170	7,69	C	180	7,58	A
	190	7,74	D			

Продовж. табл. 5

1	2	3	4	5	6	7
Спресування, %						
2	130	9,54	B	140	9,05	A
	150	9,44	A, B	160	9,51	B
	170	9,38	A, B	180	9,72	C
	190	9,35	A			
Щільність, кг/м³						
3	130	675,04	A	140	675,28	A
	150	672,83	A	160	672,46	A
	170	672,26	A	180	671,38	A
	190	672,03	A			
Вологість, %						
4	130	4,77	B	140	4,66	B
	150	4,30	A	160	4,26	A
	170	4,26	A	180	4,17	A
	190	4,12	A			
Водопоглинання за 24 год, %						
5	130	40,20	C	140	38,33	A
	150	38,38	B	160	38,85	B
	170	38,24	B	180	38,46	A, B
	190	37,36	A			
Набрякання за 24 год, %						
6	130	10,95	A, B	140	10,25	A
	150	11,25	B	160	10,78	B
	170	10,82	A	180	12,23	C
	190	11,32	B			
Міцність на зріз, МПа						
7	130	1,49	A	140	1,50	A
	150	1,55	A, B	160	1,59	A, B
	170	1,58	A, B	180	1,61	C
	190	1,63	B			
Межа міцності на статичний згин, МПа						
8	130	96,97	A	140	97,99	A
	150	112,74	C	160	109,83	B
	170	106,82	B	180	110,50	B
	190	107,90	B			
Модуль пружності, МПа						
9	130	10709,95	A	140	10552,69	A
	150	11841,39	C	160	1198,37	B
	170	11154,04	B	180	12198,87	C
	190	11561,21	C			

Таблиця 6

Тест Дункана для зразків фанери, виготовлених з плівки ПЕНГ та КФК

Фізико-механічні властивості фанери						
№ з.п.	Товщина, мм					
1	2	3	4	5	6	7
1	Клей	КФ-МТ ¹	ПЕНГ130 ²	ПЕНГ150 ³	ПЕНГ170 ⁴	ПЕНГ190 ⁵
	Середнє значення	7,36	7,52	7,57	7,69	7,74
	Група	A	B	B	C	C

Продовж. табл. 6

1	2	3	4	5	6	7
Спресування, %						
2	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 6,99 А	ПЕНГ190 9,35 В	ПЕНГ170 9,38 В	ПЕНГ150 9,44 В	ПЕНГ130 9,54 В
Щільність, кг/м³						
3	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ190 672,03 А	ПЕНГ170 672,26 А	ПЕНГ150 672,83 А	ПЕНГ130 675,04 А	КФ-МТ 748,73 В
Вологість, %						
4	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ190 4,12 А	ПЕНГ170 4,26 А	ПЕНГ150 4,30 А	ПЕНГ130 4,77 В	КФ-МТ 8,63 С
Водопоглинання за 24 год, %						
5	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 34,09 А	ПЕНГ190 37,36 В	ПЕНГ170 38,24 С	ПЕНГ150 38,38 С	ПЕНГ130 40,20 D
Набрякання за товщиною за 24 год, %						
6	Клей Середнє значення Група	КФ-МТ 9,08 А	ПЕНГ170 10,82 В	ПЕНГ130 10,95 В	ПЕНГ150 11,24 В	ПЕНГ190 11,32 В
Міцність на зріз, МПа						
7	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 1,49 А	ПЕНГ150 1,55 А	ПЕНГ170 1,58 А	ПЕНГ190 1,63 А	КФ-МТ 2,89 В
Межа міцності на статичний згин, МПа						
8	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 96,97 А	ПЕНГ170 106,82 В	ПЕНГ190 107,90 В	КФ-МТ 109,29 В	ПЕНГ150 112,74 В
Модуль пружності, МПа						
9	Клей Середнє значення Група	ПЕНГ130 10709,95 А	ПЕНГ170 11154,04 А, В	ПЕНГ190 11561,21 В, С	ПЕНГ150 11841,39 С	КФ-МТ 12002,82 С

Примітка. КФ-МТ¹ – карбамідо-формальдегідний клей; ПЕНГ130², ПЕНГ150³, ПЕНГ170⁴, ПЕНГ190⁵ – відповідно термопластична плівка поліетилену низької густини з витратою 130, 150, 170 та 190 г/м².

Таблиця 7

Значення товщини, спресування та щільності фанери

Вид клею	Режим пресування				Товщина, мм	Спресування, %	Щільність, кг/м ³
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °C	Витрата клею, г/м ²			
1	2	3	4	5	6	7	8
КФК¹			110	110	7,36	6,98	748,73
ПЕНГ²	1,8	6,5	140	130	7,62	9,16	680,96
				150	7,68	9,06	673,74
				170	7,77	9,02	673,48
				190	7,79	8,97	672,95

Продовж. табл. 7

1	2	3	4	5	6	7	8
ПЕНГ ²	1,8	6,5	160	130	7,48	9,65	672,85
				150	7,53	9,54	672,87
				170	7,67	9,45	671,96
				190	7,74	9,39	672,18
			180	130	7,46	9,79	671,31
				150	7,51	9,72	671,88
				170	7,66	9,67	671,35
				190	7,70	9,68	670,97

Примітка. КФК¹ – карбамідо-формальдегідний клей; ПЕНГ² – поліетилен низької густини.

Середня товщина зразків фанери, склеєних термопластичною плівкою, виготовлених за різної температури та витрати клею, перевищує товщину контрольних зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм. Встановлено, що найменшу товщину (7,36 мм), найменше спресування (6,98%) та найбільшу щільність (748,73 кг/м³) мали зразки фанери, склеєної КФК. Дещо більшу товщину (7,79 мм), найбільше спресування (9,79%) та найменшу щільність (670,97 кг/м³) мали зразки фанери, склеєної ПЕНГ. Цей факт можна пояснити низькою витратою КФК (110 г/м²) через значну величину висихання клею. У зв'язку з цим, шви з КФК повинні бути більш тонкими і рівномірними за товщиною. Відповідно до цього, зразки фанери, склеєної КФК, матимуть низькі значення товщини та спресування. Дещо менші значення щільності зразків фанери, склеєних ПЕНГ, пояснюються найменшими значеннями їхньої вологості (до 5,29%).

Своєю чергою, поступове збільшення витрати ПЕНГ – від 130 до 190 г/м² впливає на збільшення

товщини фанери, а поступове підвищення температури пресування від 140 до 180°C – на зменшення товщини фанери (табл. 7). Тобто, чим більша витрата термопластичної плівки, тим більша буде товщина утвореного клейового шару (плівки) між листами шпону. Крім того, із збільшенням температури пресування плівка ПЕНГ стає еластичнішою, відповідно, легше стискається, і тим самим збільшується величина спресування (табл. 7).

Вплив параметрів пресування на товщину зразків фанери підтверджується їх значимістю на основі тесту Дункана (див. табл. 5, 6), тобто спресування залежатиме лише від температури (див. табл. 3). Встановлено, що різниця у значеннях щільності зразків фанери є незначною ($p \geq 0,05$), а тому залежить лише від виду клею (див. табл. 3, 6).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на вологість, водопоглинання та набрякання фанери. Середні значення вологості, водопоглинання та набрякання зразків фанери представлені у табл. 8.

Таблиця 8

Значення вологості, водопоглинання та набрякання фанери

Вид клею	Режим пресування				Вологість, %	Водопоглинання за 24 год, %	Набрякання за 24 год, %
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °C	Витрата клею, г/м ²			
КФК			110	110	8,63	34,09	9,08
				130	5,29	39,69	10,15
				150	4,58	38,22	10,41
				170	4,54	37,95	9,90
			140	190	4,22	37,45	10,53
				130	4,39	41,53	10,79
				150	4,25	39,10	10,95
				170	4,25	37,89	10,34
ПЕНГ	1,8	6,5	160	190	4,17	36,89	11,03
				130	4,63	39,38	11,92
				150	4,08	37,82	12,38
				170	3,99	38,89	12,21
			180	190	3,97	37,74	12,40

Встановлено, що значний вплив на вологість зразків фанери, склеєних термопластичними плівками, має температура пресування, витрата та вид клею ($p \leq 0,05$). Вологість фанери, склеєної на основі КФК, становить 8,63%, тоді як для фанери, склеєної на основі плівки ПЕНГ, волога знаходиться в межах від 3,97 до 5,29% (див. табл. 8). Насамперед, це можна пояснити низькою температурою пресування – 110°C для зразків фанери, склеєних КФК і, як наслідок, зростання температури всередині пакету шпона, що збільшує інтенсивність виділення вологи. Крім того, відбувається додаткове внесення вологи у пакет шпону карбамідо-формальдегідним клеєм, що є відсутнім у випадку використання термопластичних плівок. Більше того, із збільшенням температури пресування та витрати полімеру вологість фанери зменшується (див. табл. 8). На такий характер залежностей впливає здатність термопластичного полімеру під час склеювання листів шпону проникати в судини шпону, утворюючи механічне блокування шляхом формування ґратки в клейових шарах по всій діагоналі, не блокуючи структури деревини, тому волога легко може виходити із шпону через судини та волокна, розташовані поздовжньо (Lustosa et al., 2015, Goto et al., 1982, Kajaks et al., 2012). Відповідно, чим більша витрата ПЕНГ, тим більша його кількість проникатиме у шпон, і таким чином виштовхуватиме вологу із поверхні шпону.

Витрата клею, співвідношення витрати клею і температури та вид клею суттєво впливають на водопоглинання фанери після витримки у воді впродовж 24 год ($p \leq 0,05$). Невеликий приріст водопоглинання зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєних ПЕНГ (від 9,9 до 12,4%), порівняно із зразками фанери, склеєними КФК (9,08%), спостерігається у разі збільшення

температури пресування та зменшення витрати полімеру, що можна пояснити наслідком більшого спресування фанери.

Подібні закономірності спостерігаються і під час дослідження набрякання за товщиною зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год. Згідно тесту множинного діапазону Дункана, не існує статистичної різниці між значеннями набрякання фанери, склеєної ПЕНГ за різної витрати полімеру (див. табл. 5). Своєю чергою, суттєвий вплив на набрякання за товщиною зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год чинить температура пресування та вид клею (див. табл. 3, 4). Відповідно, набрякання зразків фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєних ПЕНГ, дещо збільшується порівняно із зразками фанери, склеєними КФК (на 8,28-26,77%), у разі збільшення температури пресування, як наслідок більшого спресування фанери (див. табл. 8).

Вплив температури пресування та витрати термопластичної плівки на міцність на зріз, межу міцності на згин і модуль пружності фанери. Середні значення межі міцності на зріз, межі міцності на згин і модуль пружності зразків фанери наведено у табл. 9.

За результатами досліджень зразки фанери, склеєні термопластичною плівкою, дещо відрізняються від зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, за значенням межі міцності на зріз. Незважаючи на відмінність між отриманими показниками міцності на зріз для КФК (2,89 МПа) та ПЕНГ (1,46-1,69 МПа), зразки фанери, склеєні термопластичною плівкою, мають досить високі показники міцності на зріз, які перевищують нормативне значення міцності в 1,0 МПа згідно стандарту EN 314-2.

Таблиця 9

Значення межі міцності на зріз та згин, модуля пружності фанери

Вид клею	Режим пресування				Міцність на зріз, МПа	Межа міцності на згин, МПа	Модуль пружності, МПа
	Тиск, МПа	Час, хв	Температура, °С	Витрата клею, г/м²			
КФК	1,8	6,5	110	110	2,89	109,29	12002,82
ПЕНГ			140	130	1,46	94,76	9786,71
				150	1,47	97,41	10525,37
				170	1,49	98,98	10422,44
				190	1,58	100,84	11476,28
				160	130	1,56	105,83
			150		1,57	118,32	12070,65
			170		1,58	110,30	11077,61
			190		1,65	104,87	11142,57
			180	130	1,47	90,34	11840,50
				150	1,61	122,49	12928,14
				170	1,69	111,17	11962,07
				190	1,67	118,00	12064,79

Дещо вище значення міцності на зріз фанери, виготовленої з використанням карбамідоформальдегідного клею, можна пояснити вищою її щільністю ($748,73 \text{ кг/м}^3$) порівняно з фанерою, виготовленою з використанням термопластичних плівок ($670,97\text{--}680,96 \text{ кг/м}^3$). Із збільшенням температури пресування зразків фанери та витрати термопластичного клею, межа міцності на зріз для зразків фанери, склеєних ПЕНГ, зростає (див. табл. 9). Цю тенденцію можна пояснити тим, що зі збільшенням

температури клейового шару (плівки) зумовлюється перехід полімеру із високоеластичного стану у в'язкотекучий ($T_m - T_g$), посилюється тепловий рух молекул і покращується процес проникнення рідкого полімеру в порожнини шпону, утворюючи механічне блокування (рис. 3). Відповідно, із збільшенням витрати термопластичної плівки, більша кількість рідкого полімеру проникає в шпон і заповнює більшу кількість його клітин та судин, що, своєю чергою, сприяє збільшенню міцності на зріз.

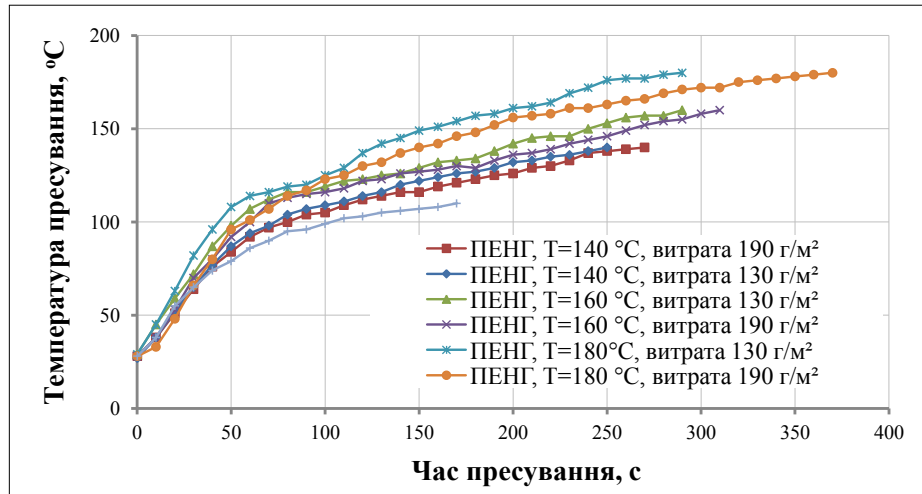


Рис. 3. Криві розподілу температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування

Щоб вивчити розподіл температури всередині пакета шпону під час гарячого пресування, необхідної для розтікання термопластичного полімеру ПЕНГ на поверхні шпону, було застосовано термопару, яку під час формування пакета шпону розміщували всередині пакета та підключали до цифрового мультиметра. Після розміщення пакета шпону в гарячому пресі в момент зімкнення плит преса включали секундомір. Температуру всередині пакета фіксували кожну секунду до того часу, поки вона не досягла температури пресування. Найповільніше прогрівався пакет шпону, склеєний карбамідоформальдегідним клеєм за температури 110°C . Всередині пакета шпону температура пресування була досягнута впродовж 170 с, тоді як для пакета шпону, склеєного термопластичними плівками за температур $140\text{--}180^\circ\text{C}$, час пресування становив 45–115 с, оскільки більшою була температура пресування.

Важливим чинником у виробництві фанери, склеєної термопластичними плівками, є їх температура плавлення (див. табл. 1). Температура плавлення всередині пакета шпону була досягнута за 120–125 с, 75–85 с та 60–80 с, відповідно для температур пресування 140, 160, 180°C та витрати полімеру від 130 до 190 г/м^2 . Зі збільшенням температури пресування швидкість нагрівання пакета шпону зростає, а зі збільшенням витрати клею – зменшується. Тривалість прогрівання пакета шпону, склеєного термопластичною плівкою ПЕНГ, залежно від температури пресування та витрати полімеру, складала 250–370 с (4,2–6,12 хв).

Під час випробувань зразків фанери на міцність на зріз було підтверджено відсутність хімічних зв'язків між плівкою та деревиною, оскільки елементи деревини можна легко відокремити від шару клею після короткочасного занурення у воду. Таким чином, міцність клейового з'єднання, отримана під час механічного випробування, свідчить про механізм механічного закріплення полімеру, який проникає в різні елементи деревини та просвіти в шпоні (рис. 4).

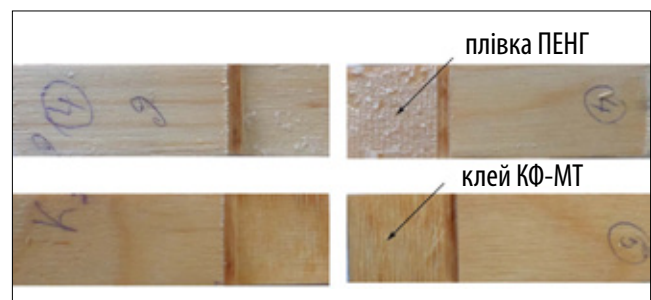


Рис. 4. Зразки фанери, склеєні КФ-МТ та ПЕНГ, для визначення міцності на зріз

Досить цікавою є поведінка термопластичного полімеру з витратою 130 та 190 г/м^2 за температури пресування 180°C . Спостерігалось зменшення показника міцності на зріз за витрати клею в 130 г/м^2 і температури пресування 180°C , що можливе через збільшення температури пресування, яка пришвидшує процес проникнення полімеру в порожнини шпону, тим самим зменшуючи його

кількість між поверхнями шпону. Аналогічне зменшення показника міцності на зріз було спостережено за витрати клею в 190 г/м^2 та температури пресування 180°C , що спричинено занадто високою витратою полімеру. Як наслідок, під час пресування частина розплавленої плівки витікала з фанери, відповідно, не вистачило плівки для склеювання листів шпону.

Враховуючи той факт, що вплив параметрів пресування на межу міцності на зріз фанери є несуттєвим ($p \geq 0,05$), а також беручи до уваги споживчі потреби в електроенергії, то, як наслідок, температура пресування 160°C буде економічно вигіднішою.

Отримані значення межі міцності на статичний згин та модуля пружності фанери з використанням термопластичної плівки співставні зі значеннями межі міцності на статичний згин та модулем пружності фанери з використанням карбамідо-формальдегідного клею.

Температура, витрата клею та вид клею суттєво впливають на межу міцності на статичний згин і модуль пружності фанери ($p \leq 0,05$). Середнє значення межі міцності на згин для зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, становить $109,29 \text{ МПа}$, а для зразків фанери, склеєних термопластичними плівками – $90,34\text{--}122,49 \text{ МПа}$ (див. табл. 9). Поряд з цим, середнє значення модуля пружності для зразків фанери, склеєних карбамідо-формальдегідним клеєм, становить $12002,82 \text{ МПа}$, а для зразків фанери, склеєних термопластичними плівками, – $9786,71\text{--}12928,14 \text{ МПа}$ (див. табл. 9).

Однак варто зазначити, що встановлені експериментальні залежності модуля пружності практично подібні до залежностей межі міцності на статичний згин, тому що вплив досліджуваних чинників на обидва показники в основному однаковий. Із збільшенням температури пресування та витрати термопластичних плівок межа міцності на згин та модуль пружності зростають подібно до міцності на зріз. Найменше значення межі міцності на згин ($90,34 \text{ МПа}$) було отримане для зразків фанери, склеєних за температури 180°C та витрати полімеру 130 г/м^2 . За тих же умов пресування було зафіксовано низьке значення міцності на зріз. Тому, з економічної погляду, доцільнішим є гаряче пресування листів шпону, склеєних термопластичними плівками за температури 160°C .

Висновки. Фанера, виготовлена з використанням термопластичної плівки ПЕНГ, має добрі показники щільності, вологості, водопоглинання та набрякання після витримки у воді впродовж 24 год, міцності на зріз, межі міцності на згин і модуля пружності.

Щільність досліджуваної фанери, склеєної ПЕНГ, зменшується незначно і не залежить від впливу температури пресування та витрати плівки.

За витрати полімеру 130 г/м^2 і температури пресування 140°C вологість фанери, склеєної ПЕНГ, є найбільшою – $5,29\%$; меншою ($3,97\%$) вона є у фанери, склеєної за витрати полімеру 190 г/м^2 і температури пресування 180°C .

Невеликий приріст водопоглинання фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєної ПЕНГ, (від $9,9$ до $12,4\%$) порівняно зі зразками фанери, склеєними КФК ($9,08\%$), спостережено у разі збільшення температури пресування та зменшення витрати полімеру.

Набрякання фанери після витримки у воді впродовж 24 год, склеєної ПЕНГ, дещо збільшується порівняно із фанерою склеєною КФК – на $8,28\text{--}26,77\%$ у разі зростання температури пресування.

Значення межі міцності на згин ($90,34\text{--}122,49 \text{ МПа}$) та модуля пружності ($9786,71\text{--}12928,14 \text{ МПа}$) для зразків фанери, склеєних ПЕНГ, співставні зі значеннями для зразків фанери, склеєних КФК (межа міцності на згин – $109,29 \text{ МПа}$, модуль пружності – $12002,82 \text{ МПа}$). Із збільшенням температури пресування та витрати термопластичної плівки межа міцності на згин і модуль пружності зростають.

Міцність на зріз фанери, склеєної ПЕНГ щільністю від $670,97$ до $680,96 \text{ кг/м}^3$, відповідає вимогам стандарту EN 314-2. Збільшення витрати полімеру від 130 до 190 г/м^2 збільшує значення міцності на зріз від $1,46$ до $1,69 \text{ МПа}$. Поряд з цим, спостережено зменшення показника міцності на зріз для фанери, склеєної ПЕНГ, за витрати полімеру 130 і 190 г/м^2 за температури пресування 180°C .

Враховуючи той факт, що вплив параметрів пресування на міцність на зріз для фанери є несуттєвим ($p \geq 0,05$), тому з економічного погляду доцільнішим є гаряче пресування листів шпону, склеєних термопластичними плівками за температури 160°C та витрати полімеру в 130 г/м^2 .

У підсумку можна зазначити, що використання термопластичної плівки ПЕНГ замість рідкого синтетичного клею дає змогу скоротити цикл виготовлення фанери (відсутність операції приготування рідкого клею), підвищити культуру виробництва, зменшити токсичність готового матеріалу. Важливо також, що відповідає потреба у чищенні обладнання для нанесення клею.

References

- Adhesives awareness guide (2017). American wood council. Available at <http://www.woodaware.info>
- Beaud, F., Niemz, P., & Pizzi, A. (2006). Structure-property relationships in one-component polyurethane adhesives for wood: Sensitivity to low moisture content. *Journal of Applied Polymer Science*, 101, 4181–4192. <https://doi.org/10.1002/app.24334>
- Bekhta, P., & Sedláček, J. (2019). Environmentally-Friendly High-Density Polyethylene-Bonded Plywood Panels. *Polymers (Basel)*, 11 (7), 1166, 1–21. <https://doi.org/10.3390/polym11071166>
- Borysiuk, P., Mamiński, M. Ł., Parzuchowski, P., & Zado, A. (2010). Application of polystyrene as binder for veneers bonding – the effect of pressing parameters. *European Journal of Wood and Wood Products*, 68 (4), 487–489. <https://doi.org/10.1007/s00107-010-0418-x>

- Chang, L., Guo, W., & Tang, Q. (2017). Assessing the tensile shear strength and interfacial bonding mechanism of poplar plywood with high-density polyethylene films as adhesive. *BioResources*, 12 (1), 571-585. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.571-585>
- Climenhage, D. (2003). *Recycled Plastic Lumber: A strategic Assessment of its production, use and future prospects*. Ontario: Environment & Plastics Industry Council
- Cui, T., Song, K., & Zhang, S. (2010). Research on utilizing recycled plastic to make environment-friendly plywood. *Forestry Studies in China*, 2 (4), 218-222. <https://doi.org/10.1007/s11632-010-0401-y>
- Fang, L., Chang, L., Guo, W., Chen, Y., & Wang, Z. (2012). Manufacture of environmentally friendly plywood bonded with plastic film. *Forest Products Journal*, 63 (7/8), 283-288. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-12-00062>
- Fang, L., Chang, L., Guo, W., Ren, Y., & Wang, Z. (2013). Preparation and characterization of wood-plastic plywood bonded with high density polyethylene film. *European Journal of Wood and Wood Products*, 71, 739-746. <https://doi.org/10.1007/s00107-013-0733-0>
- FAO. Global Production and Trade of Forest Products in 2017. Available online: <http://www.fao.org/forestry/statistics/80938/en/> (accessed on 19 January 2019)
- Goto, T., Saiki, H., & Onishi, H. (1982). Studies on wood gluing. XIII: Gluability and scanning electron microscopic study of wood-polypropylene bonding. *Wood Sci. Technol*, 16, 293-303. <https://doi.org/10.1007/BF00353157>
- Gupalo, O. P. (1993). *Wood Chemistry*. Kyiv: NMKVO. (in Ukrainian).
- Haghdan, S., Tannert, T., & Smith, G. (2015). Wettability and impact performance of wood veneer/polyester composites. *BioResources*, 10 (3), 5633-5654. <https://doi.org/10.15376/biores.10.3.5633-5654>
- Han, K-S., & Lee, H-H. (1997). Adhesion characteristics and anatomic scanning of plywood bonded by high density polyethylene. *Journal of the Korean Wood Science and Technology*, 25 (3), 16-23 (in Korea).
- Hu, Y., Nakao, T., Nakai, T., Gu, J., & Wang, F. (2005). Vibrational properties of wood plastic plywood. *Journal of Wood Science*, 51 (1), 13-17. <https://doi.org/10.1007/s10086-003-0624-9>
- Kajaks, J., Kalniņš, K., Reihmane, S., & Bernava, A. (2014). Recycled thermoplastic polymer hot melts utilization for birch wood veneer bonding. *Progress in Rubber, Plastics and Recycling Technology*, 30(2), 87-102 <https://doi.org/10.1177/147776061403000202>
- Liiri, M. (2013). Properties of a new thermoplastic plywood product. School of Chemical Technology Degree Programme of Forest Products Technology. Master's thesis for the degree of Master of Science in Technology submitted for inspection, Espoo, 110 p.
- Lustosa, ECB, Del Menezzi, CHS, & de Melo, R.R. (2015). Production and properties of a new wood laminated veneer/high-density polyethylene composite board. *Materials Research*, 18 (5), 994-999. doi: <http://dx.doi.org/10.1590/1516-1439.010615>
- The basic industrial products manufacture (2000–2018). Express issue. State Statistics Service of Ukraine. Available at <http://www.ukrstat.gov.ua> (in Ukrainian).
- Matsi, M., Rohumaa, A., Piirlaid, M., Hughes, M., & Meier, P. (2010). Assessing the potential of furan polymer-based resin development in bonded veneer processing factors on adhesive bond strength. *Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE)*. Tallinn: Estonia
- Piirlaid, M., Rohumaa, A., Matsi, M., Hughes, M., & Meier, P. (2010). Effect of birch veneer processing factors on adhesive bond strength development. *Proceedings of the 6th meeting of the Nordic-Baltic Network In Wood Material Science And Engineering (WSE)*. Tallinn: Estonia
- Smith, M.J., Dai, H., & Ramani, K. (2002). Wood-thermoplastic adhesive interface—method of characterization and results. *International Journal of Adhesion & Adhesives*, 22 (3), 197-204. [https://doi.org/10.1016/S0143-7496\(01\)00055-0](https://doi.org/10.1016/S0143-7496(01)00055-0)
- Song, W., Wenbang, W., Congrong, R., & Shuangbao, Z. (2016). Developing and evaluating composites based on plantation eucalyptus rotary-cut veneer and high-density polyethylene film as novel building materials. *BioResources*, 11 (2), 3318-3331. <https://doi.org/10.15376/biores.11.2.3318-3331>
- Song, W., Wenbang, W., Xuefei, L., & Shuangbao, Z. (2017). Utilization of polypropylene film as an adhesive to prepare formaldehyde-free, weather-resistant plywood-like composites: Process optimization, performance evaluation, and interface modification. *BioResources*, 12 (1), 228-254. <https://doi.org/10.15376/biores.12.1.228-254>
- Sorensen, R., & Ky, L. (1933). Dry film gluing in plywood manufacture. *The American Society of Mechanical Engineers*, 37-48.
- Suberliak O. V. & Bashtannik P. I. (2006). The polymeric and composite materials processing technology. Kyiv: ISDO (in Ukrainian).
- World Health Organization. (2004). IARC classifies formaldehyde as carcinogenic to humans. International Agency for Research on Cancer. Available at www.iarc.fr/ENG/Press-Releases/archives/pr153a
- Yorur, H. (2016). Utilization of waste polyethylene and its effects on physical and mechanical properties of oriented strand board. *BioResources*, 11 (1), 2483-2491. <https://doi.org/10.15376/biores.11.1.2483-2491>
- Zike, S., & Kalnins, K. (2011). Enhanced impact absorption properties of plywood. *Civil Engineering' 11 3rd International Scientific Conference*

- Proceedings, Vol. 3*, 125-130. Jelgava, Latvia: University of Agriculture
- TU U 33.2-30291682-002 (2004). The «Microtech» Micrometers. Technical conditions of the private research and production enterprise company «Mikroteh»: Kharkiv, Ukraine (in Russian).
- GOST 15139 (1969). Plastics. Density determination methods (mass density); The state standard of the USSR: Moscow, Russia (in Russian).
- GOST 21553 (1976). Plastics. Plastics. Melting temperature determination methods; An International standard: Moscow, Russia (in Russian).
- EN 323 (1993). Wood-Based Panels-Determination of Density; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 310 (1993). Wood-Based Panels-Determination of Modulus of Elasticity in Bending and of Bending Strength; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 314-1 (2004). Plywood-Bonding Quality-Part 1: Test Methods; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 314-2 (1993). Plywood-Bonding Quality-Part 2: Requirements; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 317 (1993). Particleboards and Fibreboards. Determination of Swelling in Thickness after Immersion in Water; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium
- EN 315 (2000). Plywood. Tolerances for Dimensions; European Committee for Standardization: Brussels, Belgium

Свойства фанеры с использованием как клея термопластичной пленки

П. А. Бэхта¹, И. И. Кусняк²

Предложено использование термопластичной пленки низкой плотности (ПЭНП) в производстве фанеры вместо классических синтетических клеев, что позволяет получать экологически чистый материал. Способность термопластичной пленки склеивать шпон оценивали определением прочности фанеры на срез. Кроме того, исследованы и другие физико-механические свойства фанеры, в

частности, влажность, водопоглощение и набухание по толщине после выдержки в воде в течение 24 ч, предел прочности при статическом изгибе и модуль упругости. Переменными параметрами в исследовании были температура прессования 140°C, 160°C, 180°C и расход термопластичной пленки 130, 150, 170 и 190 г/м². Для сравнения свойств фанеры, изготовленной из термопластичной пленки, было изготовлено фанеру с использованием карбамидо-формальдегидного клея.

Результаты показали, что склеивание листов шпона ПЭНП положительно влияет на свойства фанеры. Плотность исследуемой фанеры, склеенной ПЭНП, уменьшается незначительно и не зависит от влияния температуры прессования и расхода пленки. При расходе полимера в 130 г/м² и температуры прессования 140°C влажность фанеры, склеенной ПЭНП, несколько выше – 5,29%. Меньшая влажность (3,97%) обнаружена у фанеры, склеенной при расходе полимера в 190 г/м² и температуры прессования 180°C. Небольшой прирост водопоглощения фанеры после выдержки в воде в течение 24 ч, склеенной ПЭНП (от 9,9 до 12,4%), по сравнению с образцами фанеры, склеенными КФК (9,08%) наблюдается при увеличении температуры прессования и уменьшении расхода полимера. Набухание фанеры после выдержки в воде в течение 24 ч, склеенной ПЭНП, несколько увеличивается по сравнению с фанерой, склеенной КФК (на 0,82-3,32%) при увеличении температуры прессования. Значение предела прочности на изгиб (90,34-122,49 МПа) и модуля упругости (9786,71-12928,14 МПа) для образцов фанеры, склеенных ПЭНП, сопоставимы со значениями для образцов фанеры, склеенных КФК (предел прочности при изгибе – 109,29 МПа, модуль упругости – 12002,82 МПа). Предел прочности на срез фанеры, склеенной ПЭНП плотностью от 670,97 до 680,96 кг/м³, соответствует требованиям стандарта EN 314-2. Увеличение расхода полимера от 130 до 190 г/м² увеличивает значение предела прочности на срез от 1,46 до 1,69 МПа.

Температура прессования заметно влияет на проникновение полимера в клетки и сосуды шпона. На этом основании было установлено распределение температуры внутри пакета шпона с различным расходом и видом клея. Оптимальными условиями для склеивания листов шпона в производстве фанеры, учитывая толщину фанеры и экономические затраты, является температура прессования 160°C и расход термопластичной пленки в 130 г/м².

Необходимо отметить, что использование термопластичной пленки ПЭНД вместо жидкого синтетического клея позволяет сократить цикл изготовления фанеры (отсутствие операции приготовления жидкого клея), повысить культуру производства, уменьшить токсичность готового материала и отпадает необходимость в чистке оборудования для нанесения клея (при его отсутствии).

Ключевые слова: лущенный шпон; полиэтилен низкой плотности (ПЭНП); карбамидо-формальдегидный клей; толщина; влажность;

¹ Бэхта Павло Антонович – академик Лесной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-238-44-99, E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>.

² Кусняк Ирына Ивановна – ассистент кафедры технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-238-44-99, + 38-093-622-18-08. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>.

спрессованные; плотность; водопоглощение; набухание; предел прочности на срез; предел прочности при статическом изгибе; модуль упругости.

The properties of plywood with thermoplastic film using as glue

P. Bekhta¹, I. Kusniak²

Using of low density polyethylene thermoplastic film (LDPE) in the plywood production instead of classic synthetic adhesives enabling environmentally friendly material is proposed. The ability of the thermoplastic film to glue veneer was evaluated by determining the shear strength of the plywood. Furthermore, other physical and mechanical plywood properties were studied, in particular, moisture, water absorption and thickness swelling after soaking in water for 24 h, the bending strength and the modulus of elasticity in bending. Variable parameters in the research were the pressing temperature of 140°C, 160°C, 180°C and the thermoplastic film dosage 130 g/m², 150 g/m², 170 g/m² and 190 g/m². The plywood using urea-formaldehyde adhesive (UFA) was made to compare with the plywood properties made of thermoplastic film.

The results showed that gluing the sheets of veneer LDPE has a positive effect on the plywood properties. The density of the studied glued plywood LDPE decreases slightly and does not depend on the influence of the pressing temperature and the film dosage. For the polymer dosage of 130 g/m² and the pressing temperature of 140°C, the moisture content of

the glued LDPE is the highest – 5,29%, less 3,97% – for the plywood glued at the polymer dosage 190 g/m² and the pressing temperature 180°C. Small increase in the plywood water absorption after soaking in water during 24 hours glued LDPE from 9,9 to 12,4% compared to the glued plywood samples of UFA – 9,08% is observed in case of pressing temperature increasing and the polymer dosage reducing. The plywood swelling after soaking in the water during 24 h glued LDPE slightly increases compared to the glued plywood UFA by 0,82-3,32% in case of the pressing temperature increasing.

The values of the bending strength (90,34-122,49 MPa) and the modulus of elasticity in bending (9786,71-12928,14 MPa) for the glued plywood samples of LDPE are comparable with the values for glued plywood samples of LDPE (the bending strength – 109,29 MPa, the modulus of elasticity in bending – 12002,82 MPa). The glued plywood shear strength of LDPE with a density from 670,97 to 680,96 kg/m³ correspond with the standard requirements EN 314-2. The polymer dosage increasing from 130 g/m² to 190 g/m² increases the tensile strength limit value from 1,46 to 1,69 MPa.

Pressing temperature significantly effects on the polymer penetration into cells and veneer vessels. On this basis, the temperature distribution inside the veneer package at different dosage and types of glue was determined.

The optimal conditions for bonding veneer sheets in the plywood production, taking into account the plywood thickness and economic costs, are the compression temperature of 160°C and the thermoplastic film dosage 130 g/m².

It should be noted that using a LDPE thermoplastic film instead of liquid synthetic glue is allowed to shorten the plywood production cycle (no operation of liquid glue preparation), increase the culture production, reduce the finished material toxicity and there is no need in cleaning equipment and the glue application (in its absence).

Key words: rotary-cut veneer; low density polyethylene (LDPE); urea-formaldehyde adhesive; thickness; humidity; compression; density; water absorption; thickness swelling; shear strength; bending strength; modulus of elasticity in bending.

¹ *Pavlo Bekhta* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, Generala Chuprynyk st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-44-99, E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4320-5247>

² *Iryna Kusniak* – assistant of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, Generala Chuprynyk st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: + 38-032-238-44-99. E-mail: iryna.rondyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3980-3110>

10. ХРОНІКА

УДК 630*(092)

Засновник українського природознавства, етнограф, педагог, громадський діяч (до 100-річчя від дня смерті Івана Верхратського)

В.Я. Заячук¹

Науковець-натураліст Іван Верхратський вважається засновником українського природознавства, найкращим фахівцем з термінології у різних природничих науках кінця XIX – початку XX ст., є автором перших україномовних підручників з ботаніки, зоології, мінералогії.

Сформовані Іваном Верхратським ентомологічні колекції згодом зробили його визнаним ентомологом. Колекції жуків і метеликів ученого до цього часу зберігаються у Державному природознавчому музеї НАН України (м. Львів). Іван Верхратський був дійсним членом Наукового Товариства ім. Тараса Шевченка у Львові, де очолював математично-природничо-лікарську секцію.

Івану Верхратському належить ініціатива створення заповідника «Степ Панталиха» на Тернопільському Поділлі площею близько 500 га, який являв собою унікальний степовий ботаніко-орнітологічний комплекс на основі системи долин, лугів і водних об'єктів.

Іван Верхратський – автор понад 200 наукових праць, фольклорних матеріалів, словників, збірників, монографій та підручників. Учений у своїх працях активно відстоював самостійність української мови. Він зробив великий вклад у розвиток українського шкільництва, видавши українською мовою для українських середніх шкіл підручники «Ботаніка» (1893), «Мінералогія» (1894), «Зоологія» (1895) та інші.

Проте Іван Верхратський більше відомий як засновник української науково-природничої (ботанічної та зоологічної) номенклатури і термінології. В експедиціях Іван Верхратський детально збирав народні назви рослин і тварин українською мовою з різних етнографічних регіонів українських земель та вперше опрацював біологічну (ботанічну та зоологічну) номенклатуру, яку опублікував у шести томах. Власне на науковому доробку Івана Верхратського, в основному, базується сучасна україномовна наукова ботанічна та зоологічна номенклатура і термінологія.

Ключові слова: природознавчі дослідження; етнографічний доробок; педагогічна робота, громадська активність, природоохоронні ініціативи; ботанічна та зоологічна номенклатура і термінологія.

Науковець-натураліст Іван Верхратський вважається засновником українського природознавства, найкращим фахівцем з термінології у різних природничих науках кінця XIX – початку XX ст., є автором перших україномовних підручників з ботаніки, зоології, мінералогії.

Народився 24 квітня 1846 р. в с. Більче-Золоте (тепер – Борщівський район) на Тернопільщині в родині священика Григорія Верхратського (1798–1848) – пароха церкви Св. Михаїла. Проте згодом мати з чотирма дітьми переїхала до Львова (після смерті батька у 1848 р.), де малий Іван старанно на-

вчався у міській школі, а, згодом, з 1857 р. – в Академічній гімназії, яка власне в той час почала використовувати українську (руську) мову навчання. Під час навчання Іван збирав гербарії рослин та колекції комах, почав писати перші праці з природознавства. Закінчивши Академічну гімназію у Львові у 1865 р. з відмінними знаннями, він вступає на філологічний (за іншими даними – філософський) факультет Львівського університету. Завершивши навчання у 1868 р., Іван Верхратський здобуває спеціальність філолога. Того ж року він розпочинає свою педагогічну працю на посаді молодшого учителя у Дрого-

¹ Заячук Василь Яремович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри ботаніки, деревинознавства і недревних ресурсів лісу, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-235-10-48, +38-067-840-05-16. E-mail: zayachuk_vsim@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0342-2482>

бицькій державній гімназії імені Франца Йосифа I, викладаючи українську (руську) та німецьку мови, а також природничу історію (Melnyk, 2016). Серед його учнів був також Іван Франко.

Стараннями І. Верхратського у Дрогобицькій державній гімназії було організовано літературний гурток. До його складу, разом з І. Франком, належало ще 12 учнів, які під керівництвом І. Верхратського студіювали твори низки українських письменників, зокрема Т. Шевченка, П. Куліша, М. Драгоманова. Згодом (26.04.1890 р.) І. Франко згадував про тогочасні початки своєї літературної кар'єри під натхненням І. Верхратського у листі до М. Драгоманова (Lazorak & Lazorak, 2013).

Під час роботи в Дрогобицькій державній гімназії у 1868 р. після створення Товариства «Просвіта» у Львові Іван Верхратський намагався організувати також в Дрогобичі таке ж Товариство, проте через сильні тутешні москвофільські настрої ця спроба виявилася невдалою (Shalata, 2010).

Протягом 20 років Іван Верхратський працював у різних українських гімназіях Галичини: з 1871 р. він учитель у реальній школі, з 1875 р. – у III гімназії ім. Франца Йосифа у Львові (на нинішній вул. Князя Романа), з 1879 р. – старший учитель у Станіславі, з 1891 р. – в Ряшеві (Жешуві), де викладав, зокрема, природознавство. З 1892 р. І. Верхратський почав працювати професором природи в Академічній гімназії у Львові (в якій колись і вчився), звідки і виходить на пенсію у 1908 р. (Melnyk, 2016).

Фах біолога втілював у І. Верхратського у формування ентомологічних колекцій, що зробили його згодом визнаним ентомологом. Для вдосконалення своїх знань із зоології Іван Верхратський вступив на природничі курси в Ягелонському університеті м. Кракова. Кваліфікацію зоолога він опановує під керівництвом завідувача кафедри зоології Максиміліана Сили-Новицького, відомого тогочасного натураліста (народився 9.10.1826 р. у с. Яблунів Коломийського повіту (тепер – Косівський район Івано-Франківської області). Отримавши диплом зоолога у 1874 р., Іван Верхратський працевлаштувався вчителем у гімназії м. Жешув. Проте, починаючи з 1893 р. і до кінця свого життя, він працює у Музеї ім. Дідушицьких (тепер – Державний природознавчий музей Національної Академії Наук України) у Львові. Його колекції жуків і метеликів, зібрані в експедиціях по Львівщині, Станіславщині та Тернопільщині, зараз зберігаються у Державному природознавчому музеї (м. Львів). Хоча Іван Верхратський був відомим ентомологом XIX ст., він також вивчав видовий склад риб водних об'єктів Галичини та виявив тут головлінь і вирезуба, які раніше не були описані для регіону (Zamogoika, 2019).

Іван Верхратський був членом філологічної комісії Краківської Академії Наук з 1878 р., а також членом Орнітологічного товариства у Відні.

Іван Верхратський був одним із перших членів, а з 1889 р. – дійсним членом Наукового Товариства ім. Тараса Шевченка у Львові. У Товаристві він першим очолював математично-природничо-лікарську

секцію. У 1895 р. власне за наполяганням І. Верхратського у «Наукових Записках» Товариства почали публікувати не тільки літературні добробки авторів, але і природничі, математичні та лікарські (Zamogoika, 2019). Він був редактором збірника цієї секції з 1897 по 1919 рр., а з 1905 р. — почесним членом НТШ (Zheleznyak & Kozachuk, 2014, Ivan Verkhatskyi [n.d.]).

Івану Верхратському належить ініціатива створення заповідника «Степ Панталіха» на Тернопільському Поділлі площею близько 500 га, який являв собою унікальний степовий ботаніко-орнітологічний комплекс на основі системи долин, лугов і водних об'єктів – боліт, джерел, озер, малих річок і потічків. Незважаючи на підтримку австрійського уряду, зберегти цю цінну екосистему завадила Перша світова війна. На жаль, згодом, впродовж польського періоду, унікальні природні ландшафти Панталіхи були розорані та втрачені для науки і спільноти (Melnyk, 2016).

Іван Верхратський – автор понад 200 наукових праць, фольклорних матеріалів, словників, збірників, монографій і підручників.

Під час своїх етнографічних експедицій у 1897 і 1899 рр. Іван Верхратський досліджував південно-західні українські говори та фольклор лемків Словаччини з південних схилів Карпат і галицьких лемків з північних схилів Карпат. У своїх опублікованих працях з української діалектології й лексикології, зокрема «Знадоби до словаря южноруского» (1877), «Говір заміщанців» (1894), «Знадоби до пізнання угорсько-руських говорів» (1901), «Про говір долівський» (1900), «Про говір галицьких лемків» (Львів, 1902), «Говір батюків» (1912) та ін. (Zheleznyak & Kozachuk, 2014), він зібрав численні пісні, оповідання, приказки, загадки, приповідки та описи звичаїв. Ці його ґрунтовні праці є цінним надбанням для сучасних мовознавців з метою вивчення особливостей формування галицьких і закарпатських діалектів.

Учений активно відстоював самостійність української мови у працях «У справі народного язика» (1873) та «В ділі упорядкування правопису» (1880), а також готував матеріали до словника української мови (Ivan Verkhatskyi [n.d.]).

Починаючи з 1880 р., у Станіславі Іван Верхратський видавав літературно-науковий журнал «Денниця». Також перекладав твори польських (зокрема твори Юлія Словацького), німецьких та російських письменників. Йому належать рецензії на твори Ю. Федьковича та «Німецько-руський словар» О. Партицького (Ivan Verkhatskyi [n.d.]).

Іван Верхратський зробив значний внесок у розвиток українського шкільництва. Так, починаючи з 1893 р., він видає для українських середніх шкіл українською мовою підручники: «Ботаніка» (1893), «Мінералогія» (1894), «Зоологія» (1895), «Соматологія» (1897), «Ботаніка на низшій класі шкіл середніх» (1898), «Ботаніка на низшій класі шкіл середніх» (1905). Згодом у 1907 р. студенти Галичини отримали його україномовний підручник для уні-

верситетів «Зоологія» (1907) (Barna & Barna, 2013, Zamoroka, 2019).

Іван Верхратський у книзі «Соматологія» (Львів, 1897) розглядає людський організм як єдність духовного і тілесного начала. Учений вказує на важливість соціальної гігієни для якості і тривалості життя. Свої висновки він резюмує фразою: «Жий умірено, хорони закон Божий у твоїм серці!» (Ivan Verkhratskyi [n.d.]).

Іван Верхратський вдосконалював свою кваліфікацію в наукових установах, ботанічних садах, музеях Будапешта, Відня, Венеції, Парижа, Цюриха, в експедиціях по Галичині, Буковині, Закарпаттю, півдню та півночі України.

Проте Іван Верхратський більше відомий як засновник української науково-природничої (ботанічної та зоологічної) номенклатури і термінології. Вчений зробив перші спроби у формуванні української природничо-наукової термінології ще у 17-річному віці, коли надрукував свої «Матеріали до словаря зоологічного» у львівському тижневику «Вечорниці» (випуск 11, 12) у 1863 р. (Ivan Verkhratskyi [n.d.]).

Впродовж 1864-1879 рр. за результатами експедиційних досліджень Іван Верхратський детально збирає народні назви рослин і тварин українською мовою з різних етнографічних регіонів українських земель та вперше опрацьовує біологічну (ботанічну і зоологічну) номенклатуру, яку публікує у шести томах, починаючи з праці «Початки до уложення номенклатури й термінології природописної, народної» (1864), де навів близько чотирьох тисяч місцевих назв рослин, звірів, птахів, риб, плазунів, молюсків, комах. Власне на науковому доробку Івана Верхратського, в основному, базується сучасна україномовна наукова ботанічна та зоологічна номенклатура і термінологія (Romanchik, 1992). Тлумачний словник з мінералогічної термінології за авторством вченого побачив світ у 1909 р. (Ivan Verkhratskyi [n.d.]).

Знаний український натураліст до виходу на пенсію у 1908 р. працював професором природи у Львівській Академічній гімназії (в якій колись і вчився). Іван Верхратський був одружений з Оленою з Русинів (1870-1951).

Помер учений у Львові 29 листопада 1919 р. та похований на Личаківському цвинтарі на полі №3 в гробівці Верхратських і Русинів за могилами Шашкевичів і Барвінських. У 1946 р. іменем Івана Верхратського названа одна із вулиць м. Львова (вул. Голomba, 8), на якій він прожив останні роки життя у власній кам'яниці (Melnyk, 2016).

References

- Barna, M.M., & Barna, L.S. (2013). *Prominent botanical scientists*. Ternopil: Ternograph (in Ukrainian).
- Lazorak, B., Lazorak, T. (2013). *Drohobych Tsar-Royal Grammar School of Franz Joseph I during the First*

World War (1914-1916). Drohobych: Intercollegiate Collection of Drohobych Ivan Franko State Pedagogical University, 4, 29-63 (in Ukrainian).

Melnyk, I. (2016). *Think of Ivan Verkhratskyi*. Available at: <http://zbruc.eu/node/50747> (in Ukrainian).

Romanchik, O.K. (1992). *Axioms for posterity: Ukrainian names in world science*. Lviv: Memorial Historical Educational Organization (in Ukrainian).

Shalata, M. (2010). *Century of Drohobych «Enlightenment»*. Lviv: Institute of Ukrainian Studies. I. Krypiakevich NAS of Ukraine, 19, 287-293 (in Ukrainian).

Verkhratskyi Ivan (1846-1919). (n.d.). Available at: http://tobm.org.ua/?page_id=4092 (in Ukrainian).

Verkhratskyi Ivan (n.d.). Available at: <http://www.ukrainians-world.org.ua/peoples/aaf89b04695c1632/> (in Ukrainian).

Zamoroka, A.M. (2019). *One person: Jan Hryhir Verkhratskyi*. Available at: <http://www.naturalist.if.ua/?p=160> (in Ukrainian).

Zheleznyak, M., Kozachuk, G. (2014). *Ukrainian language. Reader. Book 1*. (pp. 100-116). Kyiv: MP Dragomanov National Pedagogical University (in Ukrainian).

Учредитель украинского естествознания, этнограф, педагог, общественный деятель (к 100-летию со дня смерти Ивана Верхратского)

В.Я. Заячук¹

Ученый-естествоиспытатель Иван Верхратский считается основателем украинского естествознания, выдающимся специалистом по терминологии в различных естественных науках конца XIX – начала XX века. Автор первых украиноязычных учебников по ботанике, зоологии, минералогии.

Иван Верхратский родился 24 апреля 1846 г. на Тернопольском Подолье. Окончил во Львове Академическую гимназию и Львовский университет, где получил специальность филолога. Преподавал в Дрогобычской государственной гимназии имени Франца Иосифа I. Среди его учеников был также Иван Франко. В течение 20 лет Иван Верхратский работал в различных украинских гимназиях Галичины.

Сформированные Иваном Верхратским энтомологические коллекции впоследствии сделали его признанным энтомологом. Коллекции жуков и бабочек до сих пор хранятся в Государственном

¹ Заячук Василий Яремович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры ботаники, древесиноведения и недревесных ресурсов леса. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-235-10-48, + 38-067-840-05-16. E-mail: zayachuk_vsim@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0342-2482>

природоведческом музее НАН Украины (г. Львов). Иван Верхратский был действительным членом Научного общества им. Тараса Шевченко во Львове, где возглавлял математическо-естественно-врачебную секцию.

Ивану Верхратскому принадлежит инициатива создания заповедника «Степь Панталыха» на Тернопольском Подолье площадью около 500 га, который представлял собой уникальный степной ботанико-орнитологический комплекс на основе системы долин, лугов и водных объектов.

Иван Верхратский – автор более 200 научных работ, фольклорных материалов, словарей, сборников, монографий и учебников. Ученый в своих работах активно отстаивал самостоятельность украинского языка. Он сделал большой вклад в развитие украинского образования, выдал на украинском языке для украинских средних школ учебники: «Ботаника» (1893), «Минералогия» (1894), «Зоология» (1895) и другие.

Иван Верхратский также известен как основатель украинской научно-естественной (ботанической и зоологической) номенклатуры и терминологии. В экспедициях Иван Верхратский подробно собирал украинские народные названия растений и животных в различных этнографических регионах украинских земель и впервые разработал биологическую (ботаническую и зоологическую) номенклатуру, которую опубликовал в шести томах. Собственно, на научном наследии Ивана Верхратского базируется современная украиноязычная научная ботаническая и зоологическая номенклатура и терминология.

Известный украинский натуралист в 1908 году вышел на пенсию. Умер во Львове 29 ноября 1919 года. Похоронен на Лычаковском кладбище.

Ключевые слова: естественные исследования; этнографическое наследие; педагогическая работа, общественная активность, природоохранные инициативы; ботаническая и зоологическая номенклатура и терминология.

Founder of Ukrainian natural science, ethnography, educator, and social activist (to the 100th anniversary of the death of Ivan Verkh ratskyi)

V. Zayachuk¹

Natural scientist Ivan Verkh ratskyi is considered as founder of Ukrainian natural science, the best specialist in terminology in various natural sciences of

the late XIX – early XX centuries. He is the author of the first Ukrainian-language textbooks on botany, zoology and mineralogy.

Ivan Verkh ratskyi was born on April 24, 1846 in the Ternopil region. He graduated Academic Gymnasium and the University of Lviv, where he received his specialty in philology, him. He taught at Drohobych State High School named after Franz Joseph I. Ivan Franko was one of his students. In this gymnasium, Ivan Verkh ratskyi organized a literary circle. For 20 years, Ivan Verkh ratskyi worked in various Ukrainian high schools in Galychyna.

The entomological collections formed by Ivan Verkh ratskyi subsequently made him a recognized entomologist. His collections of beetles and butterflies are now stored in the State Museum of Natural History of National Academy of Sciences of Ukraine (Lviv). Ivan Verkh ratskyi was a full member of the Taras Shevchenko Scientific Society of Lviv, where he headed the Mathematic – Natural – Medicinal Section.

Ivan Verkh ratskyi initiated establishment of the reserve «Steppe Pantalykha» in the Ternopil-Podillya at the area of about 500 ha, which was a unique steppe botanical-ornithological complex based on a system of valleys and meadows and water bodies.

Ivan Verkh ratskyi is the author of more than 200 scientific publications, folklore materials, dictionaries, collections, monographs and textbooks. The scientist in his publications actively defended the independence of the Ukrainian language. He made a great contribution to the development of Ukrainian schooling, publishing textbooks in the Ukrainian language for Ukrainian secondary schools: Botany (1893), Mineralogy (1894), Zoology (1895) and others.

However, Ivan Verkh ratskyi is best known as the founder of Ukrainian scientific-natural (botanical and zoological) nomenclature and terminology. In the expeditions, Ivan Verkh ratskyi collected with details national names of plants and animals in the Ukrainian language from different ethnographic regions of the Ukraine, and for the first time elaborated biological (botanical and zoological) nomenclature, which he published in six volumes. Actually, Ivan Verkh ratskyi's scientific work is mainly based on modern Ukrainian-language scientific botanical and zoological nomenclature and terminology.

A well-known Ukrainian naturalist retired in 1908. He passed away in Lviv on November 29, 1919. He was buried at the Lychakiv Cemetery.

Key words: natural science research; ethnographic achievements; pedagogical work; community activity; environmental initiatives; botanical and zoological nomenclature and terminology.

¹ *Vasyl Zayachuk* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, docent of the botany, wood science and non-timber forest resources chair. Ukrainian National Forestry University. 103, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: + 38-032-235-10-48, + 38-067-840-05-16; E-mail: zayachuk_vsim@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0342-2482>

11. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

УДК 630*(092)

Життєвий і творчий шлях Юрія Третяка, відомого українського вченого – лісознавця, ботаніка і дендролога (до 125-річчя від дня народження)

М.М. Барна, Л.С. Барна

Юрій Дмитрович Третяк – кандидат біологічних наук, доцент, завідувач кафедри ботаніки та дендрології, ректор Львівського лісотехнічного інституту, видатний та знаний в Україні вчений-лісівник, ботанік і дендролог.

Автор (співавтор) близько 100 друкованих праць в галузі лісівництва, ботаніки, дендрології та охорони природи. Вчений активно опікувався питаннями охорони природи в Західній Україні, вимагав припинити суцільні рубки в Карпатах, висунув ідею щодо створення Карпатського заповідника.

За його ініціативою в 1957 р. у м. Львові скликано першу в колишньому Радянському Союзі Республіканську конференцію з охорони природи в західному регіоні України. У ній взяли участь понад 300 осіб, серед яких було багато відомих учених в галузі лісівництва, геоботаніки, фітосозології, у т.ч. й академік АН УРСР, її віцепрезидент впродовж 1948-1952 рр. Петро Степанович Погребняк.

Юрій Дмитрович Третяк народився 2 листопада 1894 року в с. Заболотці, що на Львівщині, в сім'ї вчителя. У 1915 р., після закінчення Бродівської гімназії, вступив до Петербурзького лісового інституту.

Однак, у 1918 р. повертається в Галичину і в 1925 р. закінчує лісогосподарський факультет Львівського політехнічного інституту. Працює лісовпорядником у приватних лісах графа Потоцького. У 1940 р. переходить на викладацьку роботу. У 1946 р. захищає дисертацію на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук. Впродовж 1945-1950 рр. – завідувач кафедри лісівництва, водночас обіймаючи посаду декана лісогосподарського факультету Львівського політехнічного інституту. З 1953 по 1959 рр. – директор (ректор) Львівського лісотехнічного інституту.

З 1955 р. очолював кафедру ботаніки та дендрології Львівського лісотехнічного інституту. Читав лекційний курс, проводив практичні заняття та навчальну практику з дендрології, постійно опікувався питаннями охорони природи в Західній Україні, вимагав припинити суцільні рубки в Карпатах, висунув ідею щодо створення Карпатського заповідника. За його ініціативою в 1957 р. у м. Львові скликано першу за радянський час Республіканську конференцію з охорони природи у західному регіоні України, в якій брало участь понад 300 осіб.

Серед учасників конференції був відомий український вчений-лісознавець, директор Інституту лісу АН України, академік П.С. Погребняк. Професор Тернопільського національного університету М.М. Барна, будучи студентом першого курсу лісогосподарського факультету Львівського лісотехнічного інституту, згадує: «На одній із лекцій з ботаніки доцент С.М. Стойко повідомив, що днями в лісотехнічному інституті буде академік АН України Петро Степанович Погребняк. Було б добре, щоб ви, студенти – першокурсники прийшли на лекцію, з якою виступатиме відомий український вчений-лісознавець».

В актовій залі, де зібралося багато викладачів лісотехнічного інституту, інших вищих навчальних закладів м. Львова та студентів, Петро Степанович Погребняк прочитав лекцію на тему: «Українська лісотипологічна школа та її значення для розвитку лісівничої науки». Згодом від С.М. Стойка я дізнався, що академік П.С. Погребняк був науковим керівником його кандидатської дисертації під час навчання в аспірантурі Інституту лісу АН України, а також про те, що між доцентом Ю.Д. Третяком та академіком П.С. Погребняком існувала міцна дружба (Барна, Барна, 2010; Барна, 2018).

З ініціативи Ю.Д. Третяка керована ним кафедра ботаніки та дендрології встановила тісні контакти з діячами охорони природи Польщі й Чехословач-

чини і було складено список пам'яток природи Західної України. Ю.Д. Третяк – автор критичних статей на захист карпатських лісів, які публікувалися наприкінці 1950-х років в обласних, республіканських і центральних виданнях.

Ю.Д. Третяк – автор і співавтор багатьох наукових і науково-популярних праць з лісівництва, дендрології та охорони лісів, зокрема: «Пути к восстановлению лесов на скалах Карпат» (1952), «Сохраним Карпатские леса» (1956), «На захист букових лісів» (1957), «Бережно охраняйте «зеленого друга» (1957), «На захист карпатських лісів» (1958), «О забытой породе» (1960, у співавторстві зі Стойком С.М.), «О распространении, особенностях и естественном возобновлении явора (*Acer pseudoplatanus* L.)» (1960, у співавторстві зі Стойком С.М.) та ін.

Ю.Д. Третяк помер 18 січня 1960 р. у Львові і похований на Личаківському цвинтарі. На гранітній плиті його могили написано: «Ю.Д. Третяк – 1894-1960. Лісівник серцем і розумом!».

Ось таким знали Юрія Дмитровича Третяка його рідні, друзі та колеги, таким пам'ятають його учні. Це був Дендролог з великої літери, який досконало знав свій предмет, прекрасно володів методикою викладання дендрологічних знань, захоплюючи проводив практики з дендрології. Він постійно дбав про студентів, їхнє успішне навчання і розвиток. Зокрема, завдяки підтримці Юрія Дмитровича Третяка – ректора Львівського лісотехнічного інституту, завідувача кафедри ботаніки та дендрології і доцента цієї ж кафедри Степана Михайловича Стойка у січні 1959 р. мене (М.М. Барну) – студента третього курсу лісгосподарського факультету відправили на навчання в Московський державний університет імені М.В. Ломоносова на «Всесоюзні біологічні читання для студентів-біологів Радянського Союзу», які запам'яталися на все життя. На цих читаннях слухав лекції біолога Т.Д. Лисенка, генетика М.П. Дубініна, ботаніка І.Г. Серебрякова, цитоембріолога О.І. Устинові, хіміка-органіка М.О. Несмеянова, а також індійського ембріолога рослин П. Магешварі, який у цей час перебував у відрядженні в МДУ, та інших відомих учених колишнього Радянського Союзу та ближнього і далекого зарубіжжя (Стойко, Барна, 1963).

А ось як згадує Юрія Дмитровича Третяка колишній студент Львівського лісотехнічного інституту, нині відомий український вчений-економіст і визнаний організатор вищої лісотехнічної освіти в Україні, академік НАН України, доктор економічних наук, професор, заслужений діяч науки і техніки України, завідувач кафедри екологічної економіки, ректор Національного лісотехнічного університету України Юрій Юрійович Туниця: «Добре пам'ятаю вересень 1959 р., коли елегантний, молодий і стрункий кандидат біологічних наук С.М. Стойко розпочав читати нам, студентам першого курсу Львівського лісотехнічного інституту, лекції з ботаніки. Представив його доцент Ю.Д. Третяк – ректор інституту (у ті часи – директор). “Стойко вже відомий в Україні й за рубежом учений”, – сказав Юрій Дмитрович. На нас студентів це справило враження. Ми з особливою увагою слухали цікаві лекції й старалися запам'ятати те, що нам подобалося. Вони були, без перебільшення, надихаючими. Варто зауважити, що із 50-ти студентів нашого курсу вісім стали кандидатами і з них троє – докторами наук» (Туниця, 2017).

У моїй пам'яті назавжди залишилися навчальні практики з дендрології, які любив проводити Юрій Дмитрович особисто сам, незважаючи на його велику зайнятість на посаді ректора інституту та завідувача кафедри ботаніки і дендрології. Проводячи навчальну практику з дендрології чи то у Стрийському парку, чи в скверах м. Львова, чи, особливо, у Винниківському лісництві, де природно росте бук лісовий (*Fagus sylvatica* L.), Юрій Дмитрович любив пов'язувати зростання бука з людською культурою, при цьому наголошував: «Чим даліше на захід, тим більше бука і більше культури!» (Барна, 2008).

Ось таким він був – доцент Юрій Дмитрович Третяк – ректор Львівського лісотехнічного інституту, завідувач кафедри ботаніки і дендрології – лісознавець, ботанік, дендролог серцем і розумом, педагог талантом і глибиною душі. Господь Бог подарував йому безцінний дар – талант, який він упродовж свого життя зумів яскраво розкрити і щедро дарувати його плоди оточуючим. Я безмежно вдячний долі за те, що на моєму життєвому шляху вона звела мене з Юрієм Дмитровичем – Людиною з великої літери, якого я вважаю своїм Учителем не лише в аспекті наукового пошуку, але і в плані людяності, доброзичливості, професійності та порядності. Сповнений життєвої енергії, завзятості до кожної справи, що випадала на його життєвій дорозі, Юрій Дмитрович повсякденно ділився своїм життєвим досвідом із друзями, колегами, молодими науковцями, студентами.

І на завершення зазначимо, що допоки в науці будуть такі самовіддані їй вчені та патріоти свого народу, яким був і назавжди залишається в пам'яті своїх рідних, колег, друзів і учнів, Юрій Дмитрович Третяк, українська наука розвиватиметься успішно.

Список використаних джерел

- Барна М. М., Барна Л.С. Відомий український геосолог (до 90-річчя від дня народження професора С.М. Стойка) / Наукові записки Тернопільського національного педагогічного університету імені Володимира Гнатюка. Серія: Біологія. 2010. № 1 (42). С. 143-171.
- Барна О.М. Професор Микола Миколайович Барна: віхи життєвого, наукового, навчально-педагогічного шляху та громадської діяльності – до 80-річчя від дня народження / Мистецтво лікування. – 2018. № 1-2. С. 55-66.
- Микола Барна. Curriculum vitae: науково-популярне видання / Уклад.: Л. С. Барна, Н. В. Герц. Автор

передмови академік НАН України К. М. Ситник. Тернопіль: Підручники і посібники, 2008. 288 с.

Стойко С.М., Барна М.М. Порівняльно-екологічні дослідження бука європейського на Поділлі, Розточчі і в Карпатах / Матеріали до вивчення природних ресурсів Поділля. – Тернопіль-Кременець, 1963. С. 120-123.

Туниця Ю.Ю. Славний син Срібної землі / Основоположник геосозології – науки про охорону біосфери. Роздуми друзів, колег, учнів з нагоди 95-річчя професора С.М. Стойка. Львів: ТОВ «Простір М», 2017. С. 25-30.

**Жизненный и творческий путь
Юрия Третьяка, известного украинского
ученого – лесоведа, ботаника и
дендролога (к 125-летию со дня рождения)**

Н.Н. Барна, Л.С. Барна

Юрий Дмитриевич Третьак родился 2 ноября 1894 г. в с. Заболотци на Львовщине в семье учителя. В 1915 г., после окончания Бродовской гимназии, вступил в Петербургский лесной институт. В 1918 г. возвращается в Галличину и в 1925 г. окончивает лесохозяйственный факультет Львовского политехнического института. Работал лесоустроителем в частных лесах графа Потоцкого. В 1940 г. переходит на преподавательскую работу. В 1946 г. защищает диссертацию на соискание ученой степени кандидата биологических наук. В 1945-1950 гг. заведовал кафедрой лесоводства, одновременно занимая должность декана лесохозяйственного факультета Львовского политехнического института. С 1953 по 1959 гг. – ректор Львовского лесотехнического института. С 1955 г. возглавлял кафедру ботаники и дендрологии Львовского лесотехнического института. Читал лекционный курс, проводил практические занятия и учебные практики по дендрологии, активно занимался вопросами охраны природы в Западной Украине, требовал прекращения сплошных рубок в Карпатах, выдвинул идею о создании Карпатского заповедника. По его инициативе в 1957 г. во Львове было создано первую в советское время Респуб-

канскую конференцию по охране природы в западном регионе Украины, в которой приняло участие свыше 300 человек.

Наполненный жизненной энергией, упорством в каждом деле, которое выпадало на его жизненном пути, Юрий Дмитриевич ежедневно делился своим жизненным опытом с друзьями, коллегами, молодыми учеными и студентами.

**The life and creative way of Yuriy Tretyak,
a famous Ukrainian scientist – forester,
botanist and dendrologist
(on the occasion of his 125th birthday)**

M. Barna, L. Barna

Yurii Dmytrovych Tretyak was born on November 2, 1894 in a village of Zabolotsi (Lviv region) at the family of a teacher. In 1915, after graduating from the Gymnasium in the town of Brody, he entered the St. Petersburg School of Forestry. But in 1918 he returned to Galychyna and in 1925 he graduated from the Forestry Department of the Lviv Polytechnic Institute. He worked as a forest manager in the private forests of Count Jan Potocki. In 1940 he started his teaching career. In 1946 he defended the thesis for the degree of Candidate of Biological Sciences. From 1945 to 1950 he was the chairing the Department of Forestry and also occupied the position of the dean of the Faculty of Forestry at Lviv Polytechnic Institute. From 1953 to 1959 he was in the position of the Rector of the Lviv Forestry Institute. Since 1955 he was the chairing the Department of Botany and Dendrology of the Lviv Forestry Institute. He taught a lecture course, conducted classes and practical training in dendrology. At the same time, he promoted the idea of nature protection in Western Ukraine, demanded that all clear cuttings in the Carpathians be stopped, and also put forward the idea of creating a Carpathian reserve. On his initiative, in 1957, the first Republican Conference on Nature Conservation in western Ukraine was convened in Lviv with over 300 participants.

Yuriy Tretyak was always full of vigour and zeal shearing his life experiences with colleagues, young scientists and students.

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У «Наукових працях Лісівничої академії наук України» публікуються оригінальні наукові статті та наукові огляди з теоретичних і прикладних питань лісового та садово-паркового господарства, біології, екології та природно-заповідної справи, економіки природокористування і менеджменту, лісової інженерії, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки, машин і механізмів лісогосподарського комплексу, інформаційних технологій галузі.

Редакція приймає до опублікування статті обсягом 15-20 сторінок машинописного тексту, надрукованого через 1,5 інтервала. Формат документа – А4, формат файлу – *.doc, *.docx (MS Word 2003, 2010, 2013). Поля – 2 см по периметру. В редакцію подається електронний варіант статті.

Текст наукової (експериментальної) статті подається за такою структурою: вступ; об'єкти та методика дослідження; результати та обговорення; висновки; подяка (за потреби); бібліографічні посилання.

Оглядова стаття може мати різну кількість структурних розділів із довільними назвами, але вказані пункти є обов'язковими: вступ; висновки; бібліографічні посилання. В обох випадках інформація про авторів подається трьома мовами.

У «Вступі» повинна бути сформульована актуальність теми, а в «Об'єкті та методиці досліджень» – об'єкт дослідження, предмет дослідження та мета роботи.

До друку приймаються статті українською, російською та англійською мовами. До кожної статті подаються анотації трьома мовами.

У виносці подають відомості про всіх авторів, в якій вказують членство в Академії (за наявності), науковий ступінь і наукове звання, місце роботи, робочу адресу, телефон, електронну адресу та відкритий ідентифікатор наукового дослідника ORCID.

Обсяг анотації українською мовою – 22-25 рядків або 1400-1600 знаків. Обсяг анотації російською мовою – 40-45 рядків або 2600-2900 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 дві розширені анотації (українською та російською мовами) – по 40-45 рядків. Анотація 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 наведені 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.

Бібліографічний список повинен вміщати не менше 15 літературних джерел. Бажано наводити посилання на джерела, опубліковані після 2010 року, особливо ті, які мають індекс *doi*. Самоцитування – не більше 15 %. Під час формування списку літературних джерел необхідно користуватись вимогами APA 6th Edition.

У «Бібліографічних посиланнях» 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. У дужках необхідно вказати мову, на якій видано літературне джерело (напр., in Ukrainian). Якщо робота видана англійською мовою, то мову в дужках вказувати не потрібно.

Особливу увагу авторів звертаємо на правильне подання «Бібліографічних посилань» 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 англомовних 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 в статті, а також в окремому файлі у форматі *.jpg, чи оформленні у середовищі MS Excel.

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 дають 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 розділах статті.

У таблицях повинні бути відсутні вертикальні лінії. Подаються лише горизонтальні лінії – в «шапці» та в кінці таблиці.

Потрібно розрізняти символи «—», «—» та «-». Перший із них у рукописі статті не використовують.

Необхідно звернути увагу на правильність вживання службових частин мови: «в», «у»; «і», «та»; «з», «із», «зі» тощо. Під час формулювання речень потрібно уникати слова «було»: без нього, зазвичай, зміст речення не змінюється. У статті бажано не використовувати скорочення наукових термінів.

Не рекомендовано вживати у тексті пасивний формат: «дослідження проводилися», «результати опрацьовувалися» тощо; потрібно – «дослідження проводили», «результати опрацьовували» і т.д.

Отримані результати досліджень повинні бути опрацьовані математичними методами, що підтверджує їхню достовірність. Без такого опрацювання статті до друку не приймаються.

Найважливішою частиною наукової статті є висновки, де наводять підсумки здійсненого дослідження, узагальнення і пропозиції щодо завдань, сформульованих у вступі. Висновки формують чітко, лаконічно і зрозуміло, вони повинні 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 короткими і поданими у вигляді тексту без нумерації.

У збірнику наукових праць «Наукові праці Лісівничої академії наук України» не можуть бути опубліковані матеріали, які вже раніше публікувалися в інших наукових збірниках. Редакційна колегія наукового видання залишає за собою право відхиляти статті, які не відповідають вимогам і тематиці збірника. Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять процес рецензування. Форми рецензування статей: внутрішня; зовнішня.

Заступник головного редактора визначає відповідність статті профілю журналу і скеровує її на рецензування фахівцю – доктору чи кандидату наук, який має 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 приймається редакційною колегією.

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 та цитат несуть автори. Для уникнення некоректних запозичень або використання результатів дослідження третіх осіб автори зобов'язані дотримуватись етики наукового цитування.

У випадках виявлення плагіату відповідальність несуть автори наданих матеріалів.

Після прийняття редколегією рішення про допуск статті до публікації відповідальний секретар інформує про це автора і вказує терміни публікації. Оригінали рецензій зберігаються у редакційній колегії і в редакції наукового журналу. Прийняті до друку наукові матеріали не повертаються та не можуть бути надруковані в інших наукових журналах.

Детальніша інформація для авторів щодо правил подачі статей до збірника «Наукові праці Лісівничої академії наук України», оформлення «Бібліографічних посилань», політики відкритого доступу подана на сайті збірника наукових праць: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

Збірник наукових праць
Наукові праці Лісівничої академії наук України

Випуск 19

2019 р.

Науковий редактор: проф. Ю. М. Дебринюк, д-р с.-г. наук
Фото і текст на 4-ій сторінці обкладинки: Г. Т. Криницький
Літературний редактор: А. Ф. Павлишин
Редактор англomовних текстів: проф. І. П. Соловій, д-р екон. наук
Відповідальний секретар: Б. В. Дебринюк

Підписано до друку 13.01.2020 р. Формат 60*84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 26,97. Обл.-вид. арк. 23,05
Наклад 300 прим. Зам. № 2657

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./факс: (032) 235-52-20

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>

Збірник «Наукові праці Лісівничої академії наук України» входять до міжнародних наукометричних баз Directory of Open Access Journals, Ulrichsweb, CrossRef, Index Copernicus, Google Scholar