

Національний лісотехнічний університет України
Лісівнича академія наук України

НАУКОВІ ПРАЦІ

ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Випуск 21

Започатковано у 2001 р.

Львів
Видавництво «Компанія “Манускрипт”»
2020

Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2020. – Вип. 21. – 188 с.

У збірнику наукових праць опубліковано результати досліджень, в яких висвітлено біологічні аспекти рослинних угруповань, 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 насаджень, захисту лісів від шкідників, проблем сталого природокористування та лісової інженерії.

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

Рекомендовано до друку Вченою радою НЛТУ України та Президією ЛАН України (протокол № 10 від 28.12.2020 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 Гуссендорфер,	<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, Харківський національний університет міського господарства ім. О.М. Бекетова, Харків;</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> 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: *Богдана ДЕБРИНЮК*
Редактор англomовних текстів: *Ігор СОЛОВІЙ*
Технічне забезпечення видання: *Маріанна КУК*

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 21

Founded in 2001

Lviv
«Company “Manuscript”»
2020

Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Collection of Research Papers. – Lviv : «Company “Manuscript”», 2020. – Vol. 21. – 188 p.

In this Collection of Research Papers the result of studies which are focused on scientific advancement in the field of biology of plant communities, forestry and silviculture, forest biometry and forest management planning are published. As well as the results of studies in the field of forest ecology, forest restoration, forest protection, sustainable natural resource management and forest engineering are covered.

The Collection is designed for researchers, faculty members of universities and other 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 10 dated from 2020.12.28*).

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.), O. M. Beketov National University of Urban Economy in Kharkiv, Kharkiv;</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 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 Sedláčik,</i>	<i>PhD, (Tech.), Technical University in Zvolen, Slovak Republic.</i>

Scientific Editor: *Iurii DEBRYNIUK*

Literary editor: *Bogdana DEBRYNYUK*

Editor of English texts: *Ihor SOLOVIY*

Technical support of the publication: *Marianna KUK*

Publishers Address:

Publishing «Company “Manuscript”»

str. 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

П. Р. Третьяк, Ю. І. Черневий

МАТЕРІАЛЬНО-ЕНЕРГЕТИЧНИЙ ВПЛИВ ЛІСОВОЇ РОСЛИННОСТІ НА ДОВКІЛЛЯ	11
---	----

К. Davydenko., D. Baturkin

ORHIOSTOMATOID FUNGI VECTORED BY BARK BEETLES AND COLONIZING TREES OF <i>PINUS SYLVESTRIS</i> IN SUMY REGION (UKRAINE) (Офіостомові гриби, які пов'язані з короїдами та заселяють <i>Pinus sylvestris</i> у Сумській області (Україна))	22
--	----

V. L. Meshkova, S. V. Nazarenko, O. I. Glod

THE FIRST DATA ON THE STUDY OF <i>CORYTHUCHA ARCUATA</i> (SAY, 1832) (HETEROPTERA: TINGIDAE) IN KHERSON REGION OF UKRAINE (Перші результати вивчення <i>Corythucha arcuata</i> (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) у Херсонській області України)	30
--	----

2. ЛІСОЗНАВСТВО ТА ЛІСІВНИЦТВО

І. Д. Іванюк, Я. Д. Фучило

СУКЦЕСІЯ РОСЛИННОСТІ ЗРУБІВ ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ СУЦІЛЬНИХ РУБОК ДУБОВИХ НАСАДЖЕНЬ В УМОВАХ ЗАХІДНОГО ТА ЦЕНТРАЛЬНОГО ПОЛІССЯ УКРАЇНИ	39
--	----

В. Ю. Юхновський, Ю. С. Іваненко, Г. О. Лобченко

ОСОБЛИВОСТІ КОРЕНЕНАСЕЛЕНОСТІ ҐРУНТУ В ЯЛИНОВИХ ЛІСОСТАНАХ У ЗОНІ ГІРСЬКОЇ ТУРИСТИЧНОЇ МЕРЕЖІ	50
--	----

В. Й. Яхницький, Г. Т. Криницький

ДИНАМІКА ОПАДУ В СОСНОВО-БУКОВИХ ДЕРЕВОСТАНАХ ТА ЇЇ ЗМІНИ ЗА ВПЛИВУ ПОСТУПОВИХ РУБОК В УМОВАХ ЛЬВІВСЬКОГО РОЗТОЧЧЯ	60
---	----

V. P. Pasternak, O. B. Prihodko, T. S. Pyvovar, V. Yu. Yarotsky

DYNAMICS OF PINE STANDS CONDITION IN SE «LYMANSKE FOREST ECONOMY» (Динаміка стану соснових деревостанів у ДП «Лиманське лісове господарство»)....	68
--	----

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА

О. Т. Данчук

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ПОБУДОВИ ЛІСОНАСІННОГО РАЙОНУВАННЯ УКРАЇНИ	77
--	----

Ю. М. Дебринюк

**PSEUDOTSUGA MENZIESII (MIRB.) FRANCO ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ДЕРЕВНИЙ
ВИД ДЛЯ ПЛАНТАЦІЙНИХ ЛІСОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЗАХІДНОГО РЕГІОНУ
УКРАЇНИ**

87

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, В. В. Нарзязев, Ю. Е. Щерба

**ИЗМЕНЧИВОСТЬ ПОЛУСИБОВ ПЛЮСОВЫХ ДЕРЕВЬЕВ СОСНЫ КЕДРОВОЙ
СИБИРСКОЙ В 30-35-ЛЕТНЕМ ВОЗРАСТЕ ПО ПОКАЗАТЕЛЯМ РОСТА**
(Мінливість напівсибів плюсових дерев сосни кедрової сибірської
в 30-35-річному віці за показниками росту)

97

Я. Д. Фучило, Б. М. Вокальчук

**ВПЛИВ ОСОБЛИВОСТЕЙ СТВОРЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПЛАНТАЦІЙ SALIX
VIMINALIS L.) НА ЇХ РІСТ І ПРОДУКТИВНІСТЬ ПІСЛЯ ПЕРШОГО ТРИРІЧНОГО
ОБОРОТУ ЗАГОТІВЛІ БІОМАСИ**

109

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

П. І. Лакида, В. М. Ловинська, Ю. В. Бучавий

**ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ВИЗНАЧЕННЯ НАДЗЕМНОЇ ФІТОМАСИ
ДИСТАНЦІЙНИМИ МЕТОДАМИ**

117

5. ЗАХИСТ ЛІСІВ І МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

А. М. Жежжун, І. В. Порохняч

**ВСИХАННЯ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ СХІДНОГО ПОЛІССЯ: ПОШИРЕННЯ,
НАСЛІДКИ, ЗАХОДИ ПОДОЛАННЯ**

126

В. Г. Мазепа, П. Б. Хоєцький, А. М. Яцина

**ВПЛИВ РАТИЧНИХ НА РОСЛИННІСТЬ У ВОЛЬЄРАХ ЗАХІДНОГО ПОЛІССЯ
УКРАЇНИ**

135

6. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА

О. Є. Галевич, М. І. Сорока

**ОСОБЛИВОСТІ ФОРМУВАННЯ ФІТОБІОТИ ПЛОСКИХ ЗЕЛЕНИХ ДАХІВ
ЕКСТЕНСИВНОГО ТИПУ У М. ЛЬВОВІ**

144

7. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

В. І. Соловій, І. А. Дубовіч

**ЕКОЛОГО-СОЦІО-ЕКОНОМІЧНИЙ АНАЛІЗ УПРАВЛІННЯ МІСЬКИМИ
ТЕРИТОРІЯМИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ: НА ПРИКЛАДІ МІСТ ОБЛАСНОГО
ЗНАЧЕННЯ УКРАЇНИ**

157

8. ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ДОВКІЛЛЯ

İ. Taş, A. E. Akay

EXAMINING THE ROAD NETWORKS AND LOCATIONS OF FIREFIGHTING TEAMS BY USING GIS TECHNIQUES (Вивчення дорожніх мереж і місцезнаходження

пожежних команд за допомогою методів ГІС технологій) 173

9. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

Ю. Ю. Туниця, Г. Т. Криницький, Ю. М. Дебринюк, П. Т. Яценко

ПАМ'ЯТІ АКАДЕМІКА ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

СТЕПАНА МИХАЙЛОВИЧА СТОЙКА (14.03.1920–22.10.2020) 181

О. І. Голубчак, В. І. Парпан, Р. І. Бродович, Ю. Д. Кацуляк, В. М. Гудима, М. М. Сіщук

ПАМ'ЯТІ ЧЛЕНА-КОРЕСПОНДЕНТА ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

РОМАНА МИХАЙЛОВИЧА ЯЦИКА (20.02.1946–04.01.2021) 184

ДО УВАГИ АВТОРІВ 186

CONTENTS

1. BIOLOGICAL ASPECTS OF PLANT COMMUNITIES

P. Tretyak, Ju. Chernevyy

MATTER AND ENERGY INFLUENCE OF FOREST VEGETATION ON THE ENVIRONMENT	11
--	-----------

K. Davydenko, D. Baturkin

OPHIOSTOMATOID FUNGI VECTORED BY BARK BEETLES AND COLONIZING TREES OF <i>PINUS SYLVESTRIS</i> IN SUMY REGION (UKRAINE).....	22
--	-----------

V. Meshkova, S. Nazarenko, O. Glod

THE FIRST DATA ON THE STUDY OF <i>CORYTHUCHA ARCUATA</i> (SAY, 1832) (HETEROPTERA: TINGIDAE) IN KHERSON REGION OF UKRAINE	30
--	-----------

2. FORESTRY AND SILVICULTURAL SCIENCES

I. Ivanyuk, Y. Fuchylo

VEGETATION SUCCESSION AFTER CLEARCUTTING IN OAK FOREST STANDS IN THE CONDITIONS OF THE WESTERN AND CENTRAL POLISSYA OF UKRAINE.....	39
--	-----------

V. Yukhnovskyi, Yu. Ivanenko, G. Lobchenko

PECULIARITIES OF SOIL ROOT POPULATION IN SPRUCE FORESTS IN THE AREA OF THE MOUNTAIN TOURIST NETWORK	50
--	-----------

V. Yakhnytskyi, H. Krynytskyi

DYNAMICS OF LITTERFALL IN PINE-BEECH STANDS AND ITS CHANGES UNDER THE INFLUENCE OF UNIFORM SHELTERWOOD FELLING IN THE LVIV ROZTOCZE REGION	60
---	-----------

V. Pasternak, O. Prihodko, T. Pyvovar, V. Yarotsky

DYNAMICS OF PINE STANDS CONDITION IN SE «LYMANSKE FOREST ECONOMY».....	68
---	-----------

3. PLANTED FORESTS, PHYTOMELIORATION, TREE BREEDING AND GENETICS

O. Danchuk

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL FOUNDATIONS OF DEVELOPING FOREST-SEED ZONING OF UKRAINE.....	77
--	-----------

Iu. Debryniuk

<i>PSEUDOTSUGA MENZIESII</i> (MIRB.) FRANCO AS A PROMISING TREE SPECIES FOR FOREST PLANTATIONS IN THE WESTERN REGION OF UKRAINE	87
--	-----------

R. Matveeva, O. Butorova, V. Narzyaev, Iu. Shcherba

VARIABILITY OF HALF-SIBS OF PLUS TREES OF SIBERIAN PINE AT THE AGE OF 30-35 YEARS IN TERMS OF GROWTH INDICATORS	97
--	-----------

Y. Fuchylo, B. Vokalchuk

INFLUENCE OF THE TECHNOLOGY OF PLANTING ENERGY PLANTATIONS OF <i>SALIX VIMINALIS</i> L. ON THEIR GROWTH AND PRODUCTIVITY AFTER THE FIRST THREE-YEAR TURNOVER OF BIOMASS HARVESTING	109
---	------------

4. FOREST BIOMETRY AND FOREST MANAGEMENT PLANNING

P. Lakyda, V. Lovynska, Y. Buchavy

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ABOVEGROUND PHYTOMASS ASSESSMENT OF PINE FOREST STANDS BY GROUND AND REMOTE METHODS	117
--	------------

5. FOREST PROTECTION AND WILDLIFE RESOURCE MANAGEMENT

A. Zhezhkun, I. Porohnyach

DIEBACK OF PINE STANDS IN EASTERN POLISSYA: DISTRIBUTION, CONSEQUENCES, MEASURES TO OVERCOME.....	126
--	------------

V. Mazepa, P. Khoyetskyy, A. Yatsyna

IMPACTS OF HOOVED ANIMALS ON VEGETATION IN AVIARIES OF THE WESTERN POLISSYA OF UKRAINE.....	135
--	------------

6. ECOLOGY AND NATURE PROTECTED AREAS MANAGEMENT

O. Galevych, M. Soroka

PERCULARITIES OF FORMING OF PHYTOBIOTA FORMATION OF THE FLAT GREEN ROOFS OF EXTENSIVE TYPE IN THE CITY OF LVIV	144
---	------------

7. NATURAL RESOURCE ECONOMICS AND MANAGEMENT

V. Soloviy, I. Dubovich

ECOLOGICAL-SOCIAL-ECONOMIC ANALYSIS OF URBAN CLIMATE GOVERNANCE BASED ON CLIMATE PLANS AND REPORTS OF UKRAINE'S CITIES OF REGIONAL SIGNIFICANCE.....	157
---	------------

8. FOREST ENGINEERING: EQUIPMENT, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT

İ. Taş, A. E. Akay

EXAMINING THE ROAD NETWORKS AND LOCATIONS OF FIREFIGHTING TEAMS BY USING GIS TECHNIQUES	173
--	------------

9. MEMORY PAGES

Y. Tunytsya, H. Krynytskyy, Iu. Debryniuk, P. Yashchenko

IN MEMORY OF THE ACADEMICIAN OF THE FORESTRY ACADEMY

OF SCIENCES OF UKRAINE, STEPAN STOYKO (14.03.1920–22.10.2020) 181

O. Holubchak, V. Parpan, R. Brodovych, Yu. Katsuliak, V. Hudyma, M. Sishchuk

IN MEMORY OF THE CORRESPONDING MEMBER OF THE FORESTRY ACADEMY

OF SCIENCES OF UKRAINE ROMAN MYKHAILOVYCH JACYK

(20.02.1946–04.01.2021) 184

INFORMATION FOR AUTHORS 186

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/10.15421/412021>
Article received 2020.02.13
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Platon Tretyak
platon.tretyak@qmail.com
Oleksandra Myshugy str., 7/15, Lviv,
79034, Ukraine

УДК 630*9: 581.1:581.5

Матеріально-енергетичний вплив лісової рослинності на довкілля

П. Р. Третяк¹, Ю. І. Черневий²

Здійснена спроба теоретичного опрацювання проблеми оцінювання матеріально-енергетичного впливу на приземну атмосферу приросту фітомаси лісів України, порівняно з іншими типами рослинності, стосовно деponування вуглецю, продукуванню кисню, транспірації і збагачення атмосфери вологою, а також споживання енергії з навколишнього середовища.

Теоретична концепція побудована на основі відомих біохімічних і фізичних закономірностей. Це матеріально-енергетичні пропорції фотосинтезу та супроводжуючої його транспірації, а також охолоджуючого повітря ефекту.

Отримані аналітичні матеріали підтверджують істотний вплив процесів фотосинтезу і супутньої йому транспірації на газовий склад та енергетичний потенціал приземного шару повітря.

Ліси України загалом щорічно здатні деponувати 3 т·га⁻¹ вуглецю, продукувати 8 т·га⁻¹ кисню та збагачувати повітря вологою в обсязі 3600 т·га⁻¹. Ці процеси вимагають відповідного споживання енергії, що призводить до охолодження 30-метрового приземного шару повітря у середньому впродовж року на 2,4°C. Такі екологічні функції виконують також лучна рослинність та агрокультури. Однак, цей процес відбувається лише під час відносно короткого періоду фотосинтезу. За показниками інтенсивності фотосинтезу і транспірації, екологічні функції лісів утрічі перевищують відповідні властивості лучної рослинності.

У випадку вирощування високопродуктивних лісів, річний приріст стовбурового запасу яких сягав би 10 м³·га⁻¹, збагачення приземного шару атмосфери киснем було б удвічі більшим, ніж за теперішнього середнього приросту 5 м³·га⁻¹, а водяною парою – у три-чотири рази більше. Відповідно, у три-чотири рази більшим було б і споживання теплової енергії з навколишнього природного середовища.

Ключові слова: фотосинтез; транспірація; фітомаса; приріст; ліси; агрокультури; деponований вуглець; кисень; енергетика; клімат.

¹ Третяк Платон Романович – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор. Комунальний вищий навчальний заклад «Прикарпатський фаховий коледж лісового господарства та туризму», вул. Замкова, 14, м. Болехів, Івано-Франківська обл., Україна. Тел.: +38-067-662-68-41. E-mail: platon.tretyak@qmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-060X>

² Черневий Юрій Іванович – академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук. Комунальний вищий навчальний заклад «Прикарпатський фаховий коледж лісового господарства та туризму», вул. Замкова, 14, м. Болехів, Івано-Франківська обл., Україна. Тел.: +38-03437-34668. E-mail: plhc@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1677>

Вступ. Сучасні зміни клімату є надзвичайно важливою екологічною проблемою людської цивілізації. Адже, окрім впливу природних чинників, вона зумовлена і потужним антропогенним впливом на біосферу, зокрема дефорестацією – знищенням лісового покриву планети, що призвело до глобальної кризової еколого-економічної ситуації (Gorte & Sheikh, 2010; *The Money Trees*, 2019). Особливо відчутною стала зміна клімату у напрямі потепління та посушливості у тропічних країнах (Moutinho & Schwartzman, 2005). Проте і в межах помірного кліматичного поясу тривале лісокористування теж зумовило істотні зміни клімату з небажаними екологічними наслідками (Gilliam, 2016). Цей аспект є також важливою європейською проблемою. Недарма у 2019 р. Європейська комісія звернулася до урядів та парламентів країн й регіональних органів влади з пропозицією «Посилення дій ЄС щодо захисту та відновлення світових лісів».

Поряд з цим, роль лісів у формуванні кліматичних змін у регіонах і на континентах ще недостатньо вивчена, незважаючи на те, що ці питання висвітлені у багатьох фундаментальних працях класиків лісівництва. Потребують дослідження питання, що стосуються впливу лісів на газовий склад приземних шарів атмосфери, їх температурний режим тощо. Тому, метою нашої розвідки була чи не перша спроба теоретичного опрацювання цієї наукової проблеми, зокрема, стосовно матеріально-енергетичної оцінки впливу на приземний шар атмосфери приросту фітомаси лісів України порівняно з іншими типами рослинності. Аспекти стосуються депонування діоксиду вуглецю, продукування кисню, транспірації і збагачення атмосфери вологою, а також споживання світлової і теплової енергії з навколишнього середовища. Ці процеси матеріально-енергетичного обміну між рослинністю та приземними шарами атмосфери мають вагомое соціально-екологічне значення і залежать від продуктивності фітомаси на земній поверхні (*Secretariat of the Convention...*, 2010). Оскільки лісова рослинність відзначається особливо високими потенційними показниками приросту фітомаси, то його екологічний аспект заслуговує докладного дослідження (*Forest Europe*, 2015), оскільки може мати важливе прикладне значення щодо запобігання локальних змін клімату (Moutinho & Schwartzman, 2005).

Теоретична концепція. Від Сонця до Землі поступає неперервний потік світлової енергії, обсяг якої оцінюють $342 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (*Energy and Climate Change*, 2015). Частина її, відбиваючись від поверхні, не може повернутися у космос, оскільки затримується молекулами різних газів, що призводить до підвищення температури поверхні Землі і нижніх шарів атмосфери, тобто до виникнення парникового ефекту. У середніх широтах Європи ($30\text{--}60^\circ$) на поверхню суші орієнтовно поступає $100\text{--}250 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ сонячної енергії з максимумом у липні, коли сягає величини $300\text{--}350 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Середньорічна поглинута енергія короткохвильового випромінюван-

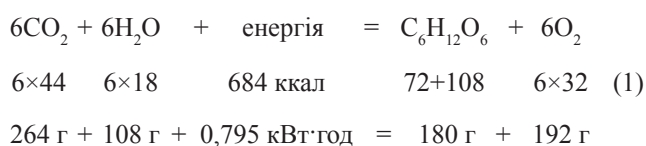
ня становить $60\text{--}150 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ з максимумом у липні – $200\text{--}300 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$. Середньорічна відбита енергія короткохвильового випромінювання сягає приблизно $25 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ з максимумом у липні – $40\text{--}100 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ (Hatzianastassiou et al., 2005). Значна частина її може акумулюватися у нижніх шарах атмосфери завдяки парниковому ефекту. Процес відбувається внаслідок екранування відбитої радіації у приземних шарах атмосфери. Спричиняють це явище так звані парникові гази, серед яких найважливішою є водяна пара, меншою мірою – значимі CO_2 , N_2O та CH_4 . Водяна пара в атмосфері поглинає від 49 до $75 \text{ Вт}\cdot\text{м}^{-2}$ відбитої радіації, тобто до 60% від загального обсягу її поглинання. Зокрема, саме водяна пара поглинає від 38–43% короткохвильової радіації, тобто разом з озоном захищає поверхню планети від її шкідливої дії, що також визначає нагрівання атмосфери. Саме завдяки парниковому ефекту, температура поверхні планети є на 33° вищою, ніж була б за умови його відсутності (Schmidt, Ruedy, Miller, & Lacis, 2010; *Climate Change*, 2013).

Однак, традиційно, зміни клімату внаслідок парникового ефекту прийнято пояснювати збільшенням концентрації CO_2 в атмосфері, пропорційно до якої збільшується середня температура на планеті (Kahn, 2016). Загалом за останніх 100 років вона зросла на $1,2^\circ\text{C}$. За п'ять останніх років концентрація вуглекислого газу в атмосфері зросла від 390 до 400 ppm, а середня температура повітря збільшилася на $0,25^\circ\text{C}$. (*GISS Surface*, 2016). Проте, доволі переконливою є й інша версія щодо ролі у формуванні парникового ефекту водяної пари у повітрі. До такого висновку дійшли вчені НАСА – Асоціації агенцій чисте повітря у США. Зокрема встановлено, що, окрім фізичного випаровування, особливо вагомое значення на зміни клімату має інтенсивність транспірації (*Primer on Climate Change Science*, 2011; Schlesinger & Jasechko, 2014). Встановлено також, що якщо вміст води у повітрі збільшується на 10%, то це призводить до збільшення його температури, внаслідок парникового ефекту, на $1,34^\circ\text{C}$. У разі зменшення вмісту води в атмосфері на 10%, виникнення інтенсивність парникового ефекту буде зменшуватися на $1,6^\circ\text{C}$ (Rákóczi & Iványi, 1999–2000). У світовому масштабі загальний обсяг випаровування становить значну частку – 39% від загальної кількості опадів. За рахунок транспірації у повітря поступає приблизно 60% від загального обсягу випаровування води, а в тропічних лісах ця частка складає 71% (Schlesinger & Jasechko, 2014).

Отже, зміни газового складу і температурного режиму приземних шарів пов'язані значною мірою і з фізіологічною діяльністю рослинного покриву, зокрема лісового. Це стосується не лише депонування біомасою з повітря карбону та збагачення повітря киснем, але й транспіраційної функції рослинності. Водночас, окрім змін матеріального характеру, рослинність активно спричиняє зміни енергетичного балансу у приземних шарах атмосфери, адже під час фотосинтезу, тран-

спортуванні вологи судинами від кореневої системи до листя, а також транспірації вологи листковими пластинками потрібні значні енергетичні затрати. Енергетичні ресурси для цих процесів вилучаються з навколишнього повітряного середовища за рахунок поглинання світлової і теплової енергії (*Energy and Climate Change*, 2015). Це, своєю чергою, призводить до відповідного зниження температури повітря та збільшення його відносної вологості. Проте такі наукові енергетичні аспекти експериментально ще недостатньо вивчені, а тому не висвітлені у науковій літературі. Однак, теоретично їх можна узагальнити у наступних положеннях.

Матеріально-енергетичні пропорції реакції фотосинтезу. Узагальнено їх представляє загально відоме рівняння з такими матеріально-енергетичними пропорціями:



Отже, 264 г діоксиду вуглецю (6CO_2) містять у своєму складі 72 г вуглецю (6C). Унаслідок реакції фотосинтезу споживається 0,795 кВт·год світлової енергії і утворюється 180 г гектози ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{O}_6$) та виділяється 192 г кисню (6O_2). Таким чином, на 1 т депонованого вуглецю споживається 1,5 т води і приблизно 11 МВт·год світлової енергії. При цьому отримуємо 2,5 т гектози і 2,67 т кисню. Вміст вуглецю в сухій речовині деревини прийнято вважати в обсязі 50% (Pretzsch, 2009). Таким чином, 1 т вуглецю міститься у 2 тонах сухої деревини. Густина сухої речовини деревини залежить від деревного виду та умов її нагромадження. У середньому вона становить: для дуба – 655, бука – 650, граба – 600 $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$. Тобто, умовно можна вважати, що в одному кубічному метрі деревини міститься приблизно 300 кг депонованого вуглецю. Таким чином, 1 т депонованого вуглецю відповідно міститься у 3,3 м^3 деревини.

Матеріально-енергетичні пропорції транспірації. Середньорічний обсяг випаровування у Центральній та Східній Європі є близьким до кількості опадів, яка становить 500-700 $\text{мм} \cdot \text{рік}^{-1}$. Однак у горах, де випадає 1000-1400 $\text{мм} \cdot \text{рік}^{-1}$, вона є меншою на 1 $\text{мм} \cdot \text{день}^{-1}$, тобто складає орієнтовно 700-1000 $\text{мм} \cdot \text{рік}^{-1}$ (*Energy and Climate Change*, 2015). За такої кількості опадів типовий діапазон річного випаровування для різних типів рослинного покриву суходолу становить для хвойних лісів 550-800 мм, а для трав'яних фітоценозів лук він може сягати 400-600 мм, зокрема для агрокультур – 370-430 (Nisbet, 2005). Умовно для лісостепової зони України та зони мішаних лісів, де щорічно випадає 500-600 мм опадів, можна прийняти величину сумарного річного випаровування лісовою рослинністю на рівні 500 мм.

У зоні широколистяних лісів України щорічно випадає 600-800 мм опадів. Тут лісова рослинність

випаровує щорічно 500-700 мм опадів. Відповідно у Карпатах, де щорічно випадає від 800 до 1500 мм, величина сумарного річного випаровування орієнтовно становить 700-1200 мм на рік, в т.ч. за рахунок власне транспірації – 600-1000 мм.

Однак у випадку лісової рослинності цей показник може бути значно вищим. Адже, інтенсивність транспірації (коефіцієнт транспірації) залежить від багатьох чинників, серед яких особливо значущим є розмір поверхні випаровування, тобто площі асиміляційного апарату (листя, стебла тощо), а також його структурно-морфологічних особливостей. На жаль, фактичних даних та й публікацій з цих питань бракує. Дослідження польських вчених (Kowalik & Scalenghe, 2009) показали, що такі деревні породи як модрина, липа і бук мають найвищі показники коефіцієнта транспірації. Вони потребують більше 1000 грам води для транспірації, щоб забезпечити збільшення на 1 грам сухої речовини продуктів фотосинтезу. Менші значення були виявлені для пшениці – 500 $\text{г} \cdot \text{г}^{-1}$, люцерни – 850 $\text{г} \cdot \text{г}^{-1}$, проса – 270 $\text{г} \cdot \text{г}^{-1}$.

Відповідно до наведених пропорцій, загальна маса транспірованої вологи (m_{tr}) становить:

$$m_{\text{tr}} = Z_d \cdot k_t; \quad (2)$$

де: Z_d – річний приріст сухої фітомаси, т; k_t – коефіцієнт транспірації, $\text{т} \cdot \text{т}^{-1}$.

Наприклад, для депоновання 1 т вуглецю, тобто 2 т сухої речовини фітомаси бука необхідно транспірувати $2 \text{ т} \times 1000 \text{ т} \cdot \text{т}^{-1} = 2000 \text{ т}$ водяної пари.

Для випаровування води потрібні великі затрати теплової енергії, адже питома теплота пароутворення (r) приблизно становить 2,3 МДж·кг⁻¹ або 637 кВт·год·т⁻¹ чи 0,637 Вт·год·г⁻¹. Отже, знаючи масу транспірованої вологи, можна вираховувати енергетичні затрати (E_{tr}), які потрібні для її випаровування:

$$E_{\text{tr}} = m_{\text{tr}} \cdot r; \quad (3)$$

де: m_{tr} – маса випарюваної води; r – питома теплота пароутворення.

Відповідно, для випаровування 1000 т води необхідно спожити з навколишнього середовища $1000 \text{ т} \times 637 \text{ кВт} \cdot \text{год} \cdot \text{т}^{-1} = 637 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ енергії.

Судинний підйом водного розчину. Щоб забезпечити підйом води та мінеральних речовин від коренів до листків крон дерев теж необхідно витратити певну енергію (E_h):

$$E_h = m_h \cdot h; \quad (4)$$

де: m_h – маса піднятого водного розчину; h – висота дерева.

Оскільки з водного розчину мінеральних речовин випаровується лише вода, то $m_h > m_{\text{tr}}$. Однак, їхня концентрація навіть у період весняного сокоруху зазвичай невисока: у кленового соку – до 6, а у березового – до 2%. Тому для обчислень умовно приймаємо, що $m_h = m_{\text{tr}}$.

Наприклад, щоб енергетично забезпечити випаровування впродовж року 1000 т·води, потрібно її підняти від коренів до намету деревостану, умов-

но на висоту 30 м. Для цього необхідно затратити енергію на виконання роботи в обсязі $1 \cdot 10^6 \text{ кг} \times 30 \text{ м} = 30 \cdot 10^6 \text{ кг} \cdot \text{м}$ або 294,2 МДж чи 81,72 кВт·год. Ця величина у 7693 рази менша, ніж вказані вище затрати енергії на випаровування цієї ж кількості води. Тобто цю величину можна не враховувати під час загально-енергетичних обчислень процесів фотосинтезу і транспірації.

Охолоджуючий ефект. Потреби в енергії процесів фотосинтезу і транспірації забезпечуються поглинанням її з навколишнього середовища, що призводить до його охолодження.

Наприклад, щоб охолодити на 1°C 1 м^3 повітря потрібно вилучити з нього 0,37 Вт·год енергії. Це за умови, що густина повітря за нормальних умов становить $1,293 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$, а питома теплоємність – $1 \text{ кДж} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$ або $0,278 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{кг}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$. Отже, щоб постійно підтримувати такий температурний градієнт охолодження, потік вилучення теплової енергії має становити 0,36 Вт з 1 м^3 повітря. Стосовно приземного шару повітря 30 м завтовшки на площі 1 га, об'єм якого становить 300 тис. м^3 , цей показник потужності вилучення енергії повинен становити 10,8 кВт. У перерахунку на тривалість року, яка становить 8760 год., для підтримання такого охолоджуючого ефекту необхідно загалом вилучити з 1 м^3 приземного шару повітря $3,15 \text{ кВт} \cdot \text{год}$ енергії, з 30 м^3 – $94,46 \text{ кВт} \cdot \text{год}$, а з 300 тис. м^3 – $944,6 \text{ МВт} \cdot \text{год}$. Якщо ж з об'єму повітря 300 тис. м^3 на випаровування 1000 т води споживається упродовж року $637 \text{ МВт} \cdot \text{год}$ енергії, то це забезпечує його постійне охолодження на $0,67^\circ\text{C}$. Тобто, це є температурний градієнт охолодження повітря відносно навколишнього середовища.

Представлені вище теоретичні матеріали та фізичні закономірності, а також відповідні обчислення дають підставу вважати за доцільне застосовувати їх для розрахунків аналогічних матеріально-енергетичних екологічних ефектів, що зумовлені річним приростом фітомаси лісової та лучної рослинності, а також агрокультур.

Матеріали та методика. Розрахунок балансу фотосинтезу виконано шляхом застосування формули (1). За основу взято офіційні матеріали стосовно продуктивності лісової та лучної рослинності, а також агрокультур в агрокліматичних умовах України (Швиденко, Строчинський, Савич, Кашпор, 1987; Довідник з агрокліматичних ресурсів України, 1993; Публічний звіт ДАЛРУ за 2019 рік). Це стосується і відповідних підсумкових показників власних експериментальних досліджень (Третяк, Черневий, 2011; Tretiak, & Czernewyj, 2013; Савчин, 2013; Черневий, 2014, Tretiak & Chervenuy, 2018). Середній річний приріст стовбурової деревини лісів України прийнято у розмірі $5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а потенційно можливі – $10 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. Для перерахунку на загальну фітомасу, що, окрім деревини стовбурів, містить обсяг деревини та кори гілок, коренів, застосовано конверсійний коефіцієнт 2 (Василишин, Бокоч, Василишин, Терентьев, 2012). Таким чином, величини середнього річного прирос-

ту фітомаси лісів України (Z) прийнято у розмірі $10 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а потенційно можливого – $20 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$. У перерахунку на масу сухої речовини ($600 \text{ кг} \cdot \text{м}^{-3}$), це значення становить, відповідно, 6 і $12 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Середня продуктивність сінокісних лук орієнтовно становить $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (Кияк, Малиновський, 2001). Продуктивність агрокультур в Україні приймаємо за усередненими даними ФАО (1998-2014 рр.). Зокрема, для пшениці вона складає $2,9 \pm 0,6$, картоплі – $12,7 \pm 3,4$, цукрового буряку – $24,9 \pm 10,4 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (Crops, 2020). Однак, загальна продуктивність, з урахуванням зеленої маси пшениці, є втричі вищою, ніж маси зерна, тобто орієнтовно складає $10 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ (Коваленко, Юркевич, 2009). У картоплі та буряку загальна продуктивність є дуже мінливою і залежить від продуктивності коренеплодів. Для розрахунків приймаємо її на 20% вищою, тобто для картоплі – 15, для цукрового буряку – $30 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$.

Наведені величини застосовано для розрахунків матеріально-енергетичного балансу фотосинтезу за річним приростом фітомаси (Z).

Вміст сухої речовини у рослинній масі приймаємо, орієнтуючись на опубліковані матеріали (Смирнов, Муравін, 1984) за такими відносними величинами (K_d): сіно – 70, зерно пшениці – 88, бульби картоплі – 22, коренеплоди цукрового буряку – 25%. Відносний вміст вуглецю у сухій масі (K_c) для сіна, зерна пшениці та коренеплодів картоплі приймаємо за крохмалем у розмірі 45%, а для цукрового буряку – за сахарозою, тобто 42%. Ці показники застосовуємо для розрахунку депонованого у річному прирості рослинної маси кількості вуглецю.

Розрахунок обсягу випаровування, в т.ч. транспірації, виконано на основі формули (2) з урахуванням річного приросту сухої фітомаси та коефіцієнта транспірації. Для лісів загалом коефіцієнт транспірації умовно застосовано у розмірі 600, для перспективних лісів – 1000, для агрокультур – $500 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Обчислення енергетичних затрат на транспірацію виконано із застосуванням формули (3).

Енергетичні затрати на процес фотосинтезу і транспірації розраховано відповідно до кількості депонованого вуглецю та приросту сухої фітомаси з розрахунку на один гектар упродовж року, тобто в $\text{МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1}$. Потужність споживання енергії встановлено з розрахунку на один квадратний метр, відповідно у $\text{Вт} \cdot \text{м}^2$. Це необхідно, щоб порівняти потужність споживання енергії з відповідними одиницями потужності відбитої та поглинутої радіації, що були наведені за літературними даними.

Таким чином, $1 \text{ МВт} \cdot \text{год} \cdot \text{га}^{-1} \cdot \text{рік}^{-1} = 10^6 \times 10^{-4} = 100 \text{ Вт} \cdot \text{год} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{рік}^{-1}$.

Середньорічну потужність потоку енергії (N_{yr}) визначено шляхом ділення отриманої величини спожитої енергії на тривалість року у годинах, тобто 8760 год., з отриманням результату у $\text{Вт} \cdot \text{м}^2$. Відповідно і потужність потоку енергії за час вегетаційного періоду (N_p) визначено аналогічно – шляхом ділення на його тривалість. Наприклад, для лісу та сінокісних лук тривалість фотосинтезного

періоду становить 2500, для культури пшениці – 1200, для картоплі та цукрового буряка – 1500 год. Таку протяжність зазначеного періоду встановлено залежно від його тривалості у місяцях для кожного типу рослинності з урахуванням середньої тривалості світлового дня кожного місяця, впродовж квітня-жовтня.

Охолоджуючий ефект розраховано для шару приземного повітря 30 м завтовшки на площі 1 м², тобто для об'єму 30 м³. Така товщина шару повітря відповідає висоті високопродуктивного насадіння деревостану першого бонітету у віці 100 років. Для порівняння, таку ж товщину шару повітря взято і для лісів загалом, а також для сінокісних лук та агрокультур. Відповідно до викладеного теоретичного матеріалу, для охолодження на 1°C 30 м³ повітря, маса якого становить 38,8 кг, необхідно витратити 11,09 Вт·год енергії. Відповідні розрахунки охоло-

джуючого ефекту, залежно від річного приросту сухої фітомаси (Z_d), депонованого вуглецю (Z_c) та потужності спожитої енергії, наведено у табл. 3.

Результати досліджень. Розрахунок річного матеріально-енергетичного балансу фотосинтезу основних типів рослинності та агрокультур в Україні наведено у табл. 1. Вони підтверджують, що лісова рослинність України загалом відзначається високим рівнем спожитої кількості карбону, води та енергії, а також значним обсягом продукрованої маси гектози і кисню. У випадку перспективних високопродуктивних лісів ці показники можуть бути вдвічі вищими. У двічі-тричі меншою є активність фотосинтезного процесу рослинності сінокісних лук та насаджень картоплі. Лише в агрокультурах пшениці та цукрових буряків показники фотосинтезного балансу виявилися близькими до лісової рослинності загалом.

Таблиця 1

Розрахунок річного матеріально-енергетичного балансу фотосинтезу

Типи рослинності та агрокультури	Приріст фітомаси					Спожито						Продукція	
	Z	k _d	Z _d	k _c	Z _c	CO ₂	H ₂ O	E _{ph}	N _{yr}	T _f	N _f	G _t	O ₂
Ліси, загалом	–	–	6,0	50	3,0	11,0	4,5	33,0	0,38	2500	1,32	7,5	8,0
Ліси, перспективні	–	–	12,0	50	6,0	22,0	9,0	66,0	0,75	2500	2,64	15,0	16,0
Сінокісні луки	3	70	2,1	45	0,9	3,5	1,4	10,4	0,12	2500	0,42	2,4	2,5
Пшениця	10	88	8,8	45	4,0	14,5	5,9	43,6	0,50	1200	3,63	9,9	10,6
Картопля	15	22	3,3	45	1,5	5,4	2,2	16,3	0,19	1500	1,09	3,7	4,0
Буряк цукровий	30	25	7,5	42	3,2	11,6	4,7	34,7	0,40	1500	2,31	7,9	8,4

Примітка. Z – загальна фітомаса, т·га⁻¹·рік⁻¹; k_d – частка сухої речовини, %, Z_d – річний приріст фітомаси, т·га⁻¹·рік⁻¹; k_c – частка вуглецю у фітомасі, %; Z_c – річний приріст депонованого у фітомасі вуглецю, т·га⁻¹·рік⁻¹; CO₂ – кількість діоксиду вуглецю, т·га⁻¹·рік⁻¹; H₂O – кількість води, т·га⁻¹·рік⁻¹; E_{ph} – кількість енергії, МВт·год·га⁻¹·рік⁻¹; N_g – середня потужність споживання енергії упродовж року, Вт·м²; T_f – тривалість періоду фотосинтезу, год; N_f – середня потужність споживання енергії упродовж фотосинтезного періоду, Вт·м²; G_t – кількість маси гектози, т·га⁻¹·рік⁻¹; O₂ – кількість кисню, т·га⁻¹·рік⁻¹

Особливо значними виявилися затрати енергії, які потрібні для забезпечення транспірації (табл. 2). Їх величини виявилися найменшими у випадку сінокісних лук та агрокультури картоплі. Удвічі-тричі вищими вони виявились для лісів загалом, агрокультур пшениці та цукрового буряка. Проте, для перспективних високопродуктивних лісів вони можуть перевищувати більш ніж у три рази ті, які маємо у випадку теперішніх лісів загалом.

У табл. 3 наведено результати розрахунку температурного градієнта охолоджуючого ефекту 30-метрового приземного шару повітря залежно від приросту сухої фітомаси, обсягу депонованого вуглецю та потужності потоку спожитої енергії. Якщо ліси загалом упродовж року здатні депонувати 3 т·га⁻¹ вуглецю, то цей процес вимагає відповідного споживання енергії та забезпечує охолодження 30-метрового приземного шару повітря упродовж року, в середньому на 2,4°C. У перерахунок

на тривалість фотосинтезного періоду (2500 год. упродовж року) це значення становить 8,6°C. Безперечно, що охолодження поширюється і на нічний час, коли відсутнє пряме споживання сонячної енергії. Окрім цього, охолодження до певної міри компенсується обміном теплової енергії з поверхнею ґрунту наземною фітомасою та повітряними масами з поза 30-метрового шару повітря тощо.

Представлені розрахунки свідчать про те, що за наявності перспективних високопродуктивних лісів охолоджуючий ефект може бути у три рази більшим. Відповідно, він у більш ніж три рази менший у випадку сінокісних лук. Значним, але короткотривалим, лише впродовж фітосинтезного періоду, може бути такий охолоджуючий ефект унаслідок вирощування агрокультури, особливо цукрового буряка.

Отримані аналітичні матеріали підтверджують істотний вплив процесів фотосинтезу і супутньої

йому транспірації на газовий склад та енергетичний потенціал приземного шару повітря. Ці процеси матеріально-енергетичного обміну між рослинністю та навколишнім повітрям є чітко аргументованими з біофізичних позицій і можуть бути достатньо коректно представлені кількісно. У цьому відношенні представлена теоретична концепція та виконані розрахунки є переконливішими, ніж існу-

ючі твердження про кореляцію змін клімату з приростом незначного вмісту діоксиду вуглецю у повітрі (Hertzberg & Schreuder, 2016; Nduka, 2016). Водночас величина депонованого вуглецю у рослинній масі чітко залежить від її приросту, а, отже, закономірно співвідноситься з продуктивністю та споживанням енергії процесів фотосинтезу і транспірації.

Таблиця 2

Розрахунок річного обсягу транспірації вологи й енергетичних затрат на неї

Типи рослинності та агрокультури	Z_d	k_t	m_{tr}	E_{tr}	N_{yr}	T_f	N_f
Ліси, загалом	6	600	3600	2293	26	2500	92
Ліси, перспективні	12	1000	12000	7644	87	2500	306
Сінокосні луки	2,1	500	1050	669	8	2500	27
Пшениця	2,6	500	1300	828	9	1200	69
Картопля	2,8	500	1400	892	10	1500	59
Бурак цукровий	6,2	500	3100	1975	23	1500	132

Примітка. Z_d – річний приріст сухої фітомаси, т·га⁻¹·рік⁻¹; k_t – коефіцієнт транспірації, г·г⁻¹, m_{tr} – загальна маса транспірованої вологи, т·га⁻¹; E_{tr} – затрати енергії, МВт·год·га⁻¹·рік⁻¹; N_{yr} – середня потужність спожитої енергії упродовж року, Вт·м²; T_f – тривалість періоду фотосинтезу, год.; N_f – середня потужність спожитої енергії упродовж фотосинтезного періоду, Вт·м²

Таблиця 3

Розрахунок температурного градієнта охолодження 30-метрового приземного шару повітря

Типи рослинності та агрокультури	Z _d	Z _c	Потужність споживання енергії						Температурний градієнт	
			фотосинтезом		транспірацією		разом			
			N _{yr}	N _f	N _{yr}	N _f	N _{yr}	N _f	Δt _{yr}	Δt _f
Ліси, загалом	6	3	0,4	1,3	26	92	26,4	93,3	-2,4	-8,6
Ліси, перспективні	12	6	0,8	2,6	87	306	87,7	308,6	-8,1	-28,6
Сінокісні луки	2,1	0,9	0,1	0,4	8	27	8,1	27,4	-0,7	-2,5
Пшениця	2,6	4	0,5	3,6	9	69	9,5	72,6	-0,9	-6,7
Картопля	2,8	1,5	0,2	1,1	10	59	10,2	60,1	-0,9	-5,7
Бурак цукровий	6,2	3,2	0,4	2,3	23	132	23,4	134,3	-2,2	-12,4

Примітка. Z_d – річний приріст сухої фітомаси, т·га⁻¹·рік⁻¹; Z_c – річний приріст депонованого у фітомасі вуглецю, т·га⁻¹·рік⁻¹; N_{yr} – середня потужність спожитої енергії упродовж року, Вт·м²; N_f – середня потужність спожитої енергії упродовж фотосинтезного періоду, Вт·м²; Δt_{yr} – середній градієнт охолодження повітря упродовж року, °C; Δt_f – середній градієнт охолодження повітря упродовж фотосинтезного періоду, °C

Обмін речовиною та енергією між рослинним покривом та нижнім шаром повітря відіграє важливу екологічну функцію, що, зокрема, полягає у збагаченні приземної атмосфери киснем та водяною парою. Не менш важливим є і споживання рослинністю під час вегетаційного періоду теплової енергії з навколишнього середовища, що призводить до його охолодження. Цей аспект дуже важливий не лише у регіональному вимірі, але й у локальному, оскільки виявляє вплив на оптимізацію життєвого

середовища міст і територій індустриальних комплексів, а також курортних зон.

Середньорічне споживання теплової енергії потужністю від 8 до 26 Вт на 1 м² з 30-метрового шару повітря переконливо свідчить про важливість цього процесу у запобіганні потепління клімату внаслідок парникового ефекту. Адже, у середніх широтах Європи середньорічна поглинута енергія короткохвильового випромінювання становить 60-150 Вт·м⁻² з максимумом у липні – 200-300 Вт·м⁻² (Hatzianastas-

siou et al., 2005). Відповідно з цього погляду, важливими є витрати енергії на фотосинтез й транспірацію і під час фотосинтезного періоду у розмірі 27-135 Вт·м⁻². Це дуже важлива охолоджуюча приземні шари повітря функція, яка для 30-метрового шару повітря впродовж року може забезпечити зниження його температуру на 0,7-2,4°C. Не менш важлива ця екологічна функція і під час фотосинтезного періоду, адже впродовж світлового дня таке охолодження повітря може становити від 2,5 до 12,5°C. Особливо цінна з цього погляду роль лісів, оскільки фотосинтезний період у них майже вдвічі триваліший, ніж в агрокультур. Окрім цього, лісове середовище добре захищає охолоджене повітря від переміщення назовні. У цьому відношенні рослинність сінокісних лук має втричі менші функціональні можливості.

Значну, але короткотривалу охолоджуючу повітря функцію виконують і високопродуктивні агрокультури. Проте, це стосується здебільшого лише фотосинтезного періоду. Окрім того, охолоджені повітряні маси над агрокультурами не захищені від переміщення. Варто однак зазначити, що рівень продукційного процесу агрокультур є штучно стимульований внесенням органічних та мінеральних добрив, чого зазвичай немає у лісових чи лучних сінокісних угіддях.

Заслугує на увагу в екологічному аспекті також продукційна функція фотосинтезу, власне показник обсягу гектози, яка містить депонований вуглець, а також кисню й транспірованої пари, якими збагачуються приземні шари атмосфери. Особливо цінними у цьому аспекті можуть бути високопродуктивні ліси та агрокультури пшениці і цукрового буряка. Адже впродовж року ліси України здатні збагатити приземні шари атмосфери на 8 т·га⁻¹ кисню, а також на 3600 т·га⁻¹ водяної пари. Подібну, але короткотривалу функцію виконують і агрокультури.

Отже, загалом охолодження повітря та збагачення його вологою внаслідок фотосинтезу і транспірації запобігає потеплінню та посушливості клімату. В цьому полягає дуже важлива функція рослинного покриву суші й, зокрема, лісових екосистем. Саме тому знеліснення (дефористація) призводить до небажаних змін клімату.

Отримані результати показують, що кількість депонованого у рослинній масі вуглецю пропорційно корелює з кількістю продуктів фотосинтезу та спожитих енергетичних ресурсів на процеси фотосинтезу і транспірації. Тобто, можна зробити висновок, що сам депонований вуглець не є чинником змін температурного режиму повітря та вмісту у ньому водяної пари. Проте його вміст може бути вагомим індикатором ролі продукційного процесу фотосинтезу та супутньої транспірації у формуванні температурного режиму повітря і його вологості.

Кліматоформуюча роль лісів може бути вагомішою за умови підвищення їх продуктивності до рівня річного приросту стовбурної деревини 10 м³·га⁻¹. У такому випадку їхня охолоджуюча по-

вітря функція могло би бути втричі більшою. Відповідно і збагачення повітря киснем та водяною парою було б пропорційно втричі інтенсивнішим. Такого ефекту не вдасться отримати шляхом вирощування агрокультур, оскільки їхня продуктивність є короткотривалою.

Підвищення продуктивності лісів є цілком реальним в умовах гумідного помірного клімату Європи. Адже середні показники річного приросту запасів деревостанів у таких країнах як Німеччина, Ірландія, Данія сягають 11 м³·га⁻¹, а у Польщі, Австрії, Великобританії, Чехії, Словаччині, Словенії, Швейцарії, Бельгії та Голландії – 7-9 м³·га⁻¹. Середні запаси деревостанів у цих країнах сягають 300-350 м³·га⁻¹ (*Forestry in the EU and the World*, 2011; *Forest Europe*, 2015).

Висновки. Обмін речовиною та енергією між рослинним покривом і нижнім шаром повітря відіграє важливу екологічну функцію, що, зокрема, полягає у збагаченні приземної атмосфери киснем і водяною парою, а також в її значному охолодженні, що відбувається внаслідок потужного споживання енергії процесами фотосинтезу та супутньої транспірації. Інтенсивність цих процесів пропорційно корелює з кількістю депонованого у фітомасі вуглецю. Такі екологічні функції лісів України за показниками інтенсивності фотосинтезу і транспірації втричі перевищують відповідні властивості лучної рослинності.

У випадку вирощування високопродуктивних лісів, річний приріст стовбурового запасу яких сягав би 10 м³·га⁻¹, збагачення приземного шару повітря киснем було б удвічі більшим, ніж за теперішнього приросту 5 м³·га⁻¹, а водяною парою – у три-чотири рази більшим. Відповідно у три-чотири рази більшим було б і споживання теплової енергії з навколишнього середовища.

Подібні екологічні функції виконує також рослинність лук та агрокультур. Однак, це відбувається лише під час відносно короткого фотосинтезного періоду. Водночас їхня продуктивність може бути високою за умови застосування відповідної агротехніки. Однак, вона все ж є співмірною з сучасною продуктивністю лісів України, і водночас – меншою, ніж у випадку високопродуктивних лісів.

У перспективі, з метою запобігання небажаним змінам клімату, радикальним шляхом мало би бути не лише збільшення площі лісів України, але й їхньої продуктивності до рівня кращих показників країн Європейського Союзу. Середній запас стовбурової деревини мав би сягати 300-350 м³·га⁻¹, а річний приріст – близько 10 м³·га⁻¹.

Список літератури

- Василишин, Р. Д., Бокоч, В. В., Василишин, О. М., Терент'єв А. Ю. (2012). Структура фітомаси лісових біоценозів Карпатського національного природного парку. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22 (4), 77-85 [Vasylyshyn, R. D., Bokoch, V. V., Vasylyshyn, O. M. & Terent'yev A. Yu. (2012). The structure of

- the biomass forestry of Carpathian National Nature Park. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22.4, 77-85 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_4/index.htm
- Довідник з агрокліматичних ресурсів України (1993). Агрокліматичні умови росту та розвитку основних сільськогосподарських культур. Серія 2, ч. 2. Київ: МСП [*Handbook of agro-climatic resources of Ukraine*. (1993). Agro-climatic conditions for growth and development of major crops. Series 2. Kyiv: MSP (in Ukrainian)].
- Кияк, В., Малиновський, А. (2001). Сіножаті та пасовища Львівської області. *Праці Наукового товариства ім. Шевченка: Екологічні проблеми природокористування та біорозмаїття Львівщини*, 7, 58-68. [Kujak, V., & Malynowsky, A. (2001). Hayfields and pastures of Lviv region. *Proceedings of the Scientific Society Shevchenko: Ecological problems of nature management and biodiversity of Lviv region*, 7, 58-68 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/73449>
- Коваленко, Н.П., Юркевич, Є.О. (2009). Урожайність і продуктивність пшениці озимої та ячменю озимого у різноротаційних сівозмінах південного Степу України. *Бюлетень Інституту зернового господарства ВААН*, 37, 54-59. [Kovalenko, N. P., & Jurkevych, Je. O. (2009). Yield and productivity of winter wheat and winter barley in different rotational crop rotations of the southern steppe of Ukraine. *Bulletin of the Institute of Grain Management of the Ukrainian Academy of Agrarian Sciences*, 37, 54-59 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://www.institut-zerna.com/library/pdf37/13.pdf>
- Публічний звіт ДАЛРПУ за 2019 р. (2019). Київ [*State Agency of Forest Resources of Ukraine Public Report for 2019*. (2019). Kyiv (in Ukrainian)]. Retrieved from: https://mepr.gov.ua/files/images/news_2020/26022020/%d0%9f%d0%a3%d0%91%d0%9b%d0%86%d0%a7%d0%9d%d0%98%d0%99%20%d0%97%d0%92%d0%86%d0%a2%20%d0%94%d0%90%d0%9b%d0%a0%d0%a3%20%d0%97%d0%90%202019%20%d0%a0-%d0%86%d0%9a.pdf
- Савчин, А.І. (2013). Особливості структури старовікового букового деревостану у верхів'ї басейну р. Сукіль (Східні Бескиди). *Науковий вісник НЛТУ України*, 23.9, 389-397 [Savchyn, A.I. (2013). Features of the old-growth beech forest stand structure in the river Sukil upper basin (Eastern Beskids). *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23.9, 389-397 (in Ukrainian)]. Retrieved from: https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_9/389_Saw.pdf
- Смирнов, П.М., Муравин, Е.А. (1984). *Агрохимия*. Москва: Колос [Smirnov, P. M., & Muravin, Je. A. (1984). *Agrochemistry*. Moscow: Kolos (in Russian)]. Retrieved from: <https://www.twirpx.com/file/1350660/>
- Третьак, П.Р., Черневий, Ю.І. (2011). Приріст деревостанів старшого віку: екологічний аспект. *Доповіді НАН України*, 6, 203-208 [Tretyak, P. R., & Chernevyy, Ju. I. (2011). Older stands increase, ecological aspect. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 6, 203-208 (in Ukrainian)]. Retrieved from: http://nbuv.gov.ua/UJRN/dnanu_2011_6_35
- Черневий, Ю. (2014). Биометрические особенности старовозрастных древостоев Сколевских Бескид (Украина). *Zarządzanie ochroną przyrody w lasach. Rocznik Wyższej Szkoły Zarządzania Środowiskiem w Tucholi, VIII*, 24-32 [Chernevyy, J. (2014). Biometric features of old-growth stands of Skole Beskids (Ukraine). *Management of Environmental Protection in Forests. Yearbook of the University of Environmental Management in Tuchola. VIII*, 24-32 (in Russian)]. Retrieved from: <https://doi.org/10.5604/20811438.1158026>
- Швиденко, А.З., Строчинский, А.А., Савич, Ю.Н., Кашпор, С.Н. (1987). *Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии*. Киев: Урожай [Shvidenko, A. Z., Strochinskiy, A. A., Savich, Yu. N., Kashpor, S. N. (1987). *Normative-reference materials for forest inventory of Ukraine and Moldova*. Kiev: Harvest (in Russian)]. Retrieved from: <https://www.twirpx.com/file/813567/>
- Climate Change (2013). The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P. M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/02/WG1AR5_all_final.pdf
- Crops (2020). FAOSTAT. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Retrieved from <http://www.fao.org/faostat/en/#data/QC>
- Energy and Climate Change (2015). World Energy Outlook Special Report. Paris: International Energy Agency. Retrieved from <https://www.buildup.eu/en/node/44636>
- Forest Europe (2015). State of Europe's Forests 2015. Retrieved from <http://foresteurope.org/state-europes-forests-2015-report/>
- Forestry in the EU and the World (2011). A Statistical Portrait. Statistical Office of the European Communities. Publications Office of the European Union. Retrieved from <https://ec.europa.eu/eurostat/documents/3217494/5733109/KS-31-11-137-EN.PDF>
- Gilliam, F. (2016). Forest ecosystems of temperate climatic regions: from ancient use to climate change. *The New phytologist*, 212, 871-887. <https://doi.org/10.1111/nph.14255>
- GISS Surface (2016). Temperature Analysis. National Aeronautics and Space Administration and Goddard Institute for Space Studies. Retrieved from <http://data.giss.nasa.gov/gistemp/graphs/>
- Hatzianastassiou, N., Matsoukas, C., Fotiadi, A., Pavlakis, K. G., Drakakis, E., Hatzidimitriou, D., &

- ## Matter and energy influence of forest vegetation on the environment

P. Tretyak¹, Ju. Chernevyy²

Modern climate change is an important environmental problem of mankind. It is largely due to the powerful anthropogenic impact on the biosphere, in particular, deforestation. However, forests role in forming climate change in regions and the continents is still poorly understood. This primarily concerns the influence of forests on the gas composition of the surface layers of the atmosphere, their temperature, etc.

¹ *Platon Tretyak* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-President of the FAS of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor. Communal higher education institution «Prykarpattia Professional College of Forestry and Tourism», Zamkova str., 14, Bolekhiv, Ivano-Frankivsk region, Ukraine. Tel.: +38-067-6626841, E-mail: platon.tretyak@gmail.com.
com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-060X>

² *Jurij Chernevyy* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences. Communal higher education institution «Prykarpattia Professional College of Forestry and Tourism», Zamkova str., 14, Bolekhiv, Ivano-Frankivsk region, Ukraine. Tel.: +38-03437-34668, E-mail: phlc@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1677>

The purpose of the study was an attempt to study theoretically the problem of assessing the matter and energy impact of the phytomass growth of Ukrainian forests on the surface atmosphere in comparison with other vegetation types. This applies to the carbon deposition, oxygen production, transpiration and the atmosphere enrichment with moisture, as well as the light and heat energy consumption from the environment.

The theoretical concept is based on the known biochemical and physical laws. This is the substance and energy photosynthesis proportions and its accompanying transpiration, as well as the air cooling effect.

The following axioms were taken as the basis of the study:

- climate formation is largely connected with the energy and matter circulation in the biosphere;
- at the local level near the earth's surface powerful matter and energy circulation is in progress between phytomass and the atmosphere;
- the material and energy flow intensity is proportional to the increase of phytomass;
- the phytomass increase occurs as the photosynthesis result and is accompanied by a powerful transpiration;
- photosynthesis and transpiration require a large amount of energy consumption from the environment, which leads to its cooling.

The calculation of the photosynthesis was performed balance on the basis of official materials as for productivity of forest, meadow vegetation and agriculture in Ukraine. Relevant final indicators of own experimental studies were also applied. The annual dry substance productivity of the total phytomass was taken as a basis.

The substance and energy proportions of the generalized model of photosynthesis reaction are applied. Consumption: carbon dioxide – 3,668 tons, water – 1.5 tons and energy – approximately 11042 kWh. Production: oxygen – 2.67 tons and hexose – 2.5 tons, in which 1 ton of carbon is deposited.

The volume of transpired moisture was calculated according to the phytomass dry substance productivity and the transpiration coefficient. Energy costs for transpiration were calculated according to the evaporation amount taking into account the specific vaporization heat.

The cooling effect is calculated for the air surface layer 30 m height. This corresponds to average stand height at the age of 100. The calculation was performed on the basis of air energy consumption per 1 m², that is from 30 m³ taking into account its specific heat capacity.

The obtained analytical materials clearly testify the photosynthesis processes significant influence and the accompanying transpiration on the gas composition and energy potential of air surface layer.

Generally, Ukraine's forests are able to deposit 3 t·ha⁻¹ of carbon during the year. This leads to the production of 8 t·ha⁻¹ oxygen and air enrichment

with moisture in the amount of 3600 t·ha⁻¹. These processes require appropriate energy consumption, which leads to cooling 30-meter air surface layer by an average of 2.4 °C during the year. Meadow vegetation and agricultural crops also perform such ecological functions. However, this occurs only during a relatively short photosynthetic period.

In terms of photosynthesis and transpiration intensity, forest ecological functions are three times higher than the corresponding properties of meadow vegetation. In the case of highly productive forests growing, the annual growth of which would reach 10 m³·ha⁻¹, the enrichment of the surface atmosphere with oxygen would be twice as much as with the current increase of 5 m³·ha⁻¹, and water vapor – three to four times more. Accordingly, the thermal energy consumption from the environment would be three to four times higher.

Key words: photosynthesis; transpiration; phytomass; growth; forests; agriculture; carbon deposition; oxygen; energy; climate.

Материально-энергетическое воздействие лесной растительности на окружающую среду

П.Р. Третьак¹, Ю.И. Черневый²

Целью исследования была попытка теоретической проработки проблемы оценки материально-энергетического воздействия на приземную атмосферу прироста фитомассы лесов Украины, по сравнению с другими типами растительности, касательно депонирования углерода, продуцирования кислорода, транспирации и обогащения атмосферы влагой, а также потребления световой и тепловой энергии из окружающей среды.

Теоретическая концепция построена на основе известных биохимических и физических закономерностей. Это материально-энергетические пропорции фотосинтеза и сопровождающей его транспирации, а также охлаждающего воздушного эффекта.

¹ Третьак Платон Романович – академик Лесной академии наук Украины, вице-президент ЛАН Украины, доктор биологических наук, профессор. Коммунальное высшее учебное заведение «Прикарпатский профессиональный колледж лесного хозяйства и туризма», ул. Замковая, 14, г. Болехов, Ивано-Франковская обл., Украина. Тел.: +38-067-6626841, E-mail: platon.tretyak@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8278-060X>

² Черневый Юрий Иванович – академик Лесной академии наук Украины, доктор биологических наук. Коммунальное высшее учебное заведение «Прикарпатский профессиональный колледж лесного хозяйства и туризма», ул. Замковая, 14, г. Болехов, Ивано-Франковская обл., Украина. Тел.: +38-03437-34668, E-mail: plhc@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1180-1677>

Вычисления баланса фотосинтеза выполнены на основе официальных материалов, касающихся продуктивности в Украине лесной и луговой растительности, а также агрокультур. Также были использованы имеющиеся итоговые показатели собственных экспериментальных исследований. За основу взято годовую продуктивность сухого вещества общей фитомассы.

Применены материально-энергетические пропорции обобщенной модели реакции фотосинтеза. Объем транспирации влаги вычислено в соответствии с продуктивностью сухого вещества фитомассы с учетом транспирационного коэффициента. Энергетические затраты на транспирацию определены в соответствии с объемом испарения влаги, учитывая удельную теплоту парообразования.

Охлаждающий эффект рассчитан для приземного слоя воздуха высотой 30 м, что соответствует средней высоте древостоя в возрасте 100 лет. Вычисления выполнены на основе мощности потребленной энергии на 1 м^2 , то есть объема 30 м^3 воздуха, учитывая его удельную теплоемкость.

Леса Украины в целом в течение года способны депонировать $3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ углерода, что сопровождается

продуцированием $8 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ кислорода и обогащения воздуха влагой в объеме $3600 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Эти процессы требуют соответствующего потребления энергии, что приводит к охлаждению в течение года 30-метрового приземного слоя воздуха в среднем на $2,4^\circ\text{C}$.

Такие экологические функции выполняет также растительность лугов и агрокультур. Однако, это происходит только в течение относительно короткого периода фотосинтеза.

По показателям интенсивности фотосинтеза и транспирации, экологические функции леса в три раза превышают соответствующие свойства луговой растительности. В случае выращивания высокопродуктивных лесов, годовой прирост стволового запаса которых достигал бы $10 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, обогащение приземного слоя атмосферы кислородом было бы в два раза больше, чем при нынешнем приросте $5 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а водяным паром – в три-четыре раза больше. Соответственно в три-четыре раза большим было бы и потребление тепловой энергии из окружающей среды.

Ключевые слова: фотосинтез; транспирация; фитомасса; прирост; леса; агрокультуры; депонированный углерод; кислород; энергетика; климат.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412022>
Article received 2020.01.14
Article accepted 2020.12.28

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

UDC 630.4

Ophiostomatoid fungi vectored by bark beetles and colonizing trees of *Pinus sylvestris* in Sumy region (Ukraine)

K. Davydenko¹, D. Baturkin²

Intensive mortality of Pinus sylvestris trees has recently been observed in the Sumy region in eastern Ukraine. There are two pine bark beetle species (Ips acuminatus and Ips sexdentatus), which spread resulted in considerable forest damage in Ukraine. The study of ophiostomatoid fungi vectored by bark beetles is very important to assess total harm of these insects.

Therefore, the aim of our research was i) to identify ophiostomatoid fungi associated with weakened and dying Scots pine trees infested by bark beetles in the Sumy region; ii) to test the pathogenicity of these ophiostomatoid fungi to evaluate their potential threat to Scots pine. The fungi were isolated from bark beetle galleries and identified based on morphological properties and DNA sequences.

In total, eight ophiostomatoid fungi (Graphium sp., Grosmannia sp.1, Ophiostoma bicolor, O. ips, O. canum, O. piceae, O. minus, Ophiostoma sp.1) were isolated from Scots pine trees infested by bark beetles. Scots pine seedlings were inoculated with eight fungi and sterile medium (control) to evaluate their pathogenicity. The inoculated seedlings were examined finally in 6 month after inoculation. Inoculation with O. minus produced significantly largest lesions and only this fungus caused mortality of pine seedlings. In total, all eight fungal species inoculated caused resin exudation and staining the bark around inoculations in Scots pine seedlings and five fungi caused different rate of seedlings decline. The size of stained sapwood was also greater following O. minus inoculations than other fungi or the control. All ophiostomatoid fungi caused significantly longer necrotic lesions and more occlusions in the sapwood than the controls.

Therefore, based on the ability of various ophiostomatoid fungi to weaken and kill pine seedlings and stain sapwood, O. minus was the most dangerous species for Scots pine trees, followed by Graphium sp. and Ophiostoma sp.1. The occurrence of ophiostomatoid fungi in the sapwood of Scots pine is consistent with the concept of their primary role in the colonization of the fresh sapwood of trees in the succession of microorganisms during wood decay.

Key words: ophiostomatoid fungi; Scots pine; bark beetles; pathogenicity; forest health.

Introduction. Climate change worldwide has been linked to increased mortality of conifers due to drought, water stress, and consequently associated insect outbreaks, especially bark beetles (Cottrell et al., 2020; Dobor et al., 2020).

Some bark beetles can cause extensive harm to the spruce and pine forests across Europe including Ukraine. Thus, massive mortality of Scots pine (*Pinus sylvestris*) trees has been observed in the Sumy region in northern Ukraine since 2016 due to the drought and

¹ Kateryna Davydenko – Member of 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>

² Denys Baturkin – Head of Forest Protection Service «Kharkivlisozahtyst», postgraduate student at G.M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration, Pushkinska str., 86. Tel.: +38-067 764 81 07. E-mail: baturkin.denis@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>

subsequent bark beetle outbreak. There are now two the most aggressive pine bark beetle, pine engraver beetle *Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827: Curculionidae, Scolytinae) and six-toothed bark beetle *Ips sexdentatus* (Boerner, 1766: Curculionidae, Scolytinae), the spread of which resulted in considerable damage of the forest in Ukraine last decade (Meshkova et al., 2018; Meshkova & Borisenko, 2018). This complex of bark beetles is capable of killing pine forests over large areas in Ukraine and Europe (Meshkova et al., 2018). Moreover, bark beetles carry microbial spores on their exoskeleton, transferring them to trees during the colonization or feeding in the phloem of pine trees (Jankowiak, 2006; Bueno et al., 2010).

Therefore, now bark beetles are among the most economically and ecologically important pests of the world forests (Six, 2013; Cottrell et al., 2020;), but greater problems arise from their associated phytopathogenic blue-stain fungi, so-called ophiostomatoid fungi. This group includes genera such as *Ophiostoma*, *Ceratocystiopsis*, *Graphilbum*, *Raffaelea* and *Leptographium* in the *Ophiostomatales*, and *Ceratocystis* and *Graphium* in the *Microascales* (De Beer et al., 2013). The ophiostomatoid group contains a lot of tree pathogens, which are responsible for serious tree diseases, wood discoloration, and even high rates of tree mortality (Davydenko et al., 2017, 2019; Dori-Bachash et al., 2015; Repe et al., 2015). Many studies demonstrated that in the case of aggressive bark beetles that are able to kill healthy and slightly weakened trees, phytopathogenic fungi may help the beetles to overwhelm tree defenses (Six, 2003; Six, 2013; Wingfield et al., 2017).

There is only a little information about the association of ophiostomatoid fungi with bark beetles and their pathogenicity to pine trees in Ukraine (Davydenko et al., 2014; Davydenko et al., 2017). In a recent study in Ukraine, six blue-stain fungi, including, *O. cf. rectangulosporium*, *O. ips*, *O. minus*, *O. pallidulum*, *O. picea* and *O. olivaceum* were isolated from the *Ips acuminatus* and their pathogenicity were tested (Davydenko et al., 2017, 2019). Among these, *O. minus* was the most pathogenic one when inoculated into *P. sylvestris* trees that it was also demonstrated in other studies (Jankowiak 2006; Jankowiak & Bilański, 2012).

Therefore, the aim of our research was 1) to identify ophiostomatoid fungi associated with weakened and dying Scots pine trees infested by bark beetles in the Sumy region; 2) to test the pathogenicity of obtained ophiostomatoid fungi to broaden the knowledge and evaluate the potential threat of aforementioned fungal isolates, which could be harmful to Scots pine.

Material and methods. *Field study and sample collection.* In May 2017 and November 2018 to examine the presence of ophiostomatoid fungi, samples of blue-stained wood were taken from Scots pine trees damaged by bark beetles during sanitary felling in Sumy region: State Enterprise «Okhtyrsk Forest Economy» (Okhtyrsk FE), Okhtyrsk forestry, compartment 52, subcompartment 3 and State Enterprise «Shostkinske

Forest Economy» (Shostkinske FE), Myronivske forestry, compartment 5, subcompartment 27. Sampling has been done from 28 randomly selected pine trees (14 trees in each site) which were 58-102 years old showing external signs of crown dieback and bark beetle attacks. Health condition (HC) of sampled trees was evaluated visually before cutting on a range of visual characteristics (crown color and density, dead branches in the crown, etc.) according to «Sanitary rules in the forests of Ukraine» (Санітарні правила в лісах України, 2016). Each tree was ranked according to one out of six categories (1st – healthy; 2nd – weakened; 3rd – severely weakened; 4th – drying; 5th – recently died; 6th – died over a year ago).

The two sites were approximately 256 km from each other. Samples were taken manually and the tool superficially sterilized with 96% ethanol after each sampling. Samples of the bark beetle galleries, phloem, and sapwood (approximately 5 × 5 cm) were stored in separate clean paper bags in the fridge in the laboratory.

Samples were inspected in the laboratory using a microscope for the presence of the fungal fruit-bodies in the bark beetle galleries. Wood samples were sterilized by 96% ethanol for 15 seconds and small wood fragments were used to place on selective media for ophiostomatoid fungi (2% malt extract agar with cycloheximide (200 mg/L, AldrichSigma, St. Louis, Co. LLC.). Fungal cultures were purified by transferring growing hyphae or spore masses from individual colonies to new 2% malt extract agar without cycloheximide. Cultures were incubated at 22 °C in the dark. All cultures were grouped morphologically and identified using identification keys. Due to contradiction in the taxonomy of ophiostomatoid fungi, molecular methods (Davydenko et al., 2017) were also used to identify species.

DNA extraction, PCR, sequencing, and molecular identification. DNA was extracted from the cultures of the isolates representing morphological groups. Approximate DNA concentrations were determined at 260 nm using the Nano-drop 2000 spectrophotometer (Nano-drop Technologies, Wilmington, DE, USA). Internal transcribed spacer (ITS) regions 1 and 2, including the ribosomal 5.8S gene, were amplified using the ITS primer pairs (Davydenko et al., 2017). The reaction mixture contained, in a total volume of 15 µl, 200 µM deoxyribonucleotide triphosphates, 0,2 µM of each primer, 0,03 U/µl Thermo Green Taq polymerase with reaction buffer Green, and 2,75 mM final concentration of MgCl₂. The thermal cycling was carried out using an Applied Biosystems GeneAmp PCR System 2700 thermal cycler (Foster City, CA, USA). An initial denaturation step at 95°C for 5 min was followed by 35 amplification cycles of denaturation at 95°C for 30 s, annealing at 55°C for 30 s, and extension at 72°C for 30 s. The thermal cycling was ended by a final extension step at 72°C for 7 min. The protein-coding gene β-tubulin (partial gene) was also amplified using the primers Bt2a and Bt2b (Davydenko et al., 2017).

Inoculation of pine seedlings. To investigate the pathogenicity of the ophiostomatoid fungi to

P. sylvestris, inoculation experiments were carried out on 3-5-year-old seedlings of *P. sylvestris*, growing outdoor of laboratory «Kharkivlisozahyst». Stem diameters at the inoculation point were between 12,6 mm and 14,8 mm (13,7 mm on average). All species from ophiostomatoid group were used in the pathogenicity test. In May 2019, 96 seedlings of *P. sylvestris* were inoculated with a spore suspension of selected fungal species (12 seedlings per fungus). All pine seedlings were inoculated by making a wound on the stem with the aid of a scalpel and pouring 10 μ L of spore solution suspension (5×10^3 spores mL^{-1}) onto the wound. The wound was then covered with a strip of Parafilm to prevent desiccation. In addition, 12 control seedlings were inoculated in the same way, with sterilized water, and the wounds were also covered with a strip of Parafilm. The morphological condition of all pine seedlings was first evaluated on a weekly, and then a monthly basis as visually healthy, weakened, or dead plants subject to typical symptoms of damping-off, crown decline, resin flow, and necrosis. Disease susceptibility was finally estimated at 120 and 180 days post-inoculation. After this, all plants were harvested and the bark of each seedling was peeled off the stem and the sizes of any lesions (length, depth, and width) that had formed in the phloem around the inoculation points were measured. The stems were then cut across the inoculation points. The tangential width and radial length (depth) of discoloured zones of sapwood were measured on the surface of the cross-section. Small pieces of wood were cut from the discoloured sapwood of the seedlings and transferred onto 2% malt extract agar with 0.8% cyclohexamide and 0.2% streptomycin sulphate (CSMA) to confirm the presence of the inoculated fungus.

Statistical analyses. Raw sequence data were analyzed using the SeqMan Pro version 10.0 software from DNASTAR package (DNASTAR, Madison, WI, USA). Databases at GenBank and at the Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Swedish University of Agricultural Sciences, were used to determine the identity of ITS rRNA sequences. The criteria used for identification were: sequence coverage > 80%; similarity to taxon level 98-100%, similarity to genus level 92-97%.

A NCBI BLAST (National Centre for Biotechnology Information, www.ncbi.nlm.nih.gov) search was run with the edited sequences for preliminary species identification. Obtained data were analyzed using Kolmogorov-Smirnov test to check the normal distribution and homogeneity of variance. Data on lesion size of Scots pine seedlings inoculated with fungal species were analyzed using ANOVA general linear model (GLM) in Statistica software (STATISTICA® 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, USA). Necroses were measured in only one direction from the point of inoculation. For ANOVA significant effects ($p < 0,05$), a post hoc HSD Tukey test was used to compare the means with a significance level of $p < 0,05$.

Results and discussion. Healthy, weakened, and dying Scots pine trees in both sites were inspected and visually evaluated to rank. The signs of bark beetle attack and typical symptoms of the presence of ophiostomatoid fungi (blue to greyish-black stains on wood) were observed only in trees of the 3rd-5th categories of health condition (severely weakened, drying, and recently died respectively) (Fig. 1).

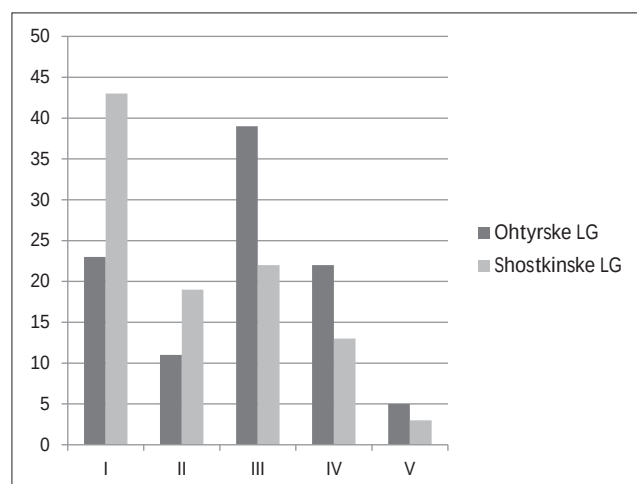


Fig. 1. The number of Scots pine trees of different health condition (HC)

Moreover, almost all trees in the 3rd-5th categories were damaged by bark beetles and ophiostomatoid fungi for both sites (Fig.2).

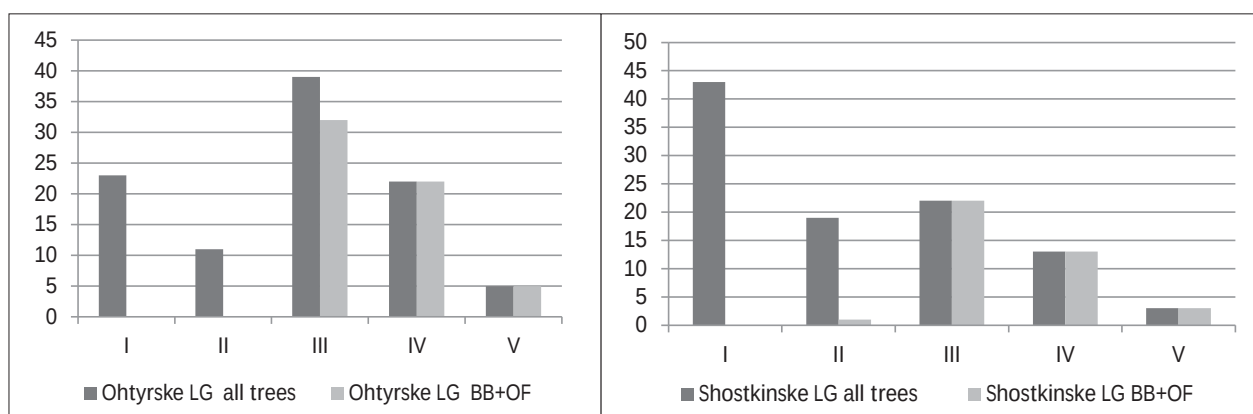


Fig. 2. The number of Scots pine trees of different forest health condition damaged by bark beetles (BB) and ophiostomatoid fungi (OF) for Ohtyrskoe FE (left) and Shostkinske FE (right)

In total, 256 isolates were obtained from wood samples which further were grouped in 8 clusters (Tab. 1). The isolates were used for DNA extractions, species identification, and further inoculation.

The most commonly for all trees at both sites was *Ophiostoma piceae* (82.1%), the slightly less abundant were *Ophiostoma ips* and *O. minus* (67.9%), as well as *Ophiostoma bicolor* (64.3%), (data not shown). The

frequency of other detected species was lower than 30%. The five from eight blue-stain fungi (*Ophiostoma bicolor*; *O. ips*, *O. canum*, *O. piceae*, *O. minus*) were isolated from trees 3rd and 4th health categories at both sites. *Graphium* sp was found only on severely weakened trees at Shostkinske FE, while *Grosmannia* sp.1 was also isolated only from trees of 4th category of FHC but for both sites (see Tab. 1).

Table 1

Frequency of ophiostomatoid fungi from weakened *Pinus sylvestris* trees grown in Sumy region in Ukraine

Ophiostomatoid species	Frequency of isolates from galleries			
	Okhtyrskye FE		Shostkinske FE	
	HCI=3	HCI=4	HCI=3	HCI=4
<i>Grosmannia</i> sp.1	–	21.43	–	35.71
<i>Graphium</i> sp.	–	–	–	50.00
<i>Ophiostoma bicolor</i> R. W. Davidson & D. E. Wells	14.29	35.71	21.43	57.14
<i>Ophiostoma canum</i> (Münch) Syd. & P. Syd	7.14	14.29	14.29	28.57
<i>Ophiostoma ips</i> (Rumbold) Nannfeldt	28.57	28.57	28.57	50.00
<i>Ophiostoma minus</i> (Hedgec.) Syd. & P. Syd	28.57	14.29	35.71	57.14
<i>Ophiostoma piceae</i> (Münch) Sydow & P. Sydow	21.43	50.00	28.57	64.29
<i>Ophiostoma</i> sp.1	14.29	28.57	–	–

The principal components analysis (PCA) based on Euclidean distances revealed that the first principal component explained 97.42% of the variability in the data of the fungal communities (data not shown). Four different clusters were formed for all sites in the respect to the fungal community compositions, indicating the significant difference between sites caused blue-stain fungal community shifts associated with bark beetles' galleries and the similarity between the trees of the 3rd and 4th health condition categories (see Fig. 2).

The similarity matrices between tree categories and the difference between site groups were employed to

yield different results. In this work, a similarity matrix based upon Euclidean distance, commonly used in cluster analysis, is developed as a viable alternative. This analysis resulted in Euclidean similarity-based PCA identifies parameters that are close to each other, thereby providing a wide range of similarity between fungal communities for trees 3rd and 4th HC measures available to investigators, to be chosen based on what characteristic they wish to identify. Moreover, the correspondence analysis revealed associations between fungal taxa and different types of samples (Fig. 3).

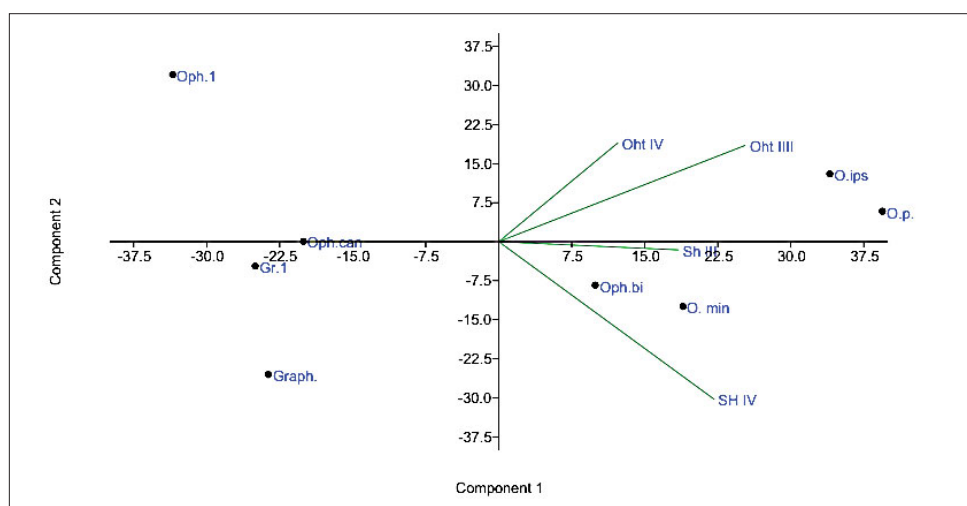


Fig. 3. Principal components analysis showing an association between different fungal species and individual samples of this study: trees of 3rd and 4th categories at Okhtyrskye FE (Oht III and Oht IV) and Shostkinske FE at Shostkinske FE (Sh III and SH IV) Taxonomic names correspond to a position in the ordination (centered) and their font size corresponds to a relative abundance as indicated in the upper right corner of the diagram and Table 1 (Gr.1 – *Grosmannia* sp.1, Graph. – *Graphium* sp., Oph.bi – *Ophiostoma bicolor*, Oph.can – *Ophiostoma canum*, O.ips – *Ophiostoma ips*, O. min – *Ophiostoma minus*, O.p. – *Ophiostoma piceae*, Oph.1 – *Ophiostoma* sp.1).

Ophiostoma ips and *O. piceae* were commonly associated with the pine trees from Okhtyrsk FE while *Ophiostoma bicolor* and *O. minus* were commonly linked to the pine trees 3rd and 4th FHC from Shostkynske FE. Another group of fungi including *Grosmannia* and *Ophiostoma canum* were associated with all groups while *Graphium* sp. and *Ophiostoma* sp.1 were distributed more or less randomly and did not show a clear association with any type of sample (see Fig. 3).

Pathogenicity test. As mentioned in the introduction, some ophiostomatoid fungi are pathogenic to their host plants. Generally, ophiostomatoid fungi are introduced to their host plants through wounds produced by bark beetles feeding and gallery construction. The introduction and spread of ophiostomatoid fungi under the bark result in the necrotic lesions in the phloem around bark beetle galleries, sapwood colonization, and further, sometimes, tree decline or death. Therefore, artificial inoculation and further observation of emerged symptoms is the main criterion to determine the pathogen of particular plant disease. Therefore, the virulence of the ophiostomatoid fungi was evaluated by measuring the lesions and monitoring the mortality of Scots pine seedlings after inoculation for 6 months.

The inoculated seedlings were harvested after inoculation, and the size of the lesions formed in the inner bark around the inoculation points together with the sizes of the stained and dried zones of sapwood were measured. The necrotic lesions formed around the inoculation points on the inner bark spread mainly longitudinally and only slightly in the tangential direction. The lengths of lesions differ according to the fungus inoculated. Additionally, a wedge-shaped dry zone of sapwood with or without blue staining spreads from the inoculation point toward the border between the sapwood and heartwood. The fungi produced larger lesions and were more virulent. The ability of the fungi to colonize sapwood and disturb water transportation is important for evaluating their ability to kill host trees (Solheim, 1992, Yamaoka et al., 2000). Some ophiostomatoid fungi associated with bark beetles have the ability to kill their host trees; e.g., *Endoconidiophora*

polonica associated with *I. typographus* (Solheim, 1992) and *Grosmannia clavigera* with *Dendroctonus ponderosae* (Yamaoka et al. 2000).

In our study, all isolated ophiostomatoid fungi were tested to check their ability to infect seedlings of *P. sylvestris*. Most of the pathogenicity results were generally concur with previously described inoculation experiments, thereby demonstrating similar lesion morphology and similar patterns of plant tissue colonization by different ophiostomatoid fungal species (Jankowiak & Bilanski, 2013; Solheim, 1992). However, a few isolates, such as *Graphium* sp., *Grosmannia* sp., *Ophiostoma* sp., were tested first in our study. Ophiostomatoid fungi associated with *Ips acuminatus* and *Hylurgus ligniperda* infesting Scots pine in Ukraine were reported by Davydenko (2014, 2017). Revised information for these fungi together with unpublished data are shown in Table 2. Therefore, one species of *Grosmannia* and one species of *Graphium* were isolated from bark beetle galleries on infesting Scots pine.

According to our results, *O. minus* was much more pathogenic than other fungi based on all criteria of fungal pathogenicity. It was the only fungus that caused the highest rate of sapwood desiccation and mortality of 16.7% of seedlings in 6 months (see Tab. 2). *O. minus* caused dieback of *P. sylvestris* seedlings, which also demonstrated in previous studies (Solheim 1992; Jankowiak, 2006). Most of the studies focused on pathogenicity ophiostomatoid fungi indicated that the ability to invade sapwood and phloem can be considered as critical for pathogenic colonization (Solheim, 1992; Linnakoski et al. 2012).

All eight fungal species inoculated caused resin exudation and staining on the bark around inoculations in Scots pine seedlings. The isolate of *O. minus* showed the highest growth in all directions, with statistical significance ($P < 0.00147$), although in the radial direction the growth was similar to *Graphium* sp. and in the tangential direction was similar to *O. bicolor* (see Tab. 2). This species produced a black discoloration of the wood and caused the greatest stained area ($P < 0.001$), as measured on cross-sections.

Table 2

Effect of inoculation of *Pinus sylvestris* seedlings with ophiostomatoid fungi*

Species	Phloem necrosis, mm**			Resin flow, %	Declining plants, %	Dead plants, %
	Length	Width	Depth of blue-stain			
1	2	3	4	5	6	7
<i>Grosmannia</i> sp.1	13.24±0.22 ^c	2.42±0.4 ^b	1.29±0.4 ^b	75.00	16.67	0.00
<i>Graphium</i> sp.	19.86±0.12 ^d	3.24±0.6 ^c	1.62±0.4 ^b	33.33	41.67	0.00
<i>Ophiostoma ips</i> (Rumboldt Nannfeldt)	4.52±0.15 ^c	2.58±0.2 ^b	0.21±0.2 ^a	25.00	0.00	0.00
<i>Ophiostoma minus</i> (Hedgc.) Syd. & P. Syd. ^d	42.56±0.1 ^d	6.62±1.1 ^c	1.65±0.4 ^b	91.67	41.67	16.67

1	2	3	4	5	6	7
<i>Ophiostoma bicolor</i> R. W. Davidson & D. E. Wells	6.25±0.95 ^c	4.42±1.2 ^d	0.20±0.4 ^a	41.67	0.00	0.00
<i>Ophiostoma piceae</i> (Münch) Sydow & P. Sydow	4.21±0.04 ^c	2.17±0.9 ^b	0.20±0.4 ^a	33.33	8.33	0.00
<i>Ophiostoma canum</i> (Münch) Syd. & P. Syd	2.92±0.06 ^b	2.15±1.3 ^b	0.00±0.0 ^a	33.33	16.67	0.00
<i>Ophiostoma</i> sp.1	8.56±1.52 ^c	4.17±0.2 ^c	0.20±0.4 ^b	58.33	33.33	0.00
Control	1.20±0.02 ^a	1.10±0.1 ^a	0.00±0.0 ^a	0.00	0.00	0.00
F _{fact}	24.56	32.25	124.24	95.23	125.21	32.21
P	0.0001	0.0001	0.0001	0.0001	0.005	0.005

* – Values for blue-stain depth and lesion length show as mean ± one standard error

** – For each column, values followed by the same letter were not significantly different by the HSD Tukey test (P < 0.05). The test was employed only if ANOVA was significant at P < 0.05

The second fastest-growing fungal species in all directions was *Graphium* sp. This species caused a grey stain on the wood and decline 41.7% of pine seedlings as well as *O. bicolor* (see Tab. 2). *Grosmannia* sp.1 grew at a similar radial rate to *Graphium* sp. but grew more slowly both tangentially and especially longitudinally. *Ophiostoma* sp.1 caused the decline of 33% pine seedlings and grew significantly (P < 0.001) more slowly than *Graphium* sp. *Ophiostoma canum* and *O. piceae* caused significant less decline of pine seedlings and grew much more slowly than above-mentioned ophiostoma fungi (16.67 and 8.33% respectively, P < 0.001) while *O. bicolor* and *O. ips* did not caused seedling decline at all during 6 months (see Tab. 2), although caused staining on the bark around inoculations in all directions significantly more than control inoculations (P < 0.001). *O. ips* and *O. piceae* penetrated the smallest areas of the wood caused a light greyish discoloration compared to the other species (P < 0.05).

The inoculated fungi were successfully re-isolated from 98% of the inoculation points. No ophiostomatoid species were isolated from the control trees.

Conclusions. Based on the ability of tree declining, killing and wood staining, *O. minus* is the most important species on Scots pine trees, followed by *Graphium* sp. and *Ophiostoma* sp.1. The ophiostomatoid fungi isolated in this study are commonly found to be associated with bark beetles and detected on conifer timber (Linnakoski et al., 2012). The occurrence of ophiostomatoid species in the sapwood of Scots pine is consistent with the concept the ophiostomatoid fungi are primary colonizers of the fresh sapwood of trees and timber and other wood in the succession of microorganisms during wood decay (Solheim, 1992).

Список літератури

Санітарні правила в лісах України (2016): у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756 [Sanitary Forests Regulations

in Ukraine (2016). In the redaction of Decree of Cabinet Minister of Ukraine from 26 October 2016, № 756 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п>

Bueno, A., Diez, J.J., & Fernandez, M.M. (2010). Ophiostomatoid Fungi Transported by *Ips sexdentatus* (Coleoptera, Scolytidae) in *Pinus pinaster* in NW Spain. *Silva Fennica*, 44 (3), 387-397. <https://doi.org/10.14214/sf.137>

Cottrell, S., Mattor, K.M., Morris, J.L., Fettle, C.J., McGrady, P., Maguire, D., ...Roberts, R. (2020). Adaptive capacity in social-ecological systems: a framework for addressing bark beetle disturbances in natural resource management. *Sustainability Science*, 15 (2), 555-567. <https://doi.org/10.1007/s11625-019-00736-2>

Davydenko, K. (2019). A comparative characteristic of fungal communities associated with *Ips acuminatus* in different regions of Ukraine. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 18, 118-128. <https://doi.org/10.15421/411912>

Davydenko, K., Vasaitis, R., & Menkis, A. (2017). Fungi associated with *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Ukraine with a special emphasis on pathogenicity of ophiostomatoid species. *European Journal of Entomology*, 114, 77-85. <https://doi.org/10.14411/eje.2017.011>

Davydenko, K., Vasaitis, R., Meshkova, V., & Menkis, A. (2014). Fungi associated with the red-haired bark beetle, *Hylurgus ligniperda* (Coleoptera: Curculionidae) in the forest-steppe zone in eastern Ukraine. *European Journal of Entomology*, 111 (4), 561-565. Retrieved from <https://search.proquest.com/docview/1622264211?accountid=28676>

De Beer, Z. W., Seifert, K., & Wingfield, M. (2013). A nomenclator for ophiostomatoid genera and species in the Ophiostomatales and Microascales. *The ophiostomatoid fungi: expanding frontiers* 12, 245-322. Retrieved from <https://www.fungaltaxonomy.org>

- org/files/6914/0613/2818/deBeeretal.2013.OphioNomenclator.pdf
- Dobor, L., Hlasny, T., Rammer, W., Zimova, S., Barka, I., & Seidl, R. (2020). Spatial configuration matters when removing windfelled trees to manage bark beetle disturbances in Central European forest landscapes. *Journal of Environmental Management*, 254. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109792>
- Dori-Bachash, M., Avrahami-Moyal, L., Protasov, A., Mendel, Z., & Freeman, S. (2015). The occurrence and pathogenicity of *Geosmithia* spp. and common blue-stain fungi associated with pine bark beetles in planted forests in Israel. *European Journal of Plant Pathology*, 143 (4), 627-639. <https://doi.org/10.1007/s10658-015-0713-9>
- Jankowiak, R. (2006). Fungi associated with *Tomicus piniperda* in Poland and assessment of their virulence using Scots pine seedlings. *Annals of Forest Science*, 63 (7), 801-808. <https://doi.org/10.1051/forest:2006063>
- Jankowiak, R., & Bilański, P. (2013). Diversity of ophiostomatoid fungi associated with the large pine weevil, *Hylobius abietis* and infested scots pine seedlings in Poland. *Annals of Forest Science*, 70 (4), 391-402. <https://doi.org/10.1007/s13595-013-0266-z>
- Linnakoski R., De Beer Z. W., Duong T. A., Niemela P., Pappinen A., & Wingfield M. J. (2012). *Grosmannia* and *Leptographium* spp. associated with conifer-infesting bark beetles in Finland and Russia, including *Leptographium taigense* sp. nov. *Antonie van Leeuwenhoek*, 102 (2012), pp. 375-399. <https://doi.org/10.1007/s10482-012-9747-6>
- Meshkova, V. L., & Borysenko, O. I. (2018). Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 132, 155-161. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.155>
- Meshkova, V. L., Borysenko, O. I., & Pryhornytskyi, V. I. (2018). Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 16, 106-114. <https://doi.org/10.15421/411812>
- Repe, A., Bojovic, S., & Jurc, M. (2015). Pathogenicity of ophiostomatoid fungi on *Picea abies* in Slovenia. *Forest Pathology*, 45 (4), 290-297. <https://doi.org/10.1111/efp.12170>
- Six, D. L. (2003). A comparison of mycangial and phoretic fungi of individual mountain pine beetles. *Canadian Journal of Forest Research-Revue Canadienne De Recherche Forestiere*, 33 (7), 1331-1334. <https://doi.org/10.1139/x11-041>
- Six, D. L. (2013). The Bark Beetle Holobiont: Why Microbes Matter. *Journal of Chemical Ecology*, 39 (7), 989-1002. <https://doi.org/10.1007/s10886-013-0318-8>
- Solheim, H. (1992). The early stages of fungal invasion in Norway spruce infested by the bark beetle *Ips typographus*. *Canadian Journal of Botany*, 70, 1-5. <https://doi.org/10.1139/b92-001>
- Wingfield, M. J., Barnes, I., de Beer, Z. W., Roux, J., Wingfield, B. D., & Taerum, S. J. (2017). Novel associations between ophiostomatoid fungi, insects and tree hosts: current status-future prospects. *Biological Invasions*, 19 (11), 3215-3228. <https://doi.org/10.1007/s10530-017-1468-3>
- Yamaoka, Y., Takahashi, I., & Iguchi K. (2000). Virulence of ophiostomatoid fungi associated with the spruce bark beetle *Ips typographus* f. japonicus in Yezo spruce. *Journal of Forest Research*, 5, 87-94. <https://doi.org/10.1007/BF02762525>

Офіостомові гриби, які пов'язані з короїдами та заселяють *Pinus sylvestris* у Сумській області (Україна)

К. В. Давиденко¹, Д. О. Батуркін²

Останнім часом у східному регіоні України, зокрема в Сумській обл., відбувається інтенсивне всихання соснових лісів. Соснові насадження сильно пошкоджують переважно два види короїдів – *Ips acuminatus* та *Ips sexdentatus*. Офіостомові гриби, яких переносять короїди, можуть значно посилювати загальну шкоду лісам від цих комах, що необхідно брати до уваги під час оцінювання загальних збитків від короїдів.

Метою дослідження було виявити видовий склад офіостомових грибів, пов'язаних із сильно ослабленими та всихаючими деревами сосни звичайної у Сумській обл., оцінити патогенність офіостомових грибів і встановити потенційну загрозу для *Pinus sylvestris* L.

Офіостомові гриби виділені з личинкових ходів короїдів та ідентифіковані до рівня виду або роду на основі морфологічних особливостей та аналізу ITS послідовностей ДНК.

Загалом виділено вісім видів офіостомових грибів (*Graphium* sp., *Grosmannia* sp.1, *Ophiostoma bicolor*, *O. ips*, *O. canum*, *O. piceae*, *O. minus*, *Ophiostoma* sp.1). Саджанці *Pinus sylvestris* іноку-

¹ Давиденко Катерина Валеріївна – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. 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. Вох 7026, SE-75007, Уппсала, Швеція. Тел.: +38-098 66 755 26. E-mail: katelyna.davydenko74@gmail.com ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

² Батуркін Денис Олександрович – директор Державного спеціалізованого лісозахисного підприємства «Харківлісозахист», Харківська обл., смт. Покотилівка, вул. Незалежності 127, 62458, Україна; аспірант Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-067 764 81 07. E-mail: baturkin.denis@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>

льовані вісьмома ізолятами грибів і стерильним середовищем (контроль) для оцінювання їхньої патогенності. Інокульовані рослини оглядали впродовж шести місяців, оцінюючи їхній загальний стан, розмір некрозів, смолові патьоки. Інокуляція саджанців грибом *O. minus* спричинила найбільше ураження і навіть загибель саджанців сосни. Загалом, у варіантах інокуляції всіх восьми видів грибів визначено ексудацию смоли та знебарвлення кори навколо місця інокуляції. Серед цих грибів п'ять видів спричинили ослаблення саджанців. Площа знебарвлення флоєми була достовірно найбільшою після інокуляції саджанців грибом *O. minus*. Всі види офіостомових грибів спричиняли значно довші некротичні ураження саджанців, порівняно з контролем.

За результатами дослідження, у зв'язку зі спроможністю спричиняти всихання й загибель рослин сосни та знебарвлення їхньої деревини, грибок *O. minus* варто вважати найнебезпечнішим патогеном соснових саджанців. Менш вірулентними видами є *Graphium* sp. та *Ophiostoma* sp.1. Факт заселення всихаючих дерев сосни офіостомовими грибами узгоджується з концепцією, що вони є первинними колонізаторами свіжої деревини під час процесу її руйнування.

Ключові слова: офіостомові гриби; сосна звичайна; короїди; патогенез; санітарний стан лісу.

Офиостомовые грибы, переносимые короедами и заселяющие *Pinus sylvestris* в Сумской области (Украина)

Е. В. Давиденко¹, Д. А. Батуркин²

В последнее время в восточном регионе Украины, в частности в Сумской обл., происходит интенсивное усыхание сосновых лесов. Сосновые насажде-

ния сильно повреждают в основном два вида – *Ips acuminatus* и *Ips sexdentatus*. Офиостомовые грибы, которых переносят короеды, могут заметно усиливать общую вредоносность этих насекомых, что необходимо принимать во внимание при оценке общего ущерба от короедов.

Целью исследования было выявить видовой состав офиостомовых грибов, связанных с сильно ослабленными и усыхающими деревьями сосны в Сумской обл., оценить патогенность офиостомовых грибов и потенциальную угрозу для *Pinus sylvestris*.

Офиостомовые грибы выделены из личиночных ходов короедов и определены до уровня вида или рода с помощью микроскопа по морфологическим особенностям, а также с помощью молекулярного метода, используя анализ ITS последовательностей ДНК.

Всего выделено восемь видов офиостомовых грибов (*Graphium* sp., *Grosmannia* sp.1, *Ophiostoma bicolor*, *O. ips*, *O. canum*, *O. piceae*, *O. minus*, *Ophiostoma* sp.1). Саженьцы *Pinus sylvestris* инокулированы восемью видами выделенных грибов и стерильной средой в качестве контроля для оценки их патогенности. Инокулированные растения осматривали в течение шести месяцев, оценивая общее состояние растений, размер некрозов, потеки смолы. Инокуляция саженьцев грибом *O. minus* привела к наиболее интенсивным поражениям и даже гибели сосновых саженьцев. Все восемь видов грибов вызвали эксудацию смолы и обесцвечивание коры вокруг места инокуляции. Пять видов грибов вызвали ослабление саженьцев в той или иной степени. Площадь обесцвечивания флоэмы также была достоверно большей у растений, инокулированных грибом *O. minus*. Все офиостомовые грибы вызывали некрозы древесины большего размера по сравнению с контролем.

По результатам исследования, в связи со способностью вызвать усыхание и гибель растений, обесцвечивание древесины грибок *O. minus* следует считать самым опасным патогеном сосновых саженьцев. Менее вирулентными видами оказались *Graphium* sp. и *Ophiostoma* sp.1. Факт заселения усыхающих деревьев сосны офиостомовыми грибами согласуется с концепцией, что они являются первичными колонизаторами свежей древесины в процессе ее разрушения.

Ключевые слова: офиостомовые грибы; сосна обыкновенная; короеды; патогенез; санитарное состояние леса.

¹ Давиденко Екатерина Валерьевна – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, 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, Р.О. Вох 7026, SE-75007, Уппсала, Швеция. Тел.: +38-098 66 755 26. E-mail: katelyna.davydenko74@gmail.com ORCID <http://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

² Батуркин Денис Александрович – директор Государственного специализированного лесозащитного предприятия «Харьковлесозащита», Харьковская обл., пгт. Покотиловка, ул. Незалежности 127, 62458, Украина; аспирант Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: +38-067 764 81 07. E-mail: baturkin.denis@ukr.net ORCID <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412023>
Article received 2020.02.18
Article accepted 2020.12.28

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

UDC 630.4 : 632.754

The first data on the study of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in Kherson region of Ukraine

V.L. Meshkova¹, S.V. Nazarenko², O.I. Glod³

Oak lace bug (OLB) Corythucha arcuata (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) is native to North America. In 2000 it got to Italy and has spread for recent 20 years in many countries in Europe. In 2017 OLB first registered in Kherson region of Ukraine. The aim of the research was to summarize the first data on oak lace bug spread in Ukraine. The studies were carried out in 2020 at 31 sample plots in the south-western part of the Kherson region (46°10' to 47°21' N, 32°10' to 33°05' E). The sample plots were located in forest stands, shelterbelts, and oaks in cities. The age of inspected stands is from 25 to 250 years old.

The presence of oak lace bug and the threat to oak trees was assessed by a point system: 0 – OLB is absent; 1 – single, one egg mass per whole plot; 2 – rare, below 10% of trees damaged; 3 – common, OLB presents not in all trees, foliage damage up to 50%; 4 – widespread, OLB presents in all trees, foliage damage up to 100%. The weighted average score of OLB presence was evaluated for different groups of stands and some of their characteristics.

The specimens of OLB and the traces of their vital activity were found at 19 sample plots (61,3%). At 51.6% of sample plots examined the OLB was common or widespread. The pest is widespread at 8 sample plots, including oaks in cities Kherson, Oleshki, and Hola Prystan, Doslidne forestry of the Steppe branch of Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky (URIFFM) and Burkutske forestry of the Velikokopanske Forest & Hunting Enterprise.

Mean OLB score is higher in forests than in shelterbelts and has a trend to increase with oak age. The highest OLB infestation was assessed in the sample plots neighbouring city streets and forest roads and in the sample plots near the waterway. The proportion of SP with common and widespread OLB from all inhabited plots near city streets, forest roads, and waterways exceeds 80%.

The data obtained can be considered preliminary, since the reproduction, distribution, and settlement of the oak lace bug in the territory of the Kherson region began only 2 years ago.

Key words: oak lace bug (OLB); sample plot (SP); mean OLB score; proportion of infested sample plots; traffic ways.

¹ Valentyna L. Meshkova – full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Head of the Eastern Branch of the FAS 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 Serhii V. Nazarenko – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD, State Enterprise «V.N. Vinogradov Steppe Branch of G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration», Ukraine, Oleshki, Kherson region. Tel. +38(095)316-20-88. E-mail: nazarenko.sergej@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0482-3234>

³ Oleksandr I. Glod – Director of the State Enterprise «V.N. Vinogradov Steppe Branch of G. M. Vysotsky Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration», Ukraine, Oleshki, Kherson region. Tel. +38(050)530-17-61. E-mail: aleksandrglod2020@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4021-5503>

Introduction. Oak lace bug (OLB) *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) – is a dangerous pest of oak (Bernardinelli, 2006; Csóka et al., 2020; Matsiakh & Kramarets, 2020). Its larvae and adults suck sap from the leaves. Damaged trees decrease their productivity and resistance to other damaging causes. The bug develops in two or more generations per year, rapidly increasing in numbers. It spreads actively, flying over distances of several hundred meters, and passively: by wind, vehicles, and plant material (Zielińska & Lis, 2020).

OLB is native to North America, particularly the USA and Canada (Drake & Ruhoff, 1965). In 2000 it got to Italy with cargo that arrived at the seaport (Bernardinelli & Zandigiacomo, 2000). In the early years of the bug penetration into Italy, its needs for heat and moisture and their compliance with the environmental conditions of Europe were analysed. The possibility to survive in a considerable part of Europe was demonstrated for this insect as well as to feed on the foliage of different European oak species (Bernardinelli, 2006). Due to these features, the oak lace bug (OLB) has spread for recent 20 years in many countries of Europe (Csóka et al., 2020).

In Switzerland, which borders Italy, it appeared in 2002, in nearby France only in 2017, and in Austria only in 2019 (Zielińska & Lis, 2020). In Hungary, Croatia, and Serbia, the bug was found in 2013 (Csóka et al., 2020), in Romania in 2015 (Tomescu et al., 2018), in Slovakia in 2018 (Zúbrik et al., 2019), and in the Czech Republic in 2019 (Nikolić et al., 2019). The last country seems to be the most northern territory of OLB penetration in Central Europe. From Romania, OLB penetrated Transnistria in 2016 (Антюхова, Кишкар, Шепеляк, 2018). It could get to Ukraine from Slovakia, Hungary, and Romania but was found in Vinogradiv (Transcarpathian region) only in 2020 (Ukrbin, 2020).

The second path of OLB to Ukraine starts from Turkey, where it appeared in 2002 by seaways (Mutun, Ceyhan, & Sözen, 2009), and in 2015 also by seaway penetrated to Krasnodar region of Russia (Neimorovets et al., 2017), to Adygea (Щуров и др., 2019) and to the 51–52° north up in Voronezh region (Блюммер, 2020). At the same time, the OLB penetrated into Crimea in 2016 (Голуб, Голуб, Соболева, 2020) and into the Kherson region in 2017 (Мешкова, Назаренко, 2020). In 2020 OLB was found in Ovidiopol (Odesa region) (Ukrbin, 2020), where it could penetrate from Transnistria, from Crimea, or from Kherson region.

The area of oak stands (*Quercus robur* L.) in the forest fund of Kherson Regional Forest & Hunting Administration is about 1500 ha, of which more than 90% are man-made forest plantations (Ткач, Кобець, Румянцев, 2019). Forests are represented by separate tracts, mainly along rivers and in other places with suitable conditions for moisture and soil richness. The distance between separate tracts sometimes reaches several kilometres. Oak is also widely represented in green stands of settlements and forest shelter belts along with fields and roads. It promotes the spread of

OLB not only in Kherson region but also beyond its borders in the northern regions of Ukraine. Therefore, it is relevant to study the features of the spread of this pest in the region of the first penetration into the country.

Objects and methods. *Object of research* – invasive oak lace bug *Corythucha arcuata*. *Subject of research* – the spread of invasive oak lace bug in Kherson region of Ukraine. *The aim of the research* was to summarize the first data on oak lace bug spread in Ukraine.

The studies were carried out in 2020 at 31 sample plots in the southwestern part of the Kherson region (Fig. 1, Tab. 1). Latitude was from 46°10' to 47°21', longitude from 32°10' to 33°05'. Most sample plots (SP) are located on the left bank of the Dnieper (23 SP, or 74,2%), and 8 SP are located on the right bank (25,8%).

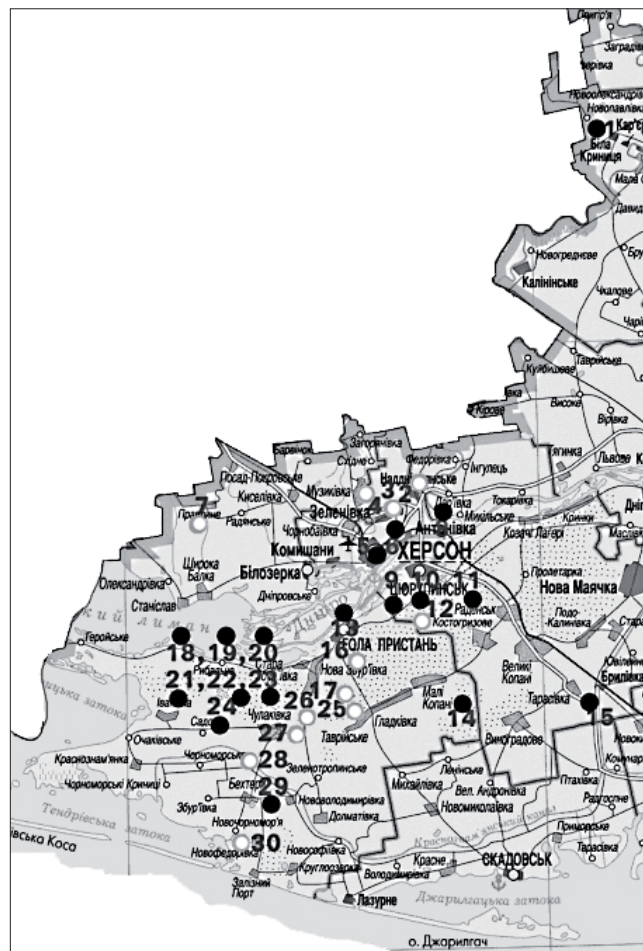


Fig. 1. Surveyed oak stands in the Kherson region (black circles – the sample plots with the presence of OLB; light circles – the sample plots with the absence of OLB)

In the forest fund of the Kherson Regional Forest & Hunting Administration, 15 sample plots (48,4%) are located, particularly 6 SP in Rybalchanske forestry of the Zburevsky & Hunting Enterprise (FHE), 2 SP in Burkutskie forestry of the Velikokopanske FHE, 4 SP in Kherson forestry of the Oleshkiivsky FHE and 3 SP in Doslidne forestry of the Steppe branch of Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G. M. Vysotsky.

In the forest belts, 11 SP (35,5%) are located. The rest sample plots are located in the Black Sea Biosphere Reserve, an arboretum of the Kherson Agrarian-Economic University, in the station of young naturalists in Hola Prystan, and in a single old tree in Oleshki. In 4 sample plots, oak is represented singularly, in 4 it is

represented equally with Dnieper birch, and the rest are pure oak stands. The age of inspected stands is from 25 to 250 years old, the height from 6 to 29 meters, diameter from 18 to 80 cm. The relative density of stocking is 0.4-0.8, site index 4. Forest site conditions are very diverse – A₃, B₁, B₂, C₁, C₂, and C₄.

Table 1

Short characteristics of sample plots

Sample plot (SP)	Latitude N Longitude E	Type of stand. Compartment/subcompartment, age of oak	Nearest traffic routes	Presence of OLB, score
1	2	3	4	5
1	47°21'57" 33°12'23"	Shelter belt, 60 years.	Railway 2 km	1
2	46°43'49" 32°40'19"	Kherson forestry of Oleshkivske FHE, 36/3, 54.	road Melitopol–Odessa, Crimea–Kherson	0
3	46°43'17" 32°35'28"	Kherson forestry of Oleshkivske FHE, 32/9, 15 years.	road Melitopol–Odessa, Crimea–Kherson	0
4	46°43'14" 32°35'29"	Kherson forestry of Oleshkivske FHE, 31/34. 37 years.	road Melitopol–Odessa, Crimea–Kherson	0
5	46°38'28" 32°35'7"	An arboretum of the Kherson Agrarian-Economic University, 64 years.	streets	4
6	46°39'42" 32°35'39"	An arboretum of the Kherson Agrarian-Economic University. 70 years.	streets	4
7	46°44'18" 32°10'16"	Shelter belt, 60 years.	absent	0
8	46°40'35" 32°45'5"	Kherson forestry of Oleshkivske FHE, 55 years.	Crimea–Kherson railway	3
9	46°36'21" 32°43'35"	State natural monument of local importance «Curtain of century oaks» (Oleshki). Steppe branch of URIFM. Doslidne forestry, 12/11, 210 years.	Crimea–Kherson railway	4
10	46°37'23" 32°43'13"	Arboretum, Steppe Branch of URIFM. Doslidne forestry. 34/ 2. 120 years.	European road E97	4
11	46°37'43" 32°44'48"	A single oak tree in Pershotravneva street (Oleshki). 130 years.	streets	4
12	46°35'10" 32°43'2"	Steppe branch of URIFM. Doclidne forestry. 19/21. 71 years.	R-57 Oleshki-Skadovsk	0
13	46°31'57" 32°31'32"	Single oak, Gola Prystan. 100 years.	streets	4
14	46°23'40" 32°48'32"	Velykokopanske FHE, Burkutske lisnyctvo, 6/3. 95 years.	forest edge	4
14a	46°23'40" 32°48'32"	Velykokopanske FHE, Burkutske lisnyctvo, 6/9. 45 years.	forest edge	4
15	46°22'40" 33°5'48"	Shelter belt. 60 years.	Brilivka railway station, a highway to the Crimea	2
16	46°29'4" 32°28'59"	Shelter belt. 20-25 years.	route Golaya Pristan–Novaya Zburyevka	0
17	46°25'52" 32°26'51"	Shelter belt. A=65 years.	street	0

Continuation of Table 1

1	2	3	4	5
18	46°27'23" 32°10'43"	Black Sea Biosphere Reserve. 100 years.	absent	3
19	46°29'18" 32°07'42"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 4/15. 95 years.	waterway towards the port of Kherson	3
20	46°29'23" 32°7'21"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 4/ 9. 115 years.	waterway towards the port of Kherson	3
21	46°29'22" 32°8'48"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 5/16. 110.	waterway towards the port of Kherson	3
22	46°29'29" 32°8'51"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 5/17. 110 years.	waterway towards the port of Kherson	3
23	46°27'27" 32°10'50"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 19/38. 115 years.	waterway towards the port of Kherson	3
24	46°29'24" 32°9'34"	Zburjivske FHE. Rybalchanske forestry, 57/18. 115 years.	waterway towards the port of Kherson	3
25	46°24'7" 32°26'3"	Shelter belt. 60 years.	road between Nova Zburjivka and Chulakivka	0
26	46°23'43" 32°25'31"	Shelter belt. 60 years.	road between Nova Zburjivka and Chulakivka	0
27	46°16'17" 32°18'20"	Shelter belt. 60 years.	road Chulakivka–Bekhtery	0
28	46°16'14" 32°18'10"	Shelter belt. 60 years.	road Chulakivka–Bekhtery	0
29	46°16'0" 32°17'53"	Shelter belt. 60 years.	road Chulakivka–Bekhtery	1
30	46°10'30" 32°19'15"	Shelter belt. 60 years.	east edge of Novofedorivka	0

Notes: 0 – OLB is absent; 1 – single, one egg mass per whole plot; 2 – rare, below 10 % of trees damaged; 3 – common, OLB presents not in all trees, foliage damage up to 50 %; 4 – widespread, OLB presents in all trees, foliage damage up to 100 %

The presence of oak lace bug (OLB) and the threat to oak trees was assessed by a point system: 0 – OLB is absent; 1 – single, one egg mass per whole plot; 2 – rare, below 10% of trees damaged; 3 – common, OLB presents not in all trees, foliage damage up to 50%; 4 – widespread, OLB presents in all trees, foliage damage up to 100%.

The weighted average score of the threat to oak was evaluated for different groups of stands and some of their characteristics.

Results and discussion. The specimens of OLB and the traces of its vital activity were found in 19 sites (61,3%) and were absent in 12 (38,7%) (see Fig. 1).

The mean OLB score in inspected stands is 1.9, the maximum (4 points) was registered at 8 SP (25.8%). Four of them are located in the cities Kherson, Oleshki, and Hola Prystan. Other SP with high spread of OLB are located in Doslidne and Burkutske forestries.

The mean OLB score is higher at the Left bank SP (2.1) than in Right bank SP (1.5), much more in forests than in shelter belts (2.5 and 0.4, respectively) (Fig. 2). The greater distribution of OLB in the forest may be associated with a more favourable microclimate, compared with forest belts. On the other hand, in forest belts, the wind promotes the spread of the bug over the territory.

Conditionally surveyed forestries were divided into «southern» (Rybalchanske and Burkutske forestries) and «northern» (Khersonske and Doslidne forestries) groups. The mean OLB score was twice higher at the sample plots from southern forestries than in northern ones (see Fig. 2).

This may be due to the fact that the bug entered the Kherson region from the Crimea, as well as the location of oak stands of the Kherson forestry on the right bank of the Dnieper, where the pest has not yet spread.

For each group of sample plots, the proportion of OLB colonized plots and the proportion of plots with common and widespread OLB were evaluated (Fig. 3).

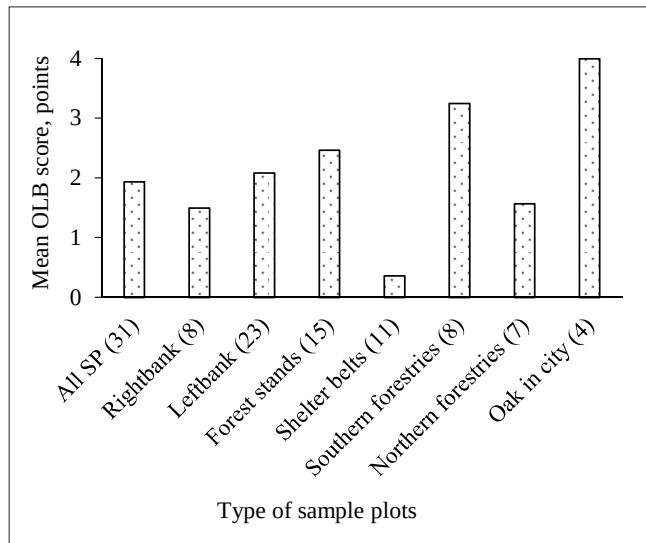


Fig. 2. Mean OLB score in different types of sample plots (Notes: Right bank and Leftbank – SP at the right and left banks of Dnieper river; Southern forestries – Rybalchanske and Burkutse; Northern forestries – Khersonske and Doslidne; Oak in the city – single trees and curtains in Kherson, Hola Prystan and Oleshki; the number of SP in brackets)

Among all SP examined, at 51,6% the OLB was common or widespread. This parameter was influenced by the low spread of OLB in forest shelterbelts (27,3%). In forest stands both parameters were 73,3%, particularly 100% in inspected «southern» forestries and 42,9% in inspected «northern» forestries. OLB was widespread in inspected oaks in cities.

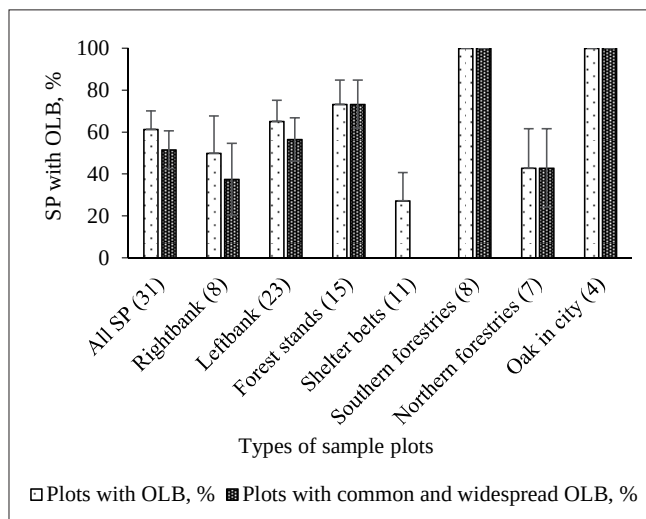


Fig. 3. Proportion of sample plots with OLB and sample plots with common and widespread OLB in different types of sample plots (see Notes to Fig. 2)

No differences were found in the OLB spread in pure and mixed stands, as well as in different forest site conditions, which may be due to the small sample

of inspected plots (see Tab. 1). There is the trend to increase with oak age the proportion of SP with OLB presence and the mean score of it (Fig. 4). However, the sample of inspected plots is insufficient for a clear conclusion.

As can be seen from Table 1, roads with different traffic intensities pass near many of the inspected stands. When analysing some possible relations between the OLB spread and the presence of roads near the stand, we divided the inspected SP into groups: 0 – roads are absent nearby; 1 – city streets and forest roads; 2 – roads with heavy traffic, for example, the Crimea–Kherson railway, Oleshki–Skadovsk, Golaya Pristan–Novaya Zburyevka, Chulakivka–Bekhtery, etc. Group 3 includes the sample plots in Rybalchanske forestry located near the waterway towards the port of Kherson.

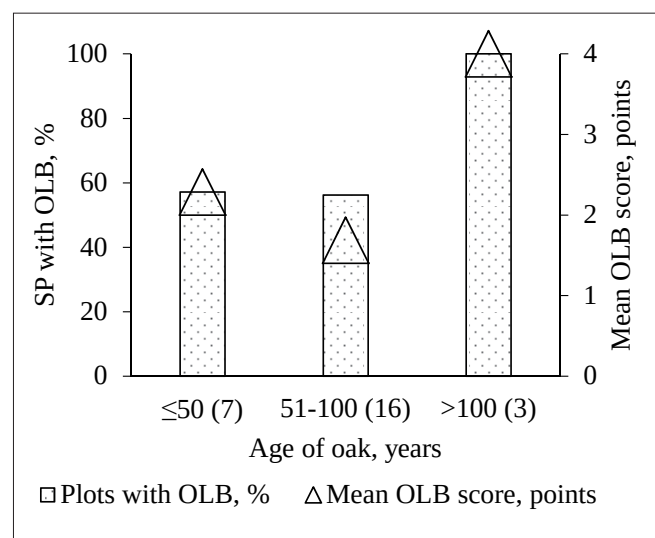


Fig. 4. Mean OLB score and the proportion of sample plots with OLB in oak stands of different age group (the number of SP in brackets)

Single OLB infestation (score 1) was registered in the sample plots without neighbouring roads and with roads of heavy traffic (Fig. 5).

The highest OLB infestation was assessed in the sample plots neighbouring with city streets and forest roads (OLB score is 2.8 points) and in the sample plots near the waterway OLB score is 2.1 points.

Analysis of Fig. 6 shows the largest proportion of OLB populated sample plots among those that border city streets, forest roads, and waterways. The proportion of SP with common and widespread OLB (3 and 4 points) is also the highest near such roads. The proportion of SP with common and widespread OLB from all inhabited plots near city streets, forest roads, and waterways exceeds 80%.

It can be assumed that the large role of small roads in the spread of OLB is due to the fact that transport stops more often on them, the passengers enter and leave, carrying various luggage. In addition, forest products are transported along forest roads, with which the bug can spread throughout the year, including during the wintering period under the

bark. The spread of the bug in the stands next to which the waterway passes can be facilitated by the wind. However, the data obtained can be considered preliminary, since the reproduction, distribution, and settlement of the oak lace bug in the territory of the Kherson region began only 2 years ago.

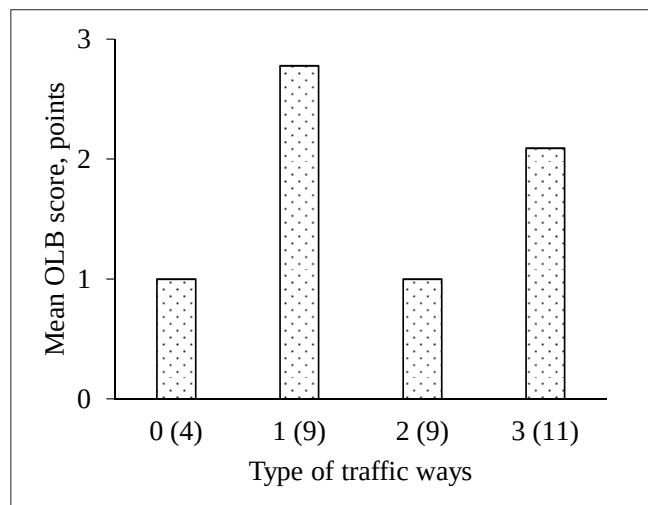


Fig. 5. Mean OLB score at the neighbouring with different types of traffic ways
(Note: 0 – roads are absent; 1 – city streets and forest roads; 2 – roads with heavy traffic; 3 – waterway towards the port of Kherson; the number of SP in brackets)

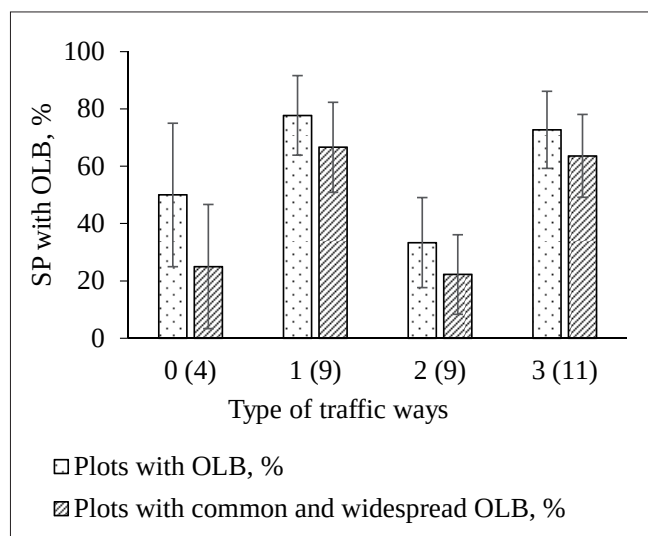


Fig. 6. Proportion of sample plots with OLB and sample plots with common and widespread OLB at the neighboring with different types of traffic ways
(Note: 0 – roads are absent; 1 – city streets and forest roads; 2 – roads with heavy traffic; 3 – waterway towards the port of Kherson; the number of SP in brackets)

Conclusions. In inspected forest stands, shelterbelts, and oaks in cities the specimens of the oak lace bug (OLB) and the traces of their vital activity were found in 19 sample plots (61,3%).

At 51.6% of sample plots examined the OLB was common (score=3) or widespread (score=4). The pest is widespread at 8 sample plots, including oaks in

cities Kherson, Oleshki, and Hola Prystan, Doslidne forestry of the Steppe branch of Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G.M. Vysotsky and Burkutske forestry of the Velikokopanske FHE.

Mean OLB score is higher in forests than in shelterbelts (score 2.5 and 0.4, respectively). There is the trend to increase with oak age the proportion of SP with OLB presence and the mean score of it.

The highest OLB infestation was assessed in the sample plots neighbouring city streets and forest roads (OLB score is 2.8 points) and in the sample plots near the waterway (OLB score is 2.1 points). The proportion of sample plots with common and widespread OLB from all inhabited plots near city streets, forest roads, and waterways exceeds 80%.

The data obtained can be considered preliminary, since the reproduction, distribution, and settlement of the oak lace bug in the territory of the Kherson region began only 2 years ago.

Список літератури

- Антюхова, О.В., Кишкар, А.С., Шепеляк, В.Г. (2018). Дубовая кружевница *Corythucha arcuata* (Say) – серьезная опасность для зеленых насаждений. *Фундаментальні і прикладні проблеми сучасної екології та захисту рослин: матеріали Міжнар. наук-практ. конф. факультету захисту рослин Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва, м. Харків, 11-12 жовтня 2018 р. Харків: ХНАУ, 9-11* [Antyukhova, O.V., Kishkar, A.S. & Shepelyak, V.G. (2018). Oak lace maker *Corythucha arcuata* (Say) – a serious danger to green stands. In M. Yevtushenko, V. Turenko, E. Biletsky et al. (Eds.), *Fundamental and applied problems of current ecology and plant protection*, 9-11. Kharkiv, Ukraine: Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev (in Russian)]
- Блюммер, А.Г. (2020). Расширение границ распространения дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) в европейской части России в северном направлении: антропогенная интродукция в Воронежскую область. *Дендробионтные беспозвоночные животные и грибы и их роль в лесных экосистемах (XI Чтения памяти О.А. Катаева): материалы Всерос. конф. с междунар. участием, г. Санкт-Петербург, 24-27 ноября 2020 г. Санкт-Петербург: СПбГЛТУ, 90-91* [Blyummer, A.G. (2020). North-ward expansion of distribution borders of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in the European part of Russia: anthropogenic introduction into Voronezh Province. In D. Musolin, N. Kirichenko, & A. Selikhovkin (Ed.), *Dendrobiotic Invertebrates and Fungi and their Role in Forest Ecosystems (The Kataev Memorial Readings – XI)*, 90-91. Saint Petersburg, Russia: Saint Petersburg State Forestry Technical

- University (in Russian)] Retrieved from <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44228305>
- Голуб, В.Б., Голуб, Н.В., Соболева, В.А. (2020). Распространение и трофические связи дубовой кружевницы *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) в Крыму. *Полевой журнал биолога*, 2 (3), 179-184 [Golub, V.B., Golub, N.V., & Soboleva, V.A. (2020). Distribution and Trophic Relations of the Oak Lace Bug *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae) in Crimea. *Field Biologist Journal*, 2 (3), 179-184 (in Russian)] <https://doi.org/10.18413/2658-3453-2020-2-3-179-184>
- Мацях, І., Крамарець, В. (2020). Інвазії комах-філофагів на територію України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 11-25 [Matsiakh, I., & Kramarets, V. (2020). Invasive phyllophagous insects in Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 11-25 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/412001>
- Мешкова, В.Л., Назаренко, С.В. (2020). Первые сведения о распространении дубового клопа-кружевницы на территории Херсонской области. Аграрно-промышленный комплекс Приднестровья: проблемы и перспективы развития: материалы Междунар. наук.-практ. конф., г. Тирасполь, 22 ноября 2019 г. Тирасполь: ПГУ, 61-66 [Meshkova, V.L., & Nazarenko, S.V. (2020). First information about the distribution of the oak lace bug in the Kherson region. In *Agrarian-industrial complex of Transnistria: problems and development prospects*, 61-66. Tiraspol: Transnistrian State University (in Russian)] ISBN 978-9975-150-45-3
- Ткач, В.П., Кобець, О.В., Румянцев, М.Г. (2019). Стан та продуктивність дубових насаджень степової частини України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 134, 13-23 [Tkach, V.P., Kobets, O.V., & Rumiantsev, M.H. (2019) Condition and productivity of oak stands in Ukrainian Steppe. *Forestry & Forest Melioration*, 134, 13-23 (in Ukrainian)] <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.13>
- Щуров, В.И., Замотайлов, А.С., Бондаренко, А.С., Щурова, А.В., Скворцов, М.М., Глущенко, Л.С. (2019). Кружевница дубовая *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) на Северо-Западном Кавказе: фенология, биология, мониторинг территориальной экспансии и вредоносности. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 228, 58-87 [Shchurov, V.I., Zamotajlov, A.S., Bondarenko, A.S., Shchurova, A.V., Skvortsov, M.M., & Glushchenko, L.S. (2019). The oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) in the Northwestern Caucasus: phenology, biology, monitoring of the territorial expansion, and harmfulness. *Bulletin of the St. Petersburg Forestry Academy*, 228, 58-87 (in Russian)]. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.58-87>
- Bernardinelli, I., & Zandigiacomo, P. (2000). Prima segnalazione di *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera, Tingidae) in Europa. *Informatore Fitopatologico*, 50, 47-49. Retrieved from <http://hdl.handle.net/11390/710684>
- Bernardinelli, I. (2006). Potential host plants of *Corythucha arcuata* (Het., Tingidae) in Europe: a laboratory study. *Journal of Applied Entomology*, 130 (9-10), 480-484. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2006.01098.x>
- Csóka, G., Hirka, A., Mutun, S., Glavendekić, M., Mikó, Á., Szócs, L., ... & Szénási, Á. (2020). Spread and potential host range of the invasive oak lace bug [*Corythucha arcuata* (Say, 1832) – Heteroptera: Tingidae] in Eurasia. *Agricultural and forest entomology*, 22 (1), 61-74. <https://doi.org/10.1111/afe.12362>
- Drake, C.J., & Ruhoff, F.A. (1965). *Lacebugs of the world: a catalog (Hemiptera: Tingidae)*. Washington: Smithsonian Institution, United States National Museum
- Mutun, S., Ceyhan, Z. & Sözen, C. (2009). Invasion by the Oak Lace Bug, *Corythucha arcuata* (Say) (Heteroptera: Tingidae), in Turkey. *Turkish Journal of Zoology*, 33, 1-5. Retrieved from <https://journals.tubitak.gov.tr/zoology/abstract.htm?id=10201>
- Neimorovets, V. V., Shchurov, V. I., Bondarenko, A. S., Skvortsov, M. M., & Konstantinov, F. V. (2017). First documented outbreak and new data on the distribution of *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Hemiptera: Tingidae) in Russia. *Acta Zoologica Bulgarica*, 9, 139-142. Retrieved from <https://www.cabi.org/ISC/abstract/20183113593>
- Nikolić, N., Pilipović, A., Drekić, M., Kojić, D., Poljaković-Pajnik, L., Orlović, S. & Arsenov D. (2019). Physiological responses of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) to *Corythucha arcuata* (Say, 1832) attack. *Archives of Biological Sciences*, 71 (1), 167-176. <https://doi.org/10.2298/ABS180927058N>
- Tomescu, R., Olenici, N., Netoiu, C., Balacenoiu, F., & Buzatu, A. (2018). Invasion of the oak lace bug *Corythucha arcuata* (Say.) in Romania: a first extended reporting. *Annals of Forest Research*, 61 (2), 161-170. <https://doi.org/10.15287/afr.2018.1187>
- UkrBIN. (2020). UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [public project & web application]. UkrBIN, Database on Biodiversity Information. Retrieved from: <http://www.ukrbn.com> (Accessed: Date [e.g. November 14, 2020])
- Zielińska, A., & Lis, B. (2020). Ocena możliwości potencjalnej ekspansji prześwietlika dębowego *Corythucha arcuata* (Say, 1832), inwazyjnego gatunku z rodziny Tingidae (Hemiptera: Heteroptera), na tereny Polski. *Heteroptera Poloniae – Acta Faunistica*, 14, 175-180 [Zielińska, A., & Lis, B. (2020). Assessment of the potential expansion of the oak skylight *Corythucha arcuata* (Say, 1832), an invasive species of the Tingidae family (Hemiptera: Heteroptera), into Poland. *Heteroptera Poloniae – Acta Faunistica*, 14, 175-180 (in Polish)] <http://doi.org/10.5281/zenodo.4038900>
- Zúbrik, M., Gubka, A., Rell, S., Kunca, A., Vakula, J., Galko, J., Nikolov, Ch. & Leontovyč, R. (2019). First

record of *Corythucha arcuata* in Slovakia – short communication. *Plant Protection Science*, 55, 129-133. <https://doi.org/10.17221/124/2018-PPS>

Перші результати вивчення *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) у Херсонській області України

В.Л. Мешкова¹, С.В. Назаренко², О.І. Глод³

Дубовий клоп мереживний (ДКМ) *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) – небезпечний шкідник листя дуба, аборигенний у Північній Америці. У 2000 р. потрапив в Італію через морський порт і за останні 20 років поширився у багатьох країнах Європи. У 2017 р. вперше зареєстрований у Херсонській області України. Мета досліджень полягала в узагальненні перших результатів вивчення щодо поширення дубового клопа мереживного в Україні.

Дослідження здійснені у 2020 р. на 31 пробній площі у південно-західній частині Херсонської обл. (46°10' – 47°21' Пн. ш.; 32°10' – 33°05' Сх. д.), закладених у лісових насадженнях, лісових смугах та окремих деревах і куртинах дуба у містах. Більшість пробних площ (ПП) розміщено на лівому березі р. Дніпро (23 ПП або 74,2%), вісім ПП – на правому березі (25,8%).

У лісовому фонді Херсонського обласного управління лісового та мисливського господарства розміщені 15 пробних площ (48,4%), зокрема, шість ПП – у Рибальчанському лісництві ДП «Збур'ївське ЛМГ», дві ПП – у Буркутському лісництві ДП «Великокопанське ЛМГ», чотири ПП – у Херсонському лісництві ДП «Олешківське ЛМГ» і три ПП – у Дослідному лісництві Степового філіалу УкрНДІЛ-

ГА ім. Г.М. Висоцького. У лісових смугах розміщено 11 ПП (35,5%). Решту ПП розміщено у Чорноморському Біосферному заповіднику, дендропарку Херсонського аграрно-економічного університету, на території станції юннатів у Голій Пристані та на поодиноких дубах м. Олешки. Вік обстежених насаджень становить від 25 до 250 років.

Наявність дубового мереживного клопа та загрозу деревам оцінювали за бальною шкалою: 0 – ДКМ відсутній; 1 – трапляється поодиноким, виявлена одна кладка яєць; 2 – трапляється зрідка, ушкоджено до 10% дерев; 3 – трапляється звичайно, присутній не на всіх деревах, пошкоджено до 50% листя; 4 – масове поширення, заселені всі дерева, пошкоджено до 100% листя. Розраховано середній бал поширення ДКМ для окремих груп насаджень.

Особини ДКМ і сліди їхньої життєдіяльності виявлені на 19 із 31 обстежених насаджень (61,3%). На 51,6% обстежених ПП дубовий мереживний клоп був звичайним (3 бала) або масовим (4 бала) видом. Шкідник є масовим на восьми ПП, зокрема, на деревах дуба у містах Херсон, Олешки та Гола Пристань, на ділянках лісових насаджень Дослідного лісництва Степового філіалу УкрНДІЛ-ГА та Буркутського лісництва ДП «Великокопанське ЛМГ».

Середній бал поширення ДКМ виявився більшим у лісових насадженнях, ніж у лісових смугах (2,5 і 0,4 бала відповідно). Виявлено тенденцію до збільшення показників поширення ДКМ на деревах дуба із збільшенням віку.

Найбільше поширення ДКМ визначено на пробних площах, які межують із вулицями міст і лісовими дорогами (2,8 бала), а також розташовані недалеко від водного шляху (2,1 бала). Частка пробних площ зі звичайним (три бали) або масовим (чотири бали) поширенням ДКМ серед усіх площ із наявністю шкідника, розміщених поблизу вулиць міст, лісових доріг і водних шляхів, перевищує 80%.

Отримані дані можна вважати попередніми, оскільки розмноження, поширення та розселення ДКМ на території Херсонської обл. розпочалося лише два роки тому.

Ключові слова: дубовий клоп мереживний; пробна площа; середній бал поширення ДКМ; частка заселених пробних площ; шляхи поширення.

¹ Мешкова Валентина Львівна – академік Лісівничої академії наук України, керівник Східного відділення ІАН 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 Назаренко Сергій Володимирович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук. ДП «Степовий ім. В.М. Виноградова філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, Україна», м. Олешки Херсонської обл. Тел.: +38(095)316-20-88. E-mail: nazarenko.sergej@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0482-3234>

³ Глод Олександр Іванович – директор ДП «Степового ім. В.М. Виноградова філіалу Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, Україна», м. Олешки Херсонської обл. Тел.: +38(050)530-17-61. E-mail: aleksandrglod2020@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4021-5503>

**Первые результаты изучения
Corythucha arcuata (Say, 1832)
(Heteroptera: Tingidae)
в Херсонской области Украины**

В.Л. Мешкова¹, С.В. Назаренко², О.І. Глод³

Дубовый клоп-кружевница (ДКК) *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) – опасный вредитель листьев дуба, аборигенный в Северной Америке. В 2000 г. попал в Италию через морской порт и за последние 20 лет распространился во многих странах Европы. В 2017 г. впервые зарегистрирован в Херсонской области Украины. Цель исследований заключалась в обобщении первых данных относительно распространения дубового клопа-кружевницы в Украине.

Исследования проведены в 2020 г. на 31 пробной площади в юго-западной части Херсонской обл. (46°10'–47°21' с.ш.; 32°10'–33°05' в.д.), заложенных в лесных насаждениях, лесополосах и на отдельных деревьях и куртинах дуба в городах. Большинство пробных площадей (ПП) расположены на левом берегу р. Днепр (23 ПП, или 74,2%), 8 ПП – на правом берегу (25,8%). В лесном фонде Херсонского областного управления лесного и охотничьего хозяйства расположены 15 пробных площадей (48,4%), в т.ч. шесть ПП – в Рыбальчанском лесничестве ГП «Збурьевское ЛОХ», две ПП – в Буркутском лесничестве ГП «Великокопанское ЛОХ», четыре ПП – в Херсонском лесничестве ГП «Олешковское ЛОХ»

и три ПП – в Опытном лесничестве Степного филиала Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого. В лесополосах расположено 11 ПП (35,5%). Остальные пробные площади расположены в Черноморском Биосферном заповеднике, дендропарке Херсонского аграрно-экономического университета, на территории станции юннатов в Голой Пристані и на одиночных дубах г. Олешки. Возраст обследованных насаждений составляет от 25 до 250 лет.

Наличие дубового клопа-кружевницы и угрозу состоянию деревьев оценивали по балльной шкале: 0 – ДКК отсутствует; 1 – встречается единично, обнаружена одна яйцекладка; 2 – встречается изредка, повреждено до 10% деревьев; 3 – встречается обычно, выявлен не на всех деревьях, повреждено до 50% листьев; 4 – массовое распространение, заселены все деревья, повреждено до 100% листьев. Рассчитан средний балл распространения ДКК для отдельных групп насаждений.

Особи ДКК и следы их жизнедеятельности обнаружены в 19 из 31 обследованных насаждений (61,3%). На 51,6% обследованных ПП дубовый клоп-кружевница является обычным (три балла) или массовым (четыре балла) видом. Вредитель является массовым на восьми ПП, в т.ч. на деревьях дуба в городах Херсон, Олешки и Голая Пристань, на участках лесных насаждений Опытного лесничества Степного филиала УкрНИИЛХА и Буркутского лесничества ГП «Великокопанское ЛОХ». Средний балл распространения ДКК оказался более высоким в лесных насаждениях, чем в лесополосах (2,5 и 0,4 балла соответственно). Обнаружена тенденция увеличения показателей распространения ДКК с увеличением возраста дуба.

Наибольшее распространение ДКК установлено на пробных площадях, граничащих с улицами городов и лесными дорогами (2,8 балла), а также расположенных недалеко от водного пути (2,1 балла). Доля пробных площадей, где зарегистрировано обычное (три балла) или массовое (четыре балла) распространение ДКК, от всех пробных площадей с наличием этого вредителя, расположенных возле улиц городов, лесных дорог и водных путей, превышает 80%. Полученные данные можно считать предварительными, поскольку размножение, распространение и расселение дубового клопа-кружевницы на территории Херсонской области началось лишь два года назад.

Ключевые слова: дубовый клоп-кружевница; пробная площадь; средний балл распространения ДКК; доля заселенных пробных площадей; пути распространения.

¹ Мешкова Валентина Львовна – академик Лесной академии наук Украины, руководитель Восточного отделения ЛАН 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 Назаренко Сергей Владимирович – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук. ГП «Степной им. В. Н. Виноградова филиал Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации, Украина», г. Олешки Херсонской обл. Тел. +38(095)316-20-88. E-mail: nazarenko.sergej@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0482-3234>

³ Глод Александр Иванович – директор ГП «Степной им. В. Н. Виноградова филиал Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации, Украина», г. Олешки Херсонской обл. Тел. +38(050)530-17-61. E-mail: aleksandrglod2020@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4021-5503>

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/10.15421/412024>
Article received 2020.05.25
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Fuchylo
fuchylo_yar@ukr.net

v. Hamarnya, Malyn district, Zhytomyr region,
11643, Ukraine

УДК 631.41(477.41/42)

Сукцесія рослинності зрубів після проведення суцільних рубок дубових насаджень в умовах Західного та Центрального Полісся України

І.Д. Іванюк¹, Я.Д. Фучило²

Результати досліджень щодо відтворення насаджень дуба звичайного після суцільних рубок в умовах свіжих і вологих сугрудів Західного та Центрального Полісся України показали, що впродовж 1-3 років на зрубках формуються динамічні, мозаїчні рослинні угруповання із залишками лісових та значною участю світлолюбних рудеральних і лучних видів. Головним лімітуючим чинником у відновленні фіторізноманіття на цьому етапі є відсутність верхнього ярусу насаджень. Після змикання крон (орієнтовно у 10-річному віці) флористичний склад і ценотична будова лісових фітоценозів майже відновлюється, а елементи синузальної будови з'являються у 20-річних ценозах. У подальшому відбувається повне відновлення як флористичного складу, зокрема видів, віднесених до Червоної книги України, так і ценотичної будови фітоценозу.

Подібність флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу 120-річних дубових насаджень і 1-10-річних рослинних угруповань є низькою (індекс Сьоренсена-Чекановського в межах 0,27-0,44). Натомість встановлено високу видову подібність флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу 40-річних культур дуба з усіма віковими категоріями. Величина індексу видової подібності змінюється у межах 0,72 – у віці 10 років, 0,79 – у 20, 0,73 – у 60, 0,85 – у 80, 0,79 – у 100 років. У субклімаксових 120-річних фітоценозах трав'яно-чагарничковий ярус складається переважно з лісових видів (на 88,0%); як домішки траплялися лучні (8,0% видового складу) та болотні (4,0%) види. Після суцільної рубки і створення лісових культур у 1-річних рослинних угрупованнях частка лісових видів становила 32,9%, світлолюбних лучних та рудеральних – по 25,7%, узлісних – 8,9%. У трав'яно-чагарничковому ярусі угруповань усіх вікових категорій переважають трав'яні багаторічники, їх участь є максимальною у материнських 120-річних фітоценозах (96,0%).

Ключові слова: *Quercus robur* L.; деревостан; свіжі сугруди; вологі сугруди; зруби; вікові етапи; трав'яно-чагарничковий ярус; флористичний склад; фіторізноманіття; ценотична будова фітоценозу.

¹ Іванюк Ігор Дмитрович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, директор Малинського лісотехнічного коледжу, представник Колективного члена ЛАН України. 11643, с. Гамарня Малинського району Житомирської обл., Україна. Тел.: +38-041-336-85-13. E-mail: mltk-1927@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-4969-8783>

² Фучило Ярослав Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри лісівництва та захисту лісу Малинського лісотехнічного коледжу. Головний науковий співробітник Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна. Тел.: +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

Вступ. В умовах переважання в Україні суцільних рубок головного користування, вивчення відновлювальних сукцесій на зрубках є науковим підґрунтям для розроблення конкретних заходів зі сталого лісочористування (Парпан, Шпарик, Парпан, Buergi, Commarmot & Zingg, 2002).

Після суцільних рубань зазвичай створюють лісові культури (Вакулюк, Самоплавський, 2006; Фучило, 2011; Дебринюк, Криницький, Целень, 2016). Зазначається, що обробіток ґрунту під лісові культури є одним із основних чинників успішного вирощування високопродуктивних і біотично стійких деревостанів, зокрема і дуба звичайного. Водночас, результатом обробітку ґрунту є суттєве порушення видового і кількісного складу рослинного вкриття. Зокрема, на зрубках у рослинних угрупованнях переважають геліофіти, збільшується участь вологолюбних видів (Павлюк Н., Павлюк В., 2013). Цей аспект добре узгоджується з даними С.Б. Ковалевського (2003), що, незважаючи на більше випаровування з поверхні ґрунту на свіжих зрубках, вологість їх ґрунтів вища.

Канадські дослідники (Hart & Chen, 2008) вказують на важливість трав'яно-чагарничкового ярусу лісу, оскільки саме він визначає напрям і швидкість вторинних сукцесій після лісових пожеж, суцільних зрубів та колообіг головних елементів живлення після раптової зміни лісового середовища. За даними цих дослідників, фіторізноманіття в таких біотопах збільшується у перші 1-3 роки після видалення деревостану, повертаючись до вихідних величин приблизно через 40 років. Колонізація вільних еконіш відбувається за рахунок розростання помірно світлолюбних видів – *Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn, *Vaccinium myrtillus* L., *Rubus idaeus* L., а також анемохорів – *Chamaenerion angustifolium* (L.) Holub., *Solidago* sp. та ін. Загалом, у флористичному складі рослинних угруповань на зрубках переважають багаторічні трави (72,8%), а в їхньому складі – довгокореневищні (22,8%) та короткокореневищні види (18,1%). Частка монокарпиків становить 8,6%, зокрема, однорічників – 6,2 та дворічників – 2,4%.

Встановлено (Парпан та ін., 2003), що на зрубках букових лісів Опілля у спектрі життєвих форм видів трав'яно-чагарничкового ярусу переважають багаторічні трави – 68,6%; майже 25,0% становлять монокарпичні трави. Наголошено на перевазі анемохорних видів, які з'являються на зрубках (27,0% флористичного складу), проте вказано, що значну участь також беруть антропохорні та зоохорні види – в межах 24,0-25,0%.

Для бореальних лісів Фінляндії у мезофітних місцезростаннях заростання сильно порушених ділянок суцільних зрубів відбувається за участю піонерних видів (Uotila, 2004; Vanha-Majamaa, Shogohova, Kushnerevskaya & Jalonen, 2017), значною мірою – анемохорних, а також за рахунок нагромадження у ґрунті банку насінин, що призводить до зміни участі в угрупованнях еколого-ценотичних груп видів (Gilliam, 2007; Tonteri, Salemaa, Rautio,

Halikainen, Korpela, & Merila, 2016). Лісові ж види поновлюються переважно відростанням від кореневищ, і меншою мірою – за рахунок банку насінин у ґрунті (Alexe, 1986).

В умовах свіжої грабової діброви Лісостепу України у перші роки на зрубі відбувається значне збільшення видового складу трав'яного ярусу за рахунок рудеральних і лучних видів. У лісових культурах дуба звичайного 1-6-річного віку кількість лісових видів практично не зменшується, але суттєво зменшується їхнє проективне вкриття і знижується життєвість (Остапчук, Маурер, Соваков, 2013). В умовах свіжих і вологих грабово-дубово-соснових сугрудів Центрального Полісся після суцільного рубання дубняків у перші роки утворюються динамічні рослинні угруповання, в яких масово з'являються 1-2-річні рудеральні види, поряд із залишками світлолюбних трав'яних видів материнського фітоценозу (Іванюк, 2020).

Для хвойних лісів Литви встановлено, що у перші 1-2 роки на зрубках суттєво зменшується кількість видів лісової еколого-ценотичної групи, а видів інших груп – збільшується. Серед останніх відзначено значну частку анемохорних видів, серед яких *Senecio vulgaris* L., *Cirsium arvense* (L.) Scop. та ін. (Česonienė, Daubaras, Kaskonas, Kaskonienė, Maruska, Tiso & Zych, 2018).

Отже, для суцільних зрубів характерним є зникнення значної частини лісових і поява лучних та рудеральних світлолюбних видів (Сірук, 2010; Іванюк, 2020). У зв'язку з цим, *актуальним завданням* є дослідження сукцесій рослинності, зокрема, у насадженнях дуба звичайного, як під наметом лісу, так і на різного типу зрубках з метою підтримання високого рівня лісового біологічного різноманіття у різних типах лісорослинних умов, насамперед, у свіжих і вологих сугрудах Західного та Центрального Полісся України в період суттєвих кліматичних змін.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єктом досліджень був склад трав'яно-чагарничкової рослинності зрубів, незімкнутих культур, молодняків, середньовікових, пристигаючих і стиглих штучних насаджень *Quercus robur* L. Західного та Центрального Полісся України. Предмет дослідження – сукцесія трав'яно-чагарничкової рослинності на зрубках і під наметом штучних насаджень *Quercus robur* в умовах свіжих і вологих сугрудів. Мета досліджень полягала у вивченні сукцесії рослинності зрубів після здійснення суцільних рубок дубових насаджень в умовах свіжих і вологих сугрудів Західного та Центрального Полісся України.

Дослідження динаміки фіторізноманіття у живому надґрунтовому вкритті здійснювали у період максимального розвитку фітомаси рослинності за стабільного рівня вологості. Флористичний склад рослинних угруповань вивчали за методикою А.А. Корчагіна (1964). Динаміку рослинного вкриття після рубок головного користування досліджували за методичними положеннями В.Д. Александрової (1964). При цьому для кожного рослин-

ного угруповання відзначали: проективне вкриття кожного виду (%) або присутність виду (+), кількість ярусів рослинності, наявність синузії весняних ефемероїдів, загальний стан рослинного вкриття та окремих еколого-ценотичних груп видів.

Для порівняння біорізноманіття у лісових фітоценозах використовували загальноприйняті у геоботаніці показники, зокрема, видову насиченість фітоценозу або певного ярусу рослинності (Вальтер, 1982; Тихомиров, 2006).

З метою встановлення кількісної оцінки видової подібності трав'яно-чагарничкового ярусу рослинних угруповань розраховували індекс видової подібності Сьоренсена-Чекановського (Одум, 1986).

Еколого-ценотичні аспекти вивчали за методикою С.М. Панченка (2005), виділяючи наступні еколого-ценотичні групи видів: лісова, узлісна, лучна, болотна, рудеральна. Класифікацію життєвих форм видів подано за І.Г. Серебряковим (1969), конкретні життєві форми видів наведено за «Визначником вищих рослин України»: однорічники, одно-дворічники, дворічники, трав'яні багаторічники, чагарнички (Определитель высших растений Украины, 1999).

Результати та обговорення. Результати досліджень щодо відтворення насаджень дуба звичайного після суцільних рубок в умовах свіжих і вологих сугруннів Західного та Центрального Полісся України показали, що впродовж 1-3 років на зрубках формуються динамічні, мозаїчні рослинні угруповання із залишками лісових та значною участю світлолюбних рудеральних і лучних видів. Головним лімітуючим чинником у відновленні фіторізноманіття на цьому етапі є відсутність верхнього ярусу насаджень. Після змикання крон (орієнтовно у

10-річному віці) флористичний склад і ценотична будова лісових фітоценозів майже відновлюється, а елементи синузальної будови з'являються у 20-річних ценозах. У подальшому відбувається повне відновлення як флористичного складу, зокрема видів, віднесених до Червоної книги України, так і ценотичної будови фітоценозу.

Подібність флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу 120-річних дубових насаджень і 1-10-річних рослинних угруповань є низькою (індекс Сьоренсена-Чекановського в межах 0,27-0,44). Натомість встановлено високу видову подібність флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу 40-річних культур дуба з усіма віковими категоріями. Величина індексу видової подібності змінюється у межах 0,72 – у віці 10 років, 0,79 – у 20, 0,73 – у 60, 0,85 – у 80, 0,79 – у 100 років.

Аналіз участі видів різних еколого-ценотичних груп у формуванні трав'яно-чагарничкового ярусу лісових фітоценозів під час їх відновлення після суцільних рубок головного користування дає змогу поглибити розуміння процесів, що відбуваються за таких умов. Відповідні дані щодо динаміки еколого-ценотичних груп видів у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу рослинних угруповань дубових лісів різного віку у свіжих сугруннях наведено на рис. 1.

Представлені дані демонструють, що у субклімаксових 130-140-річних фітоценозах трав'яно-чагарничковий ярус складається переважно з лісових видів (на 67,9%). До цієї групи увійшли головні види-співдомінанти – *Convallaria majalis* L., *Pteridium aquilinum*, *Stellaria holostea* L., *Carex montana* L., *Anemone nemorosa* L., а також численні види-асектатори.

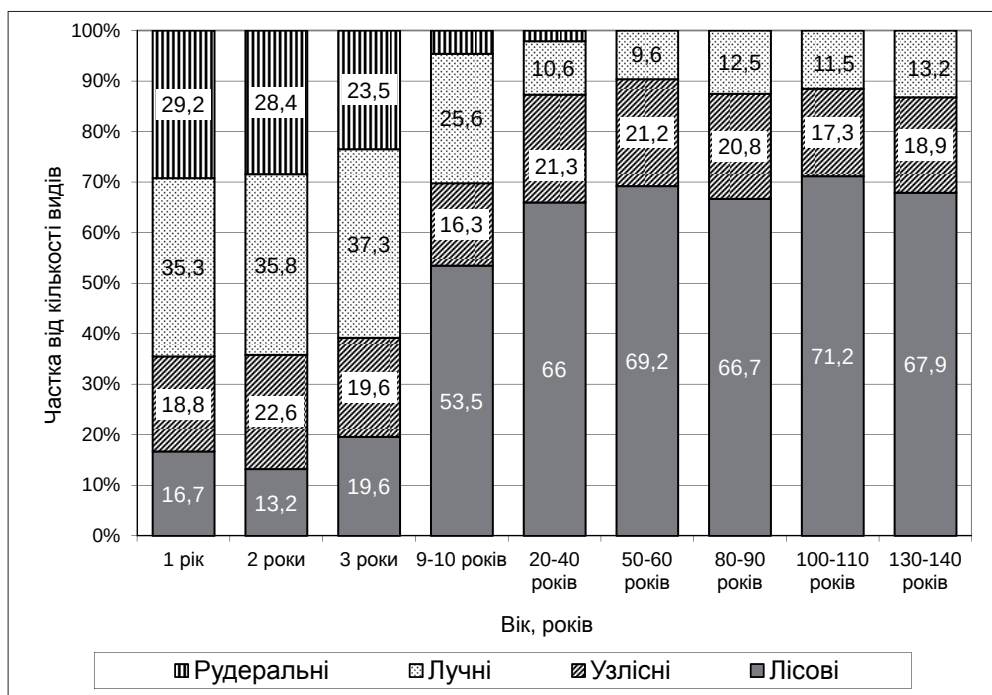


Рис. 1. Динаміка участі еколого-ценотичних груп видів у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу рослинних угруповань дубових лісів різного віку у свіжих сугруннях

Такі старовікові ценози характеризуються відносно невисокою повнотою, зазвичай, близько 0,6, що зумовлює добру освітленість нижніх ярусів лісового угруповання. Саме тому тут виявлено значну участь світлолюбних узлісних видів – 18,9%, представниками яких є *Genista tinctoria* L., *Trifolium alpestre* L., *Veronica chamaedrys* L., *Hypericum perforatum* L. та ін., а також представників світлолюбних лучних видів – *Vicia sepium* L., *Festuca rubra* L., *Dactylis glomerata* L. тощо (13,2%).

Переважають світлолюбних лучних видів у рослинному вкритті на початкових стадіях відновлювальних сукцесій зауважували й інші дослідники (Ведмідь, Шкудор, Бузун, 2008; Сірук, 2010). Після здійснення суцільної рубки головного користування формуються багатовидові, мозаїчні, динамічні трав'яні угруповання, які відзначалися дослідниками також і для соснових лісів Західного (Шкудор, 2006) та Центрального (Сірук, 2010) Полісся. Їхньою характерною рисою є збереження частини лісових світлолюбних видів – *Convallaria majalis*, *Pteridium aquilinum*, *Stellaria holostea*, *Primula veris* L., *Clinopodium vulgare* L. та ін. Їхня частка у флористичному складі досліджуваного ярусу 1-річних угруповань становить 16,7%. Для узлісних видів властивим є збереження частки у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу – 18,8%. Цю групу складають *Genista tinctoria*, *Clematis recta* L., *Campanula rotundifolia* L. тощо.

Повне освітлення поверхні ґрунту після суцільної рубки також сприяє збільшенню кількості в 1-річних угрупованнях світлолюбних лучних видів, частка яких у флористичному складі становить 35,3%. Ця група включає *Vicia sepium*, *Festuca rubra*, *Agrostis vinealis* Schreb., *Taraxacum officinale* Wigg. тощо. Наявність на 1-річних зрубках видів з різною популяційною динамікою також прослідковувалась низкою дослідників раніше (Буськанюк, 2008; Геникова, Торопова, Крышень, 2016). У процесі проведення суцільної рубки, підготовки площі і обробітку ґрунту під садіння лісових культур відбувається занесення діаспор рудеральних видів, які бурхливо розростаються на лісокультурній площі. Їхня частка у флористичному складі 1-річних угруповань становить 29,2%.

Для 2-річних рослинних угруповань властивим є прогресуюче зменшення участі лісових видів, частка яких знижується до 13,2%. Зберігаються, в основному, світлолюбні види – *Convallaria majalis*, *Pteridium aquilinum*, *Stellaria holostea* та ін. Частка узлісних видів у флористичному складі 2-річних угруповань зростає до 22,6%, а лучних – майже не змінюється (35,8%). Рудеральні види продовжують відігравати важливу роль, їхня частка становить 28,4%. На значній участі у рослинному вкритті 2-річних культур рудеральних, зокрема, адвентивних інвазійних видів наголошувалося і раніше (Шкудор, 2006; Сірук, 2010; Česonienė et al., 2018).

У 3-річному віці частка лісових видів сягає 19,5, узлісних – 19,6, а переважають на цьому етапі лучні види – 37,3%. Частка рудеральних видів залиша-

ється значною – 23,5%. Подібні дані були отримані дослідниками також для соснових лісів регіону досліджень у свіжих борах і субборах (Ведмідь, Шкудор, Бузун, 2008; Сірук, 2010).

У 9-10-річних ценозах, після змикання крон молодого деревостану, природного поновлення деревних порід та підліску, поступово відновлюється видовий склад трав'яно-чагарничкового ярусу та його еколого-ценотичних груп. За таких умов частка лісових видів зростає до 53,5%. Частка решти еколого-ценотичних груп видів помітно зменшується. Зокрема, частка узлісних видів становить 16,3, лучних – 25,6, а рудеральних – до 4,6%.

У трав'яно-чагарничковому ярусі 20-40-річних ценозів участь лісових видів зростає до 66,0, узлісних – до 21,3%, а частка лучних і рудеральних видів зменшується відповідно до 10,6 та 2,1%. У старших вікових групах ценозів дубових лісів штучного походження виявлені лише три еколого-ценотичні групи видів – лісова, узлісна та лучна, участь яких порівняно незначно змінюється упродовж цього вікового відрізка: лісових – на рівні 66,7-71,2, узлісних – 17,3-21,2, лучних – 9,6-13,2%.

Особливу цікавість представляє збереженість частини видів трав'яно-чагарничкового ярусу на всіх вікових етапах досліджуваних рослинних угруповань. До цієї групи входять: *Convallaria majalis*, *Pteridium aquilinum*, *Stellaria holostea*, *Clinopodium vulgare*, *Fragaria vesca* L., *Genista tinctoria*, *Veronica chamaedrys* L., *Astragalus glycyphyllos* L., *Clematis recta*, *Festuca rubra*, *Poa angustifolia* L., *Betonica officinalis* L. та *Agrostis vinealis*. На існування такої групи видів у динамічних рядах рослинності після суцільних рубок раніше вказувала низка дослідників (Буськанюк, 2008; Геникова, Торопова, Крышень, 2016).

Краща зволоженість ґрунту в умовах вологого сугруду (C_3) сприяла поширенню під наметом дубових культур значно більшої кількості видів трав'яно-чагарничкового ярусу, порівняно зі свіжими сугрудами, та дещо більшої кількості їх еколого-ценотичних груп. За таких умов у вологих типах на всіх етапах росту фітоценозів відзначено більшу частку лісових видів – від 26,4 у 2-річному віці до 89,5% – у 90-річних насадженнях, тоді як у свіжих умовах, відповідно, 13,2 та 71,2% (рис. 2).

У клімаксових 120-річних фітоценозах трав'яно-чагарничковий ярус на 88,0% складається із лісових видів. До цієї групи увійшли основні види, які забезпечують максимум проективного вкриття: *Carex pilosa* Scop., *Pteridium aquilinum*, *Luzula pilosa* (L.) Willd., *Hypericum montanum* L., *Anemone nemorosa* та ін.

У зв'язку з невисокою повнотою деревостану, в цьому віці зростає освітленість нижніх ярусів лісового ценозу, що дає змогу поселитися світлолюбним лучним видам, представниками яких є *Ajuga reptans* L., *Vicia sepium*, *Agrostis vinealis*, *Veronica chamaedrys* тощо. Їхня частка становить 8,0% від видового складу досліджуваного ярусу. Незначною була частка еколого-ценотичної групи болотних видів (4,0%).

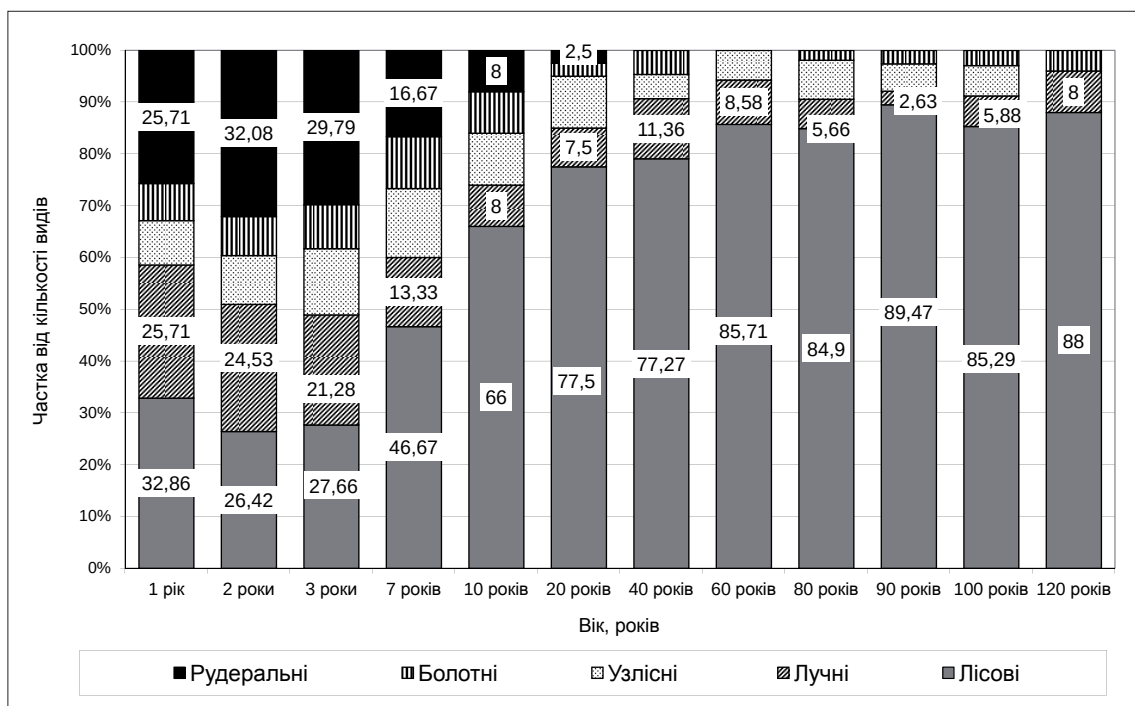


Рис. 2. Динаміка участі еколого-ценотичних груп видів у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу рослинних угруповань різного віку в умовах вологого сугруду

Після проведення суцільної рубки формуються багатовидові строкаті динамічні трав'яні угруповання. Відмінною їх рисою є збереження частини лісових видів, особливо світлолюбних. Зокрема, в угрупованнях першого року після рубки частка лісових видів становила 32,9% флористичного складу ярусу. На значну роль лісових трав'яних і чагарничкових видів, які зберігаються у рослинному вкритті на зрубках, наголошували вітчизняні (Буськанюк, 2008) та іноземні (Геникова, Торопова, Крышень, 2016) дослідники. Внаслідок повного освітлення у дещо пригніченому вигляді збереглися *Carex brizoides* L., *Pteridium aquilinum*, *Calamagrostis arundinacea* (L.) Roth., *Convallaria majalis*, *Luzula pilosa* та ін. По 25,7% флористичного складу припало на світлолюбні рудеральні та лучні види. Повне освітлення поверхні ґрунту також сприяло розвитку світлолюбних узлісних видів, частка яких сягнула 8,6%. Участь у флористичному складі болотних видів становила 7,1%. Така відносно значна участь болотних видів у вологому сугруді зумовлена можливою появою мікропонижень, що утворилися внаслідок обробітку ґрунту, зокрема, нарізання борозен під садіння лісових культур.

Для травостою 2-річних рослинних угруповань характерним є випадання частини лісових видів, які ще збереглися з часу рубки. Внаслідок такого процесу участь лісових видів у флористичному складі зменшується до 26,4%, тоді як частка світлолюбних рудеральних видів досягає 32,1% видового складу ценозу, а світлолюбних лучних видів – до 24,5%. У флористичному складі 2-річних рослинних угруповань частка узлісних видів становить 9,4, а болотних – 7,6%.

Подібною є структура 3-річних рослинних угруповань, де частка світлолюбних рудеральних видів становить 29,8, лісових – 27,7, лучних – 21,3, узлісних – 12,8 та болотних – 8,5%.

У 10-річних фітоценозах, після змикання крон деревостану, трав'яно-чагарничковий ярус вже складається переважно з лісових видів, частка яких зростає до 66,0%, тоді як частка інших еколого-ценотичних груп помітно зменшується. Зокрема, участь рудеральних видів зменшується до 8,0, лучних видів – до 8,0, узлісних – до 10,0 та болотних – до 8,0%.

У 20-річних ценозах зберігається тенденція до збільшення частки лісових видів (до 77,5%) та зменшення участі видів більшості інших еколого-ценотичних груп. Найсуттєвіше зменшення участі властиве рудеральним і болотним видам – з 8,0 до 2,5%. Подібну динаміку участі видів різних еколого-ценотичних груп у фітоценозах після змикання крон відзначено також канадськими (Hart & Chen, 2008) та фінськими (Vanha-Majamaa, Shorohova, Kuschenetskaya, & Jalonen, 2017) дослідниками.

Починаючи з 40-річного віку, з флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу лісових культур дуба звичайного у вологих сугрудах повністю зникають рудеральні види, а, починаючи з 60-річного віку, участь лісових видів у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу складає 85-89%; участь видів інших еколого-ценотичних груп також стабілізується. Отримані результати добре узгоджуються з даними інших дослідників (Keenan & Kimmins, 1993; Широких, Мартыненко, Баишева, Бикваев, 2018).

Важливу додаткову інформацію щодо розуміння сукцесійних процесів у дубових культурфітоце-

нозах можна отримати у результаті детального аналізу участі у флористичному складі ценозів видів трав'яно-чагарничкового ярусу, які належать до різних життєвих форм (рис. 3, 4).

Результати досліджень свідчать про абсолютне переважання багаторічних трав у трав'яно-чагарничковому ярусі усіх досліджуваних вікових груп. Частка згаданих видів у свіжих гігروتпах є максимальною у віковій групі 80-90 років (100%), а мінімальною – у 2-річних угрупованнях після су-

цільних рубок (75,5%). У вологих гігروتпах сугрудів мінімальна частка багаторічників також спостерігається у трав'яному вкритті дворічних зрубів (73,6%), а максимальна – у материнських 120-річних ценозах (96,0%).

У материнських 130-140-річних ценозах свіжих сугрудів трав'яні багаторічники у флористичному складі становлять 98,1%. Така тенденція є характерною для лісів Європи (Парпан, Вітер, Парпан, Целень, 2003; Лукашук, 2012; Česonienė et al., 2018).

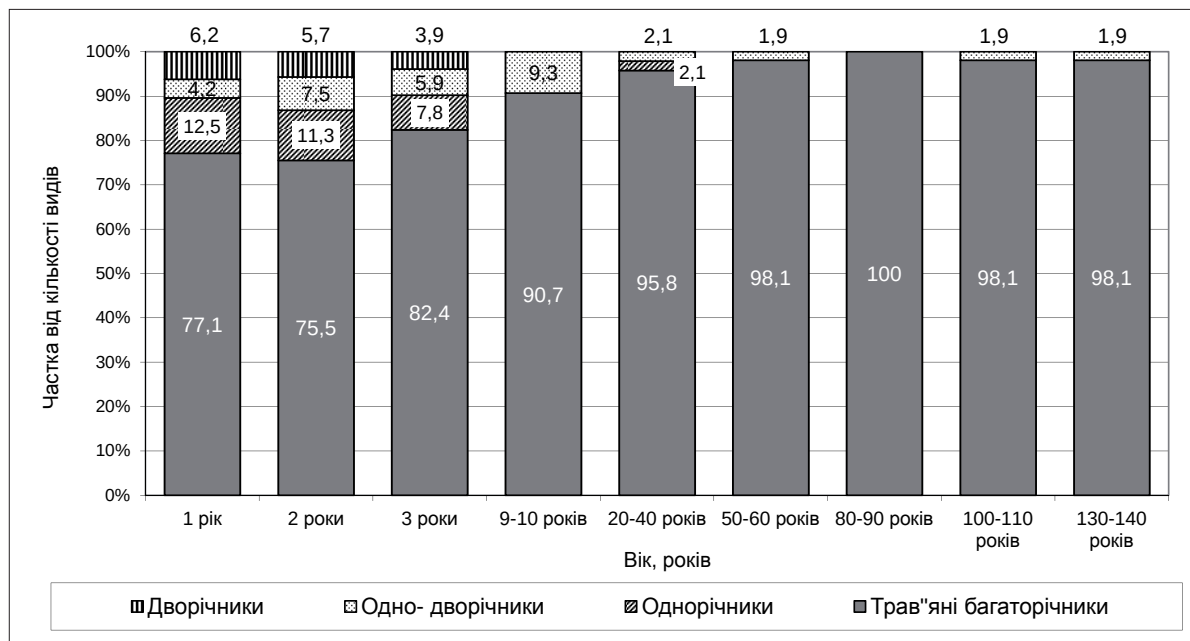


Рис. 3. Динаміка участі видів різних життєвих форм у процесі відновлювальної сукцесії після суцільної рубки дубових лісів у свіжих сугрудах

Однорічники і дворічники у цій віковій групі у свіжих умовах були відсутні, а частка однодворічників становила лише 1,9%.

У вологих умовах 4,0% флористичного складу становили однорічники, серед яких постійним видом був *Melampyrum nemorosum* L.

У флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу 1-річних рослинних угруповань свіжих сугрудів після проведення суцільної рубки були представлені види усіх життєвих форм, наявних у динамічному ряду ценозів різного віку – трав'яні багаторічники, однорічники, одно-дворічники та дворічники. Частка трав'яних багаторічників за таких умов була високою – 77,1%, значну участь приймали малорічники – 22,9%. У складі останніх переважали бур'яни – *Sonchus asper* (L.) Hill., *Chenopodium album* L., *Erodium cicutarium* L., *Polygonum persicaria* L. тощо. Частка дворічників становила 6,2% і також була представлена бур'янами – *Cirsium vulgare* (Savi) Ten., *Picris hieracioides* L. та ін. Частка одно-дворічників складала 4,2%, де також переважали бур'яни – *Erigeron canadensis* L., *Phalacrologium annuum* (L.) Dumort. та ін.

У вологих гігروتпах участь трав'яних багаторічників становила 77,1, малорічників – 22,9, однодворічників – 5,7 та дворічників – 4,3%. Зростання

участі монокарпічних трав у флористичному складі 1-річних угруповань на зрубках було відзначено і раніше (Шкудор, 2006; Сірук, 2010; Лукашук, 2012; Česonienė et al., 2018).

Подібне співвідношення життєвих форм видів спостережено також і в 2-річних угрупованнях. Частка трав'яних багаторічників у цій групі зменшується до мінімальних значень: 75,5% – у свіжих та 73,6% – у вологих типах, а малорічників, у складі яких домінують бур'яни, збільшується, відповідно, до 24,5 та 26,4%. У складі останніх переважають однорічники – 11,3 у свіжих і 15,1% – у вологих сугрудах.

У флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу 3-річних рослинних угруповань участь трав'яних багаторічників зростає до 82,4% у свіжих умовах і до 76,6% – у вологих. Сумарна частка малорічників зменшується відповідно до 17,6 та 23,4%.

Спектр життєвих форм видів трав'яно-чагарничкового ярусу 9-10-річних ценозів кардинально відрізняється від рослинних угруповань, характерних для перших років після проведення суцільної рубки. З флористичного складу зникають однорічники та дворічники, частка трав'яних багаторічників збільшується до 90,7% у свіжих і до 86,0% – у

вологих сугрудах, де на цьому етапі з'являється типовий лісовий чагарничок – *Vaccinium myrtillus* L.

У трав'яно-чагарничкового ярусі 20-40-річних культур дуба звичайного у свіжому сугруді відбувається подальше відновлення видового складу ярусу, що закономірно призводить до збільшення участі трав'яних багаторічників (до 95,8%) та відповідного зменшення участі малорічників (до 4,2%). У складі останніх однорічні види представлені узлісним видом *Lapsana communis* L., а однорічні – *Moehringia trinervia* (L.) Clairv. На значному відновленні спектра життєвих форм лі-

сових видів у флористичному складі фітоценозів у 30-40-річних лісових культурах акцентували увагу також інші дослідники (Ведмідь, Шкудор, Бузун, 2008).

У трав'яно-чагарничковому ярусі решти вікових груп (від 50-60-річної до 100-110-річної) спостережено абсолютне переважання трав'яних багаторічників – від 98,1% у 50-60-річних та 100-110-річних ценозах до 100% у 80-90-річних ценозах, а також незначна частка одно-дворічників – 1,9%, представлених лише одним лісовим видом – *Moehringia trinervia*.

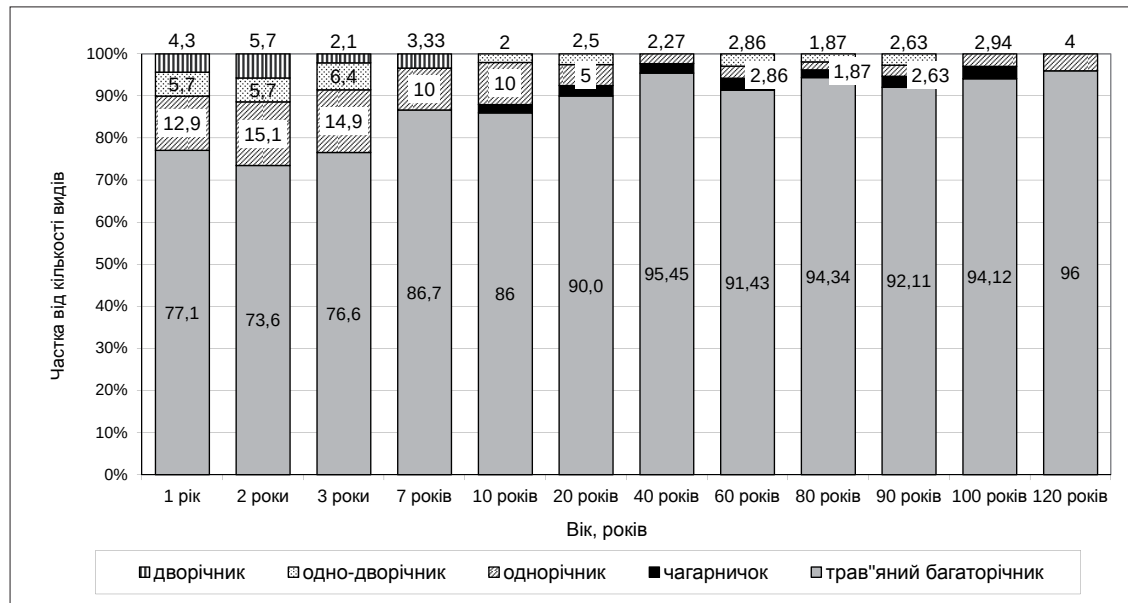


Рис. 4. Динаміка участі видів різних життєвих форм у формуванні трав'яно-чагарничкового ярусу у процесі відновлення після суцільних рубок головного користування в умовах вологого сугруду

В умовах вологого сугруду частка трав'яних багаторічників у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу зростає від 90,0 у віці 20 років; 95,5 – у 40 років до 96,0% у віці 120 років.

Загалом, співвідношення видів різних життєвих форм відновлюється у культурах дуба звичайного в умовах вологого сугруду приблизно у віці 20 років, що є подібним до результатів, отриманих для рівнинних букових лісів Опілля (Парпан та ін., 2003).

Відновлення частки трав'яних багаторічників, які характерні для материнських субклімаксових деревостанів свіжих і вологих сугрудів відбувається практично синхронно, хоча показники у вікових групах після 40 років дещо вищі у свіжих сугрудах. Спільним є те, що відновлення трав'яних багаторічників в обсязі понад 90% відбувається у перші 20 років періоду росту дубових насаджень в умовах свіжих і вологих гігروتопів.

Дані рис. 3 і 4 підтверджують абсолютне переважання трав'яних багаторічників у трав'яно-чагарничковому ярусі усіх досліджуваних вікових груп. Частка згаданих видів у свіжих гігروتобах є максимальною у віковій групі 80-90 років – 100%, а мінімальною – у 2-річних угрупованнях після суцільних рубок – 75,5%.

У вологих сугрудах мінімальну частку багаторічників також спостережено у трав'яному вкритті дворічних зрубів – 73,6%, а максимальну – у материнських 120-річних ценозах – 96,0%. У материнських 130-140-річних ценозах свіжих сугрудів трав'яні багаторічники у флористичному складі становлять 98,1%. Така тенденція є характерною для лісів Європи (Парпан та ін., 2003; Лукашук, 2012; Česoniene et al., 2018).

Висновки. У клімаксових 120-річних фітоценозах дуба звичайного у лісах Західного та Центрального Полісся трав'яно-чагарничковий ярус складається переважно з лісових видів (на 88,0%); як домішка трапляються лучні (8,0%) та болотні (4,0%) види. В 1-річних угрупованнях (після суцільної рубки) частка лісових видів зменшується до 32,9%, світлолюбних лучних та рудеральних видів зростає до 25,7%, а узлісних – до 8,9%.

Кардинальна перебудова видового складу трав'яно-чагарничкового ярусу спостерігається у 7-10-річних рослинних угрупованнях перед змиканням крон деревостану – частка лісових видів у флористичному складі збільшується у 1,7 раза порівняно з 3-річними угрупованнями (до 46,7%). Частка ж рудеральних видів зменшується

до 16,7%, так само як і світлолюбних лучних видів – до 13,3%.

У 20-річних ценозах зберігається загальна тенденція – збільшення у трав'яно-чагарничковому ярусі частки лісових видів з 66,0 у 10-річному до 77,5% у 20-річному віці та зменшення участі в ньому видів більшості інших еколого-ценотичних груп. Починаючи з 40-річного віку, з флористичного складу трав'яно-чагарничкового ярусу лісових культур зникають рудеральні види, а з 60-річного віку участь у флористичному складі всіх еколого-ценотичних груп стабілізується, зокрема, лісових видів на рівні 85-89%.

У трав'яно-чагарничковому ярусі угруповань усіх вікових категорій переважають трав'яні багаторічники, їхня участь є максимальною у материнських 120-річних фітоценозах – 96,0%. Для чагарничків властива специфічна динаміка участі у флористичному складі трав'яно-чагарничкового ярусу: відсутність у культурах до 10-річного віку (до змикання крон молодого деревостану) та поступове збільшення участі у подальшому.

Для однорічників характерною рисою є збільшення участі у рослинних угрупованнях від 1-річних до 2-річних, а у подальшому – поступове зменшення їхньої участі у флористичному складі – від 14,9% у 3-річних угрупованнях до 2,94% у 100-річних ценозах.

Список літератури

- Александрова, В.Д. (1964). Изучение смен растительного покрова. Полевая геоботаника / Под общ. ред. Е.М. Лавренко, А.А. Корчагина. Т. III. Москва-Ленинград: Наука, Ленинградское отд., 300-447 [Alexandrova, V.D. (1964). Study of changes in vegetation cover. In E.M. Lavrenko & A.A. Korchagin (Eds.), *Field geobotany* (pp. 300-447). Vol. III. Moscow-Leningrad: Sciences, Leningrad department (in Russian)].
- Буськанюк, М.В. (2008). Стратегія поведінки видів рослин у процесі заростання зрубів смерекових лісів. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 114, 63-66 [Buskanyuk, M.V. (2008). Strategy of plant species behavior in the process of overgrowing of spruce forests cutting areas. *Forestry and Forest Melioration*, 114, 63-66 (in Ukrainian)].
- Вакулюк, П.Г., Самоплавський, В.І. (2006). *Лісовідновлення та лісорозведення в Україні*. Харків: Прапор [Vakulyuk, P.H., & Samoplavskyy, V.I. (2006). *Reforestation and afforestation in Ukraine*. Kharkiv: Flag (in Ukrainian)].
- Вальтер, Г. (1982). *Общая геоботаника*. Москва: Мир [Walter, G. (1982). *General geobotany*. Moscow: Peace (in Russian)].
- Ведмідь, М.М., Шкудор, В.Д., Бузун, В.О. (2008). *Відновлення природних лісостанів Західного Полісся*. Житомир: Полісся [Vedmid, M.M., Shkudor, V.D., & Buzun, V.O. (2008). *Restoration of natural forest stands of Western Polissya*. Zhytomyr: Polissya (in Ukrainian)].
- Геникова, Н.В., Торопова, Е.В., Крышень, А.М. (2016). Реакция видов напочвенного покрова ельника черничного на рубку древостоя. *Труды Карельского научного центра РАН*, 4, 92-99. [Genikova, N.V., Toropova, E.V., & Kryshen, A.M. (2016). Response of species of the ground cover of blueberry spruce forests for cutting the stand. *Proceedings of the Karelian Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*, 4, 92-99 (in Russian)]. Retrieved from <http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=14215&plang=r>.
- Дебрийнюк Ю.М., Криницький Г.Т., Целень Я.П. (2016). *Технологія вирощування плантаційних лісових насаджень у західному регіоні України*. Львів: Камула [Debryniuk, Yu. M., Krynitsky, H.T., & Tselen, Ya. P. (2016). *Technology of forest plantation cultivation in the western region of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://odnb.odessa.ua/vnn/book/1580>
- Іванюк, І.Д. (2020). Динаміка різноманіття трав'яно-чагарничкового ярусу після суцільних рубань дубових лісів природного походження та створення культур дуба у вологих сугрудах Житомирського Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 30 (1), 33-38 [Ivanyuk, I.D. (2020). Dynamics of diversity of grass-shrub tier after continuous cuttings of natural origin oak forests and creation of oak crops in moist fairly fertile conditions of Zhytomyr Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 30 (1), 33-38 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://doi.org/10.36930/40300105> pdf.
- Ковалевський, С.Б. (2003). *Лісівничо-екологічна роль трав'яного покриву в культурах сосни звичайної Східного Полісся*: автореф. дис. ... доктора с.-г. наук: 06.03.03/ Національний лісотехн. ун-т України, Львів [Kovalevskyy, S.B. (2003). *Forestry and ecological role of grass cover in Scots pine crops of Eastern Polissya*: Doctoral dissertation abstract. Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/15/1386>
- Корчагин, А.А. (1964). Видовой (флористический) состав растительных сообществ и методы его изучения. Полевая геоботаника / Под общ. ред. Е.М. Лавренко и А.А. Корчагина. Т. III. Москва-Ленинград: Наука, Ленинградское отделение, 39-59. [Korchagin, A.A. (1964). Species (floristic) composition of plant communities and methods of its study. In E.M. Lavrenko & A.A. Korchagin (Ed.) *Field geobotany* (pp. 39-59). Moscow-Leningrad: Science, Leningrad branch (in Russian)] Retrieved from https://biblioclub.ru/index.php?page=book_red&id=438841&razdel
- Лукашук, Г.Б. (2012). Динаміка ценопопуляцій рослин на зрубках Горган. *Науковий вісник НЛТУ України*, 22.8, 42-48. [Lukashchuk, G.B. (2012). Dynamics of coenopopulations of plants on Gorgan fellings. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 22.8, 42-48 (in Ukrainian)] Retrieved from

- https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2012/22_8/42_Luk.pdf.
- Одум, Ю. (1986). *Экология*. Москва: Мир [Odum, Y. (1986). *Ecology*. Moscow: Peace (in Russian)]. Retrieved from <https://may.alleng.org/d/ecol/ecol13.htm>
- Определитель высших растений Украины (1999) / Под ред. Д.Н. Доброчаевой, М.И. Котова, Ю.Н. Прокудина, А.И. Барбарича. 2-е изд. стереотипное. Киев: Фитосоциоцентр [*Keys to higher plants of Ukraine* (1999). Ed. 2nd, stereotyped/ In D.N. Dobrochaeva, M.I. Kotov, Yu. N. Prokudin, A.I. Barbarych (Ed.). Kyiv: Phytosociocenter (in Russian)]. Retrieved from https://www.studmed.ru/dobrochaeva-dn-kotov-mi-i-dr-opreditel-vysshih-rasteniy-ukrainy_5486cecd9db.html.
- Остапчук, О. С., Маурер, В. М., Соваков, О. В. (2013). Живий надґрунтовий покрив на зрубках в умовах свіжої грабової діброви південного Лісостепу України. *Ukrainian journal of Forest and Wood Science*, 187 (1), 283-289. [Ostapchuk, O. S., Maurer, V. M. & Sovakov, O. V. (2013). Living above-ground cover on fellings in the conditions of fresh hornbeam grove of the southern Forest-steppe of Ukraine. *Ukrainian journal of forest and wood science*, 187 (1), 283-289 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://journals.nubip.edu.ua/index.php/Lisivnytstvo/article/view/904>
- Павлюк, Н. В., Павлюк В.В. (2013). Біоекологічні особливості лісових трав'яних рослин і їх фітоценотичне значення. *Науковий вісник НЛТУ України*, 23.3, 145-151 [Pavlyuk, N. V., & Pavlyuk, V. V. (2013). Bioecological features of forest herbaceous plants and their phytocenotic significance. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 23.3, 145-151 (in Ukrainian)] Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_3/index.htm
- Панченко, С.М. (2005). *Флора національного природного парку «Деснянсько-Старогутський» та проблеми охорони фіторізноманіття Новгород-Сіверського Полісся*. Суми: Університетська книга [Panchenko, S.M. (2005). *Flora of the National Natural Park «Desnyansko-Starogutskiy» and the problems of protecting the fluorescent society Novgorod-Siverskiy Polissya*. Sumy: Universitet book (in Ukrainian)] Retrieved from http://ashipunov.info/shipunov/school/books/panchenko2013_lesn_rastit_npr_desn-star.pdf.
- Парпан, В. І., Вітер, Р. М., Парпан, Т. В., Целень, Я. П. (2003). Екологічна сукцесія трав'яного вкриття на зрубках в рівнинних букових лісах України. *Науковий вісник НЛТУ України*, 13.3, 135-142 [Parpan, V.I., Viter, R.M., Parpan, T.V., & Tselen, J.P. (2003). Ecological succession of grass cover on fellings in plain beech forests of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 13.3, 135-142 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/index2.htm
- Парпан, В. І. Шпарик, Ю. С. Парпан, Т. В., Buergi, A., Commarmot, B., Zingg, A. (2002). Європейські основи сталого лісокористування і необхідність їх впровадження в Українських Карпатах. *Лісовий і мисливський журнал*, 4, 16-18 [Parpan, V.I., Shparik, Yu. S., Parpan, T.V., Buergi, A., Commarmot, B., & Zingg, A. (2002). European bases of sustainable forest use and the need for their implementation in the Ukrainian Carpathians. *Forest and Hunting Journal*, 4, 16-18 (in Ukrainian)].
- Серебряков, И. Г. (1969). *Экологическая морфология растений. Жизненные формы покрытосеменных и хвойных*. Ленинград: Наука [Serebryakov, I.G. (1969). *Ecological morphology of plants. Life forms of angiosperms and conifers*. Leningrad: Science (in Russian)].
- Сірук, Ю. В. (2010). Характеристика лісовідновного процесу на штучно відновлених зрубках у свіжих та вологих суборах Центрального Полісся. *Науковий вісник НЛТУ України*, 20.6, 57-64 [Siruk, Yu. V. (2010). Description of reforestation process on the artificially renewed cutovers in fresh and wet suborian conditions in the Central Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 20.6, 57-64 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2010/20_6/index.htm
- Тихомиров, В. Н. (2006). *Геоботаника. Курс лекций*. Минск: БГУ [Tikhomirov, V.N. (2006). *Geobotany. Lecture course*. Minsk: Belarusian State University (in Russian)].
- Фучило, Я. Д. (2011). *Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи*. Київ: Логос [Fuchylo, Ya. D. (2011). *Plantation Forestry: Theory, Practice, Perspectives*. Kyiv: Logos (in Ukrainian)].
- Широких, П. С., Мартыненко, В. Б., Баишева, Э. З., Бикваев, И. Г. (2018). Динамика растительности на вырубках южно-уральского региона: основные итоги исследований Уфимской геоботанической школы. *Фиторазнообразие Восточной Европы*, 12 (3), С. 17-30. [Shirokikh, P.S., Martynenko, V.B., Baisheva, E.Z., & Bikvaev, I.G. (2018). Dynamics of vegetation in clear-cut areas of the South Ural region: the main results of research of the Ufa geobotanical school. *Phyto-diversity of Eastern Europe*, 12 (3), 17-30 (in Russian)] <https://doi.org/10.24411/2072-8816-2018-10023>
- Шкудор, В. Д. (2006). Динаміка рослинного різноманіття після суцільних рубок головного користування у вологих суборах Західного Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 109, 97-103 [Shkudor, V.D. (2006). Dynamics of plant diversity after continuous felling of the main use in wetlands of Western Polissya. *Forestry & Forest Melioration*, 109, 97-103 (in Ukrainian)].
- Alexe, A. (2008). Oak abnormal mortality: a system analysis and the causes of this phenomenon. *Revista Padurilor*, 101 (1), 19-23.
- Česonienė, L., Daubaras, R., Kaskonas, P., Kaskonienė, V., Maruska, A. S., Tiso, N. & Zych, M. (2018). Initial impact of clear-cut logging on dynamics of understory vascular plants and pollinators in Scots pine-dominated forests in Lithuania. *Turkish Journal of Agriculture and Forestry*, 42 (6), 433-443. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/tbtkagriculture/issue/40993/495427>

- Gilliam, F.S. (2007). The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems. *BioScience*, 57 (10), 845-856. Retrieved from <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/1381174>
- Hart, S.A., & Chen, H.Y.H. (2008). Fire, logging, and overstory affect understory abundance, diversity, and composition in boreal forest. *Ecological Monographs*, 78 (1), 123-140. Retrieved from <https://pubag.nal.usda.gov/catalog/2074734>
- Keenan, R.J., & Kimmins, J.P. (1993). The ecological effects of clear-cutting. *Environmental Review*, 1, 121-144.
- Tonteri, T., Salemaa, M., Rautio, P., Halikainen, V., Korpela, L. & Merila, P. (2016). Forest management regulates temporal change in the cover of boreal plant species. *Forest Ecology and Management*, 381, 115-124 <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2016.09.015>
- Uotila, A. (2004). Vegetation patterns in managed and semi-natural boreal forests in eastern Finland and Russian Karelia. *Academic dissertation*. Faculty of Forestry, University of Joensuu. Retrieved from <http://openlibrary.org/b/ISBN%20952-458-470-0>.
- Vanha-Majamaa, I., Shorohova, E., Kushenevskaya, N., & Jalonen, J. (2017). Resilience of understory vegetation after variable retention felling in boreal Norway spruce forests – A ten-year perspective. *Forest Ecology and Management*, 393, 12-28. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.02.040>

Vegetation succession after clearcutting in oak forest stands in the conditions of the Western and Central Polissya of Ukraine

I. Ivanyuk¹, Y. Fuchylo²

In modern conditions, when clear-cut main felling prevails in the forestry practices in Ukraine, studies of restorative successions of vegetation at all age stages of growth and development of plantations should become the scientific basis for the development of effective measures for sustainable forest management.

The studies on the renewal of common oak plantations after clear cutting in fresh and damp loams of the Western and Central Polissya of Ukraine showed that during the first three years dynamic variegated

plant groups with remnants of forest species and a significant participation of light-loving ruderal and meadow species are formed on cutting areas. Taking into account the predominance of clearcutting method of final felling in Ukraine, the study of regenerative successions in subsequent growth periods should become a scientific basis for the development of measures for sustainable forestry. Summarizing the results of research on the reproduction of oak stands after clear cutting it was found that within 1-3 years on the cutting areas dynamic, variegated plant communities formed with remnants of forest species and a significant participation of light-loving ruderal and meadow species. The main limiting factor in the restoration of phytodiversity at this stage is the absence of crowns at the stand. After the closure of the crowns (approximately at the age of 10), the floristic composition and coenotic structure of phytocenoses are almost restored, and elements of the synusial structure appear in 20-year-old coenoses. Beginning from the age of 40, plant species included in the Red Book of Ukraine have been restored in the forest cultures of common oak. In particular – *Lilium martagon* L., and from the age of 60 – *Epipactis helleborine* L. and *Neottia nidus-avis* (L.) Rich. In the future, there is a complete restoration of both the floristic composition and the cenotic structure of phytocenoses.

The similarity of the floristic composition of the herb-dwarf shrub layer of 120-year-old oak stands with 1-10-year-old plant groups is low (Sørensen-Chekanovsky index from 0.27 to 0.44). On the other hand, a high species similarity of the floristic composition of the herb-dwarf shrub layer of 40-year-old oak crops with all age categories was observed. The values of the species similarity index were: 0.72 – at the age of 10 years, 0.79 – at the age of 20, 0.73 – at the age of 60, 0.85 – at 80 years old and 0.79 – at 100 years old.

In subclimax 120-year-old phytocenoses, the herb-dwarf shrub layer consisted mainly of forest species – by 88.0%, as an admixture there were meadow (8.0% of the species composition) and bog (4.0%) species. After clear felling and the creation of forest plantations in 1-year-old groupings, the share of forest species was 32.9%, light-loving meadow and ruderal species – 25.7% each, and forest species – 8.9%. In 20-year-old cenoses, there is a general tendency towards an increase in the share of forest species in the grass-dwarf shrub layer from 66.0% at 10 years of age to 77.5% at 20 years of age and a decrease in the participation of species of other ecological-cenotic groups. From the age of 40, ruderal species disappear from the floristic composition of the herb-dwarf shrub layer of forest stand, and starting from the age of 60, the participation in the floristic composition of all ecological-cenotic groups stabilizes. In particular, the share of forest species is at the level of 85-89%.

The herbaceous-shrub layer of groups of all age categories is dominated by herbaceous perennials, their

¹ Ihor Ivanyuk – Ph.D in Agricultural Sciences, Docent, Director of the Malyn Forestry College, Representative of the Collective Member of the Forest Academy of Sciences of Ukraine, 11643, v. Hamarnya, Malyn district, Zhytomyr region, Ukraine. Tel. +38-041-336-85-13. E-mail: mltk-1927@ukr.net ORCID: 0000-0002-4969-8783

² Yaroslav Fuchylo – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry and Forest Protection of Malyn Forestry College, Chief Scientist. Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 03141, Clinical str., 25, Kyiv city, Ukraine. Tel.: +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

participation is maximum in maternal, 120-year-old, phytocenoses – 96,0%.

Key words: *Quercus robur* L.; tree stand; fresh loam; wet loam; cutting areas; age stages; herb-dwarf shrub layer; floristic composition; phytodiversity; coenotic structure of phytocenosis

Сукцессия растительности вырубок после проведения сплошных рубок дубовых насаждений в условиях Западного и Центрального Полесья Украины

И.Д. Иванюк¹, Я.Д. Фучило²

Исследования по возобновлению насаждений *Quercus robur* L. после сплошных рубок в условиях свежих и влажных сугрудов показали, что в течение первых трех лет на вырубках формируются динамические растительные группировки с остатками лесных и значительным участием светолюбивых рудеральных и луговых видов. На этом этапе главным лимитирующим фактором восстановления фиторазнообразия, характерного для насаждений с преобладанием дуба черешчатого, является отсутствие верхнего древесного яруса.

После смыкания крон деревьев (ориентировочно в 10-летнем возрасте) флористический состав и ценоотическое строение фитоценозов почти восста-

навливается, а элементы синузидального строения появляются в 20-летних ценозах. В дальнейшем происходит полное восстановление как флористического состава, так и ценоотического строения фитоценозов.

Сходство флористического состава травяно-кустарничкового яруса 120-летних дубовых насаждений с 1-10-летними растительными группировками очень низкое (индекс Серенсена-Чекановского от 0,27 до 0,44). Зато установлено высокое видовое сходство флористического состава травяно-кустарничкового яруса 40-летних культур дуба со всеми возрастными категориями. Величины индекса видового сходства составили: 0,72 – в возрасте 10 лет, 0,79 – в 20 лет, 0,73 – в 60 лет, 0,85 – в 80 лет и 0,79 – в 100 лет.

В субклимаксовых 120-летних фитоценозах травяно-кустарничковый ярус состоял преимущественно из лесных видов (на 88,0%); как примесь попадались луговые (8,0% видового состава) и болотные (4,0%) виды. После сплошной рубки и создания лесных культур в 1-летних группировках участие лесных видов составило 32,9%, светолюбивых луговых и рудеральных видов – по 25,7, опушечных – 8,9%. В 20-летних ценозах сохраняется общая тенденция к увеличению в травяно-кустарничковом ярусе участия лесных видов: от 66,0% в 10-летнем до 77,5% в 20-летнем возрасте и уменьшению участия видов других эколого-ценоотических групп.

С 40-летнего возраста из флористического состава травяно-кустарничкового яруса лесных культур исчезают рудеральные виды, а, начиная с 60-летнего возраста, участие в флористическом составе всех эколого-ценоотических групп стабилизируется. В частности, участие лесных видов устанавливается на уровне 85-89%.

В травяно-кустарничковом ярусе дубовых насаждений всех возрастов преобладают травяные многолетники, их участие является максимальным в материнских 120-летних фитоценозах (96,0%).

Ключевые слова: *Quercus robur* L.; древостой; свежие сугруды; влажные сугруды; лесосеки; возрастные этапы; травяно-кустарничковый ярус; флористический состав; фиторазнообразие; ценоотическое строение фитоценоза.

¹ Иванюк Игорь Дмитриевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент, директор Малинского лесотехнического колледжа, представитель Коллективного члена ЛАН Украины. 11643, с. Гамарня Малинского района Житомирской области, Украина. Тел. +38-041-336-85-13. E-mail: mltk-1927@ukr.net ORCID: 0000-0002-4969-8783

² Фучило Ярослав Дмитриевич – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедры лесоводства и защиты леса Малинского лесотехнического колледжа. Главный научный сотрудник Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03141, Украина. Тел. +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-2669-5176



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412025>
Article received 2020.08.18
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Yukhnovskyi
yukhnov@ukr.net

General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine

УДК 630*164.3:582.475.2(23)

Особливості корененаселеності ґрунту в ялинових лісостанах у зоні гірської туристичної мережі

В.Ю. Юхновський¹, Ю.С. Іваненко², Г.О. Лобченко³

Встановлено особливості корененаселеності ґрунту в ялинових лісостанах в умовах рекреаційного навантаження у зоні туристичних маршрутів Карпатського національного природного парку. На 13 пробних площах, закладених у чистих і за невеликої участі бука лісового середньовікових і пристигаючих насадженнях, відібрано 136 зразків кореневмісного шару ґрунту на глибині 0-10, 10-20, 20-30 і 30-40 см, з яких виокремлено корені ялини європейської з розподілом їх на провідні і фізіологічно активні, обчислено об'єми і площі поверхні цих коренів. Встановлено статистичні зв'язки між висотою над рівнем моря та об'ємом фракції фізіологічно активних і провідних коренів, коефіцієнти кореляції яких становлять 0,78 і 0,47 відповідно. Розподіл коренів ялини європейської, залежно від глибини залягання материнської породи, показав, що у верхніх мінеральних шарах ґрунту за об'ємом переважає фракція провідного коріння. В деяких випадках його об'єм зростає з глибиною, що впливає на щільність поширення провідного коріння. За площею поверхні переважають фізіологічно активні корені на глибині 0-20 см, у той час, як на глибині 20-30 см спостережено перевагу провідного коріння. У ґрунтах із дещо потужнішими профілями у верхніх шарах (0-20 см) та на глибині 30-40 см переважає фракція провідних коренів, але на глибині 20-30 см ця тенденція змінюється на користь фізіологічно активних. Основна частка коренів знаходиться у верхньому мінеральному шарі ґрунту на глибині до 10 см, що й визначає їхню високу чутливість до рекреаційних навантажень у гірських умовах. У цьому горизонті ґрунту частка провідних і фізіологічних коренів від загального об'єму кожної фракції становить 67,5 і 75,3%, а в місцях із виходами гірських порід – 72,7 і 87,5% відповідно.

Ключові слова: Карпатський національний природний парк; ялина європейська; кореневі системи; провідні корені; фізіологічно активні корені.

Вступ. Вступаючи в нову епоху антропоцену, з'являються якісно нові виклики щодо збереження довкілля. Діяльність людини та її вплив на природні екосистеми характеризується докорінною зміною останніх. Ліс і всі його компоненти реагують на зміни навколишнього природного середо-

вища, намагаючись пристосуватись до змін клімату та впливу людини. Проте механізм пластичності лісових екосистем не завжди може адекватно реагувати на такого роду навантаження. Починаючи з XIX ст., особливо активно розвивається промисловість, а з нею й емісія вуглецю в атмосферу, що сут-

¹ 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>

² Іваненко Юрій Сергійович – аспірант кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ Лобченко Ганна Олександрівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри відтворення лісів та лісових меліорацій. Національний університет біоресурсів і природокористування України, вул. Генерала Родимцева, 19, м. Київ, 03041, Україна. Тел.: +38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>

тево впливає на процес глобального потепління в останні десятиліття. Відбувається помітне зростання інтенсивності екстремальних природних явищ (шторми, посухи, інтенсивні опади).

Поряд з цим, ліси продукують багато екосистемних послуг, які здатні пом'якшити вплив потепління. Зокрема, гірські екосистеми відіграють особливу роль у збереженні довкілля та середовища для рідкісних тварин, рослин і мікроорганізмів, тому такі території і відносять до об'єктів природно-заповідного фонду. Одним із таких об'єктів є Карпатський національний природний парк (Карпатський НПП), лісові екосистеми якого складають в основному ялина європейська, бук лісовий, ялиця біла, сосна гірська (Кравчинський, Мотрук, Стефурак, 2018). Лісостани за участю цих видів знаходяться під безпосереднім впливом як рекреаційного навантаження (парк має розгалужену мережу еколого-пізнавальних маршрутів), так і під впливом змін клімату (Крамарець, Мацяк, 2018). Наприклад, ялина європейська формує поверхневу кореневу систему, є досить зимостійким та тіневитривалим деревним видом, проте досить чутлива до пізніх весняних приморозків (Іванюк, Фучило, 2020). Поряд з цим, ялина є досить вимогливою до вмісту вологи в повітрі та ґрунті.

Особливо чутливими до впливу клімату є чисті ялинові насадження (Дебринюк, 2011). За наявності вологи, підвищення температури повітря сприяє активізації кореневої губки у лісовій підстилці. Своєю чергою, збільшення тривалості вегетаційного періоду сприяє поширенню і розвитку осередків розмноження короїдів та інших стовбурових шкідників, що створює передумови для всихання ялинових лісостанів у гірських екосистемах (Лавний, Пелюх, 2019). До вищезазначених чинників додається і зелений туризм, популярність якого зростає з кожним роком. За концентрованого рекреаційного навантаження спостерігається негативний вплив на живе надґрунтове вкриття, особливо вздовж туристичних маршрутів.

Окрім рекреаційної дигресії, активізуються ерозійні процеси, змиваються верхні шари ґрунту, в яких безпосередньо знаходиться коренева система ялини (Брусак, Малець, 2018). Тому дослідження розповсюдження коренів ялини європейської в гірських екосистемах є важливим аспектом з погляду здійснення екологічної оцінки стану насаджень. Вивчення корененаселеності ґрунту під ялиновими деревостанами дає змогу з'ясувати вплив різних чинників на фракції коренів з метою розробки рекомендацій стосовно запровадження реконструктивних і фітомеліоративних заходів щодо відновлення стану насаджень уздовж екологічних стежок та їх адаптації до впливу кліматичних чинників. У гірських умовах потужність ґрунтових горизонтів незначна, що зумовлено особливостями рельєфу та близьким заляганням материнської породи (не враховуючи плато та деякі річкові долини). У таких умовах ялинові лісостани є дуже чутливими до негативного рекреаційного впливу та нестачі вологи в ґрунті.

Потрібно зазначити, що, окрім постачання, транспортування та нагромадження поживних речовин, самі кореневі системи, а саме, якірні корені, виконують важливу функцію утримання надземної частини дерева у вертикальному положенні та визначають стійкість дерев до впливу вітру. З меліоративного погляду, дослідження стану і розповсюдження коренів під ялиниками дає змогу систематизувати знання про їхню ґрунтоскріплювальну функцію у насадженнях, що є особливо актуальним для гірської місцевості.

Кореневі системи є основним протиерозійним елементом лісового фітоценозу на схилі землях, де провідні (скелетні) корені забезпечують закріплення дерев у вертикальному положенні, а фізіологічно активні – забезпечують скріплення самого ґрунту, приймаючи участь у формуванні водотривких агрегатів, поліпшення водопроникності ґрунтів та активізації ґрунтовірних процесів (Калінін, Гузь, Дебринюк, 1998).

Моделі поширення корневих систем відіграють важливе значення в оцінці механічної стабільності надземної частини дерева та всього насадження. Особливо це стосується деревних видів, що мають поверхневу кореневу систему, до яких відноситься ялина європейська. Насадження ялини, особливо чисті за складом, що ростуть на багатих ґрунтах, дуже чутливі до негативного впливу вітру через особливості поширення їх корневих систем. Проте мішані насадження ялини з буком мають кращу стійкість до вітру. Це пов'язано із особливостями поширення коріння бука, яке, розпушуючи ґрунт, дає можливість проникати кореням ялини на більшу глибину (Калінін, 1983).

Тип ґрунту також безпосередньо впливає на кількість кореневої біомаси, а також на її просторе розташування у розрізі ґрунтового профілю. Проте у мішаних ялино-букових насадженнях відбувається пригнічення як фізіологічно активних, так і провідних коренів ялини європейської буком лісовим (Schmid, 2002).

За даними ВО «Укрдержліспроект», станом на 1.01.2019 р. у межах природного ареалу (гірські ліси Карпат) площа лісостанів за перевагою ялини становить 414480,9 га із загальним запасом стовбурової деревини 149298,9 тис. м³. Запас самої стовбурової деревини ялини тут становить 126508,04 тис. м³. Чисті ялиники в Українських Карпатах займають площу 164611,1 га, де вони нагромаджують 68465,2 тис. м³ стовбурової деревини.

Об'єкти та методика дослідження. Об'єкт дослідження – чисті та мішані лісові насадження із перевагою *Picea abies* [L.] Karst. у межах туристичної мережі Карпатського НПП та ДП «Гринявське ЛГ». Предмет дослідження – закономірності розподілу провідних і фізіологічно активних коренів ялини у ґрунтових горизонтах як протиерозійний чинник в умовах рекреаційного навантаження.

Мета дослідження полягала у встановленні співвідношення об'єму та площі поверхні для провідних і фізіологічно активних коренів ялини, як

передумови протиерозійної стійкості ялинових фітоценозів в умовах рекреаційного навантаження.

Дослідження здійснювали в межах стежкової мережі трьох туристичних маршрутів – еколого-пізнавальних стежок «На гору Піп Іван» (Карпатський НПП), «с. Зелене – Угорські скелі» (ДП «Гринявське ЛГ») та «с. Зелене – г. Шкорушний» (Карпатський НПП). Досліджувані насадження вздовж цих маршрутів сформувалися на бурих гірсько-лісових та гірсько-підзолистих ґрунтах, ростуть на висотах від 1030 до 1510 м н.р.м. та на відстані від туристичних стежок до 100 м.

Для визначення лісівничо-таксаційних показників деревних видів у насадженнях закладено 13 кругових та напівкругових тимчасових пробних площ (ТПП) за загальноприйнятою у лісовій таксації і лісовпорядкуванні методикою (Лісотаксаційний до-

відник, 2013). Досліджувані насадження переважно чисті за складом, рідше – мішані із перевагою *Picea adies* та участю 1-2 од. у складі *Fagus sylvatica* L. або одиничних екземплярів роду *Salix* L. За віковою структурою переважають середньовікові і пристигаючі лісостани (табл. 1).

Існують різні методики оцінювання і встановлення корененаселеності ґрунту. Для оцінювання розташування провідних і фізіологічно активних коренів в окремих випадках використовують георадар, який дає змогу встановити поширення коріння у горизонтальному та вертикальному напрямках без фізичного втручання в кореневі системи. Перевагою цієї методики є можливість зберегти кореневу систему цілісною та здійснювати повторне оцінювання стану коренів у поверхневому шарі ґрунту (Borden, Thomas, & Isaac, 2016).

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика ялинових фітоценозів

№ ТПП	Висота над рівнем моря, м	Стрімкість схилу, град.	Експозиція схилу	Вік, років	Склад насадження	Бонітет	Висота, м	Діаметр, см
Туристичний маршрут «с. Зелене – г. Шкорушний»								
1	1385	23	Пд-Зх	66	10Ялє	I ^b	28,0	34,9
2	1317	15	Пд-Сх	65	10Ялє	I	24,0	28,1
Туристичний маршрут «Еколого-пізнавальна стежка «На гору Піп Іван»								
3	1260	11	Сх	50	10Ялє	I ^b	24,0	22,7
4	1510	13	Пн-Сх	59	10Ялє	III	16,9	23,3
5	1030	18	Пд	58	10Ялє	I ^b	29,3	31,5
6	1040	19	Пд-Сх	63	10Ялє	I ^c	32,3	31,8
7	1070	9	Пд-Зх	79	10Ялє	I ^a	30,4	32,3
8	1070	8	Пд-Сх	75	9Ялє1Бк	I ^b	31,7	35,5
9	1280	4	Пд	50	10Ялє + Врб	I ^a	22,0	20,5
10	1305	21	Пд	34	10Ялє	I ^c	19,9	24,4
Туристичний маршрут «с. Зелене – Угорські скелі»								
11	1040	8	Пн-Сх	62	9Ялє1Бк	I ^a	24,9	26,7
12	1090	< 2	Пн-Сх	67	9Ялє1Бк	I ^a	26,4	28,3
13	1095	< 2	Пд-Зх	48	8Ялє2Бк	I ^b	25,4	32,4

Фізіологічно активні корені є одним із найвагоміших компонентів підземної частини дерева. Ці корені характеризуються високою пластичністю, чутливо реагуючи на зміни в ґрунті та постачання води і поживних речовин (Püttsepp, Löhmus, Persson, & Ahlström, 2006). У насадженнях на кожній тимчасовій пробній площі за показником середнього діаметра вибирали модельне дерево, поблизу якого на відстані 0,5-1 м спеціальним буром відби-

рали зразки кореневмісного шару ґрунту на глибини 0-10, 10-20, 20-30 і 30-40 см у взаємно перпендикулярних напрямках (рис. 1). У загальному підсумку відібрано 136 зразків.

Зі зразків кореневмісного шару ґрунту виокремлено корені ялини європейської та розділено на дві фракції: провідне (діаметром > 2 мм) і фізіологічно активне (діаметром < 2 мм). Діаметри коренів вимірювали мікрометром та встановлювали серед-

не значення показника діаметра для кожної фракції. Об'єм відібраного коріння визначали ксиліметричним методом. Площі поверхні кореневої системи за фракціями розраховували за методами і методиками вивчення корневих систем деревних рослин (Калинин, 1983; Дебринюк, 1990; Калінін, Гузь, Дебринюк, 1998; Маурер та ін., 2019).



Рис. 1. Фрагмент відбору зразків кореневмісного шару ґрунту та їх опрацювання на пробній площі № 9 (N 48° 00.961', E 024° 39.636') на території Карпатського НПП. Склад насадження – 10Яле, вік – 50 років

Результати та обговорення. Кореляційний аналіз орографічних показників та об'ємів коренів за фракціями вказує, що існує статистично значущий зв'язок між висотою над рівнем моря та об'ємом фракції фізіологічних коренів, однак для фракції провідних коренів такий зв'язок слабший. Також встановлено незначний статистичний зв'язок між стрімкістю схилів та об'ємами коренів у відібраних зразках кореневмісного шару ґрунту (табл. 2).

Функціональний тип рослин і клімат є найсильнішими предикторами мінливості будови корневих систем, і як наслідок – корененаселеності ґрунту, особливо фракції фізіологічно активних коренів (Freschet et al., 2017). У цьому аспекті методи оцінювання поширення корневих систем та розробки методики відбору зразків активно розвивались в ХХ ст. (Schuurman & Goedewaagen, 1971). Міжвидове порівняння корневих систем хвойних і широколистяних деревних видів на прикладі псевдотсуги Мензіса та бука лісового в гірських екосистемах Болгарії показало більшу відмінність у поширенні коренів за ґрунтовими горизонтами, ніж у динаміці росту фізіологічних коренів впродовж року. Так, наприклад, маса коренів завтовшки <10 мм в діаметрі на глибині 0-45 см була значно вищою у бука, порівняно з дугласією. Корені хвойної породи знаходились переважно у верхньому мінеральному шарі ґрунту. Їхня кількість дуже різко зменшувалась з глибиною на відміну від коренів бука, де поширення коренів у глибину було рівномірнішим (Lozanova et al., 2019).

Таблиця 2
Кореляційна матриця орографічних показників і об'єму коренів

Показники	Висота над рівнем моря, м	Стрімкість схилу, град.	Об'єм провідних коренів, мл	Об'єм фізіологічно активних коренів, мл
Висота над рівнем моря, м	1,00			
Стрімкість схилу, град.	0,33	1,00		
Об'єм провідних коренів, мл	0,47	-0,19	1,00	
Об'єм фізіологічно активних коренів, мл	0,78	0,07	0,73	1,00

Однак, для досліджених ялинових насаджень, за даними кореляційної матриці (табл. 3) наявність у складі кількох одиниць бука не має зв'язку із розподілом фракцій коренів. Відсутній також статистично значущий зв'язок між показниками об'єму й площі поверхні коренів та віком. У той же час встановлено зв'язок між середньою висотою деревостану, абсолютною повнотою та запасом.

Як відомо, основну роль у поглинанні поживних речовин підземною частиною дерева відіграє фізіологічно активне коріння. Спостерігається природна конкуренція між корневими системами як у чистих, так і в мішаних насадженнях. Щільніше переплітання корневих систем спостерігається на багатих на поживні речовини ґрунтах. Проте існує думка, що висока щільність корененаселеності ґрунту зумовлена лімітом води та обмеженістю доступу коренів до поживних речовин. Пластичність фізіологічних коренів, його біомаса та щільність розташування вказують на рівень здатності до конкуренції за середовище існування (Schmid & Kazda, 2002).

Важливим показником залучення коренів до підвищення протиерозійної стійкості території є їхній об'єм і площа поверхні, що взаємодіє із ґрунтовим середовищем, які узагальнено на графіках у розрізі глибини відбору зразків кореневмісного шару ґрунту (рис. 2, 3).

Вертикальний розподіл корневих систем деревних порід визначає їхній потенціал щодо абсорбування поживних речовин із різних ґрунтових горизонтів. Здатність коренів різних фракцій проникати в різні горизонти у пошуках поживних речовин є одним із ключових чинників, що визначають ріст і продуктивність надземної частини деревних

видів (Li et al., 2020). Фізіологічно активне коріння підліску та його розповсюдження безпосередньо впливає на продуктивність всієї екосистеми (Finér, Ohashi, Noguchi, & Hirano, 2011). Фізичні властивості ґрунтів, наявність води та поживних речовин визначають стратегію екологічного розвитку рос-

лин (Ding et al., 2020). Тобто, дерева з поверхневим розповсюдженням кореневих систем в умовах недостатнього вмісту вологи у верхніх шарах ґрунту можуть поширювати своє коріння на більшу глибину (Freschet, Violle, Bourget, Scherer-Lorenzen, & Fort, 2018).

Таблиця 3

Кореляційна матриця таксаційних показників і коренів

Показники	A, років	Склад	H, м	D, см	G, м ² ·га ⁻¹	M, м ³ ·га ⁻¹	V _{пр.} , мл	V _{фз.} , мл	S _{пр.} , мл	S _{фз.} , мл
A, років	1,00									
Склад насадження	-0,02	1,00								
H _{сер.} , м	0,64	-0,14	1,00							
D _{сер.} , см	0,59	-0,32	0,81	1,00						
G, м ² ·га ⁻¹	0,38	-0,28	0,35	0,14	1,00					
M, м ³ ·га ⁻¹	0,48	-0,13	0,61	0,15	0,59	1,00				
V _{пр.}	-0,05	-0,12	-0,66	-0,40	-0,35	-0,46	1,00			
V _{фз.}	-0,02	0,18	-0,60	-0,29	-0,40	-0,66	0,73	1,00		
S _{пр.}	-0,10	0,02	-0,60	-0,21	-0,54	-0,68	0,82	0,78	1,00	
S _{фз.}	-0,01	0,14	-0,52	-0,16	-0,42	-0,65	0,61	0,94	0,70	1,00

Примітки. A – вік деревостану, H – середня висота деревостану, D – середній діаметр деревостану, G – абсолютна повнота, M – запас, V_{пр.} – об'єм провідних коренів; V_{фз.} – об'єм фізіологічно активних коренів, S_{пр.} – площа поверхні провідних коренів, S_{фз.} – площа поверхні фізіологічно активних коренів

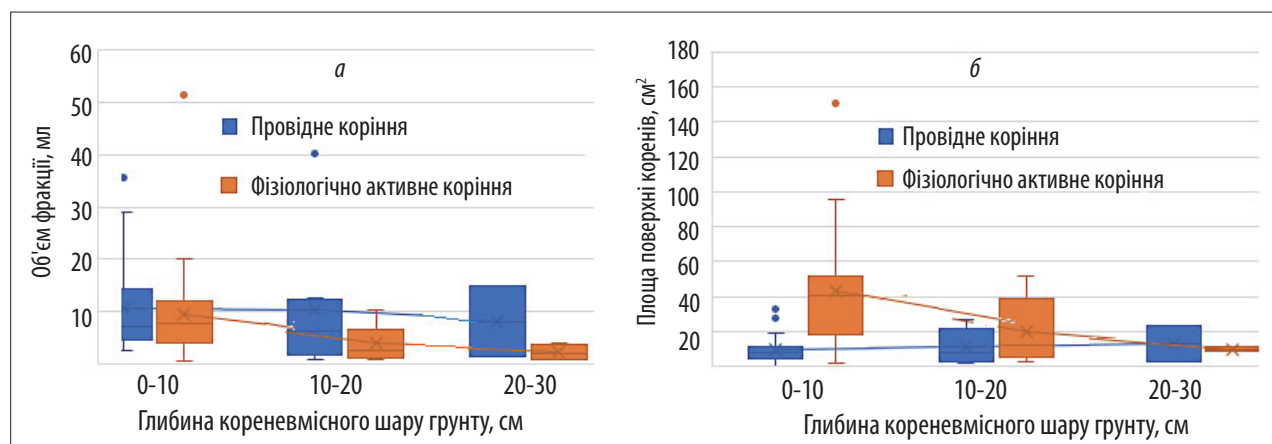


Рис. 2. Поширення фракцій коренів ялини європейської за умов близького залягання материнської породи: а) за об'ємами фракцій, мл; б) за площею поверхні, см²

Враховуючи, що на розподіл кореневих систем ялини європейської у лісових фітоценозах впливає глибина залягання материнської породи, тимчасові пробні площі поділено на дві категорії: 1) із заляганням материнської породи на глибині до 30 см (ТПП № 1, 4, 5, 6, 7, 8, 10); 2) із заляганням материнської породи на глибині понад 30 см (ТПП №2, 3, 9, 11, 10, 13).

Висота над рівнем моря для тимчасових пробних площ першої категорії змінюється від 1040 до

1510 м. Насадження представлені переважно чистими ялиновими деревостанами. Квантили коробкових графіків (див. рис. 2) містять в собі дані про значення медіани, середньоарифметичної вибірки на різних глибинах. Вуса діаграм вказують на найнижче та найвище значення даних у межах 1,5 IQR (міжквартильного інтервалу) вище верхнього та нижнього квантилів. У верхніх мінеральних шарах ґрунту за об'ємом переважає фракція провідних коренів, наявність якої з глибиною, в цьому конкрет-

ному випадку, збільшується, тобто зростає щільність населеності корінням ґрунту. За площами поверхні переважають фізіологічно активні корені на глибині 0-20 см, у той час, як на глибині 20-30 см спостережено перевагу провідних коренів. Загалом варто зазначити, що розподіл об'єму коренів з глибиною не є пропорційним розподілу площі їхньої поверхні.

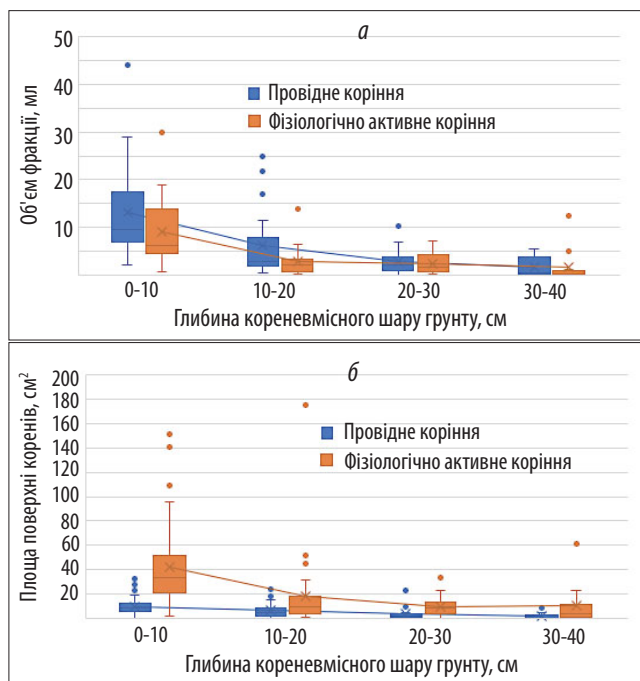


Рис. 3. Поширення фракцій коренів ялини європейської за умов залягання материнської породи на глибині понад 30 см: а) за об'ємами фракцій, мл; б) за площею поверхні, см²

Для іншої категорії насаджень з потужнішим ґрунтовим профілем відбір зразків на глибину понад 40 см не здійснювали, що пов'язано з морфологічними особливостями кореневої системи ялини. За об'ємом у верхніх шарах (0-20 см) та на глибині 30-40 см переважає фракція провідних коренів, хоча на глибині 20-30 см ця тенденція зміню-

ється на користь фізіологічно активних коренів, що й ілюструє рис. 3.

Зворотну тенденцію спостережено для показника площі поверхонь фракцій коренів на відповідних ТПП. Перевага фізіологічно активних коренів представлена на всіх зазначених глибинах кореневмісного шару ґрунту. Незважаючи на відсутність пропорційності між об'ємами та площами коренів, спостережено тенденцію до зменшення об'єму і площі поверхні коренів із збільшенням глибини.

Для обох виокремлених категорій об'єктів дослідження присутні викиди, які знаходяться поза межами міжквартильного інтервалу 1,5 IQR, що є характерним як для об'ємів коренів, так і для їхніх площ. Варто зазначити, що статистичні викиди серед зразків, які були відібрані з глибини 0-40 см, трапляються частіше і можуть бути зумовлені помилками у вимірюванні або ж пояснюватись умовами об'єкту досліджень. Так, для досліджуваних насаджень характерною є висока повнота, що безпосередньо впливає на щільність переплітання кореневих систем двох і більше рослин одного виду, що, своєю чергою, призводить до неможливості виокремлення коренів одного екземпляру ялини від іншого. З іншого боку, складність рельєфу та наявність кам'янистих включень і виступів материнської породи у різних горизонтах також має безпосередній вплив на розподіл та кількість коренів у товщі ґрунту. Враховуючи поверхневий характер кореневих систем, ялина намагається зайняти максимально вигідну «нішу» в ґрунтовому середовищі, враховуючи при цьому виступи материнської породи та корені інших рослин.

Також встановлено, що основна маса коренів, не прив'язуючись до потужності ґрунтового профілю, знаходиться у верхніх мінеральних шарах на глибині до 10 см (табл. 4). Така особливість зумовлена сприятливими фізико-хімічними властивостями, що забезпечують необхідний ступінь аерації та зволоження від атмосферних опадів і наявністю легкодоступних для рослинного організму поживних речовин (Маурер та ін., 2019).

Таблиця 4

Поширення коренів ялини європейської у верхньому шарі ґрунту

Номер ТПП	Об'єм провідних коренів у 10-см шарі ґрунту, мл	Загальний об'єм провідних коренів, мл	Частка провідних коренів у 10-см шарі ґрунту, %	Об'єм фізіологічно активних коренів у 10-см шарі ґрунту, мл	Загальний об'єм фізіологічно активних коренів, мл	Частка фізіологічно активних коренів у 10-см шарі ґрунту, %
1	2	3	4	5	6	7
1	36,4	61,7	59,0	54,0	72,8	74,2
2	36,65	85,9	42,7	65,8	118,7	55,5
3	31,2	57,5	54,3	26,05	65,9	39,6
4	192,68	192,7	100,0	158,2	160,2	98,8
5	24,0	24,0	100,0	20,8	20,8	100,0

Продовж. табл. 4

1	2	3	4	5	6	7
6	45,9	45,9	100,0	27,8	27,8	100,0
7	25,7	65,8	39,1	42,0	44,7	94,0
8	12,6	25,3	49,8	16,0	26,2	61,1
9	34,4	62,1	55,4	24,5	46,4	52,8
10	32,2	52,8	61,0	26,4	31,2	84,6
11	104,2	133,4	78,1	22,7	32,0	70,9
12	59,9	68,2	87,8	23,8	33,5	71,0
13	48,0	94,7	50,7	53,1	69,9	76,0

У середньому, на досліджуваних ділянках у верхньому 10-сантиметровому шарі ґрунту частка провідних коренів за об'ємом становить 67,5% від загального об'єму коренів фракції, а для фізіологічно активних коренів – відповідно 75,3%. Якщо взяти до уваги зразки із пробних площ, де поширення кореневих систем обмежене близьким заляганням гірської породи, то для таких насаджень частка у 10-сантиметровому кореневмісному шарі для провідних коренів становить 72,7, а фізіологічно активних – 87,5%.

Висновки. Встановлено тісний і середній зв'язок між гіпсометричною висотою та об'ємом фракції фізіологічно активних і провідних коренів, коефіцієнти кореляції яких становлять 0,78 і 0,47 відповідно.

Статистичний зв'язок показників розподілу коренів встановлено для середньої висоти деревостану, абсолютної повноти та запасу, а між віком та складом насадження статистично значущого зв'язку не виявлено.

На об'єктах природо-заповідного фонду основна частка коренів знаходиться у верхньому мінеральному шарі ґрунту на глибині до 10 см. Таке мілке розташування коренів зумовлює дуже високу чутливість ялини до рекреаційних навантажень у гірських умовах. Неглибоке розміщення коренів зумовлене сприятливими фізико-хімічними властивостями верхнього шару ґрунту, що забезпечує необхідний ступінь аерації та зволоження від атмосферних опадів і наявність легкодоступних для деревної рослини поживних речовин.

З цього погляду, особливу увагу щодо біотичної стійкості необхідно приділяти ялиновим лісостанам, що ростуть в умовах близького залягання материнської породи. Частка об'єму провідних і фізіологічно активних коренів від загального обсягу, в цьому шарі становить 67,5 і 75,3% відповідно, а в місцях із виходами гірських порід – 72,7 і 87,5%.

Список літератури

- Брусак В.П., Малець В.Б. (2018). Рекреаційна дигресія на туристичному маршруті. «На гору Говерла» у Карпатському НПП. *Природні ресурси регіону: проблеми використання, ревіталізації та охорони*: матеріали III міжнарод. наук. семінару, 58-63. м. Львів [Brusak, V.P., & Malets, V.B. (2018). Recreational digression on tourist routes «On Hoverla mount» in Carpathian National Nature Park. In *Natural resources of the region: problems of use, revitalization and protection. Materials of the 3rd scientific seminar*, 58-63. Lviv, Ukraine (in Ukrainian)]
- Дебрінюк, Ю.М. (1990). О коренаселенности почвы в смешанных насаждениях дуба черешчатого и ели обыкновенной. *Лесной журнал*, 6, 13-16. [Debryniuk, Yu. M. (1990). On the root population of the soil in mixed plantations of pedunculate oak and common spruce. *Forest Journal*, 6, 13-16 (in Russian)]
- Дебрінюк Ю.М. (2011). Всихання смерекових лісів: причини та наслідки. *Науковий вісник НЛТУ України «Урбанізаційні процеси в гірських ландшафтах і шляхи їхнього регулювання»*, 21.16, 32-38 [Debryniuk, Yu. M. (2011). Drying of spruce forests: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University: Urbanization processes in mountain landscapes and ways of regulation*, 21 (16), 32-38 (in Ukrainian)]. Retrieved from http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_16/index21_16.htm
- Голубець, М.А. (1978). *Ельники Украинских Карпат*. Киев: Наукова думка [Golubets, M.A. (1978). *Spruce forests of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv: Scientific thought (in Russian)]
- Іванюк І.Д., Фучило Я.Д. (2020). Вплив метеорологічних чинників на радіальний приріст дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудів Полісся України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 57-63. [Ivanyuk, I., & Fuchylo, Y. (2020). Influence of meteorological factors on the radial increase of English oak trees in the fresh and moist fairly fertile forest types conditions of the Ukrainian Polissya. *Proceedings of the Forestry Academy of*

- Sciences of Ukraine*, 20, 57-63 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/412005>
- Калінін, М.І., Гузь, М.М., Дебринюк, Ю.М. (1998). *Лісове коренезнавство*. Львів: Престиж-інформ [Kalinin, M.I., Guz, M.M., & Debryniuk, Yu. M. (1998). *Forest root science*. Lviv: Prestige-inform (in Ukrainian)]
- Калинин, М.И. (1983). *Формирование корневой системы деревьев*. Москва: Лесная промышленность [Kalinin, M.I. (1983). *Formation of the root system of trees*. Moscow: Timber industry (in Russian)]
- Карпатський національний природний парк. [Carpathian National Nature Park (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://cnnp.if.ua/>
- Крамарець В.О., Мацяк І.П. (2018). Роль біотичних чинників у всиханні ялиників Українських Карпат. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 17, 121-132 [Kramarets, V., & Matsiakh, I. (2018). The role of biotic factors in spruce decline in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 17, 121-132 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/411827>
- Кравчинський Р.Л., Мотрук М.В., Стефурак О.М. (2018). Причини послаблення біотичної стійкості ялиників на території Карпатського НПП. *Сьогодення біологічної науки: матеріали міжнарод. наук. конф.*, 22-24. м. Суми [Kravchynskiy, R.L., Motruk, M.V., & Stefurak, O.M. (2018). The reasons for the weakening of the biotic stability of spruce trees in the Carpathian National Park. In *Today's of the biological science*, 22-24. Sumy, Ukraine (in Ukrainian)]
- Лавний В.В., Пелюх О.Р. (2019). Поширення та аналіз стану похідних ялинових деревостанів в Українських Карпатах. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 60-67 [Lavnyi, V., & Pelukh, O. (2019). Distribution and analysis of the state of secondary spruce stands in the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 60-67 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/411927>
- Лісотаксаційний довідник (2013). Затвердж. Держ. агентством лісових ресурсів України / за ред. С.М. Кашпора, А. А. Строчинського. Київ: Видавничий дім «Вініченко» [Forest Inventory Directory (2013): approved by the State Agency of Forest Resources of Ukraine. In S. Kashpor, A. Storchinskyi (Eds.). Kyiv: Vinichenko Publishing House (in Ukrainian)]
- Маурер В.М., Атаманюк В.Ю., Белеля С.О., Бобошко-Бардин І.М., ... Яцик Р.М. (2019). Відтворення лісів та лісова меліорація в Україні: витоки, сучасний стан, виклики сьогодення та перспективи в умовах антропоцену: монографія. Київ: РВД НУБіП України [Maurer, V., Atamaniuk, V., Belelia, S., Blystiv, V., Boboshko-Bardyn, I., Boiko, O., ... Yatsyk, R. (2019). *Forest restoration and forest melioration in Ukraine: beginning, current state, challenges of the present and prospects in the conditions of the anthropocene*. Kyiv: National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (in Ukrainian)]
- Borden, K.A., Thomas, S.C., & Isaac, M.E. (2016). Interspecific variation of tree root architecture in a temperate agroforestry system characterized using ground-penetrating radar. *Plant and Soil*, 410 (1-2), 323-334. <https://doi.org/10.1007/s11104-016-3015-x>
- Ding, J., Kong, D., Zhang, Z., Cai, Q., Xiao, J., Liu, Q., & Yin, H. (2020) Climate and soil nutrients differentially drive multidimensional fine root traits in ectomycorrhizal-dominated alpine coniferous forests. *Journal of Ecology*, 108 (6), 2544-2556. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13407>
- Finér, L., Ohashi, M., Noguchi, K., & Hirano, Y. (2011) Factors causing variation in fine root biomass in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management*, 261, 265-277. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2010.10.016>
- Freschet, G.T., Valverde-Barrantes, O.J., Tucker, C.M., Craine, J.M., McCormack, M.L., Violle, C., ... Roumet, C. (2017). Climate, soil and plant functional types as drivers of global fine-root trait variation. *Journal of Ecology*, 105 (5), 1182-1196. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12769>
- Freschet, G.T., Violle, C., Bourget, M.Y., Scherer-Lorenzen, M., & Fort, F. (2018) Allocation, morphology, physiology, architecture: the multiple facets of plant above- and below-ground responses to resource stress. *New Phytologist*, 219 (4), 1338-1352. <https://doi.org/10.1111/nph.15225>
- Li, F.L., McCormack, M.L., Liu, X., Hu, H., Feng, D.F., & Bao, W.K. (2020). Vertical fine-root distributions in five subalpine forest types shifts with soil properties across environmental gradients. *Plant and Soil*, 456, (1-2), 1-15. <https://doi.org/10.1007/s11104-020-04706-x>
- Lozanova, L., Zhiyanski, M., Vangelova, E., Doncheva, S., Marinov, M., & Lazarova, S. (2019). Dynamics and Vertical Distribution of Roots in European Beech Forests and Douglas Fir Plantations in Bulgaria. *Forests*, 10 (12), 1123. <https://doi.org/10.3390/f10121123>
- Püttsepp, Ü., Lõhmus, K., Persson, H.Å., & Ahlström, K. (2006). Fine-root distribution and morphology in an acidic Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand in SW Sweden in relation to granulated wood ash application. *Forest Ecology and Management*, 221 (1-3), 291-298. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2005.10.012>
- Schmid, I. (2002). The influence of soil type and interspecific competition on the fine root system of Norway spruce and European beech. *Basic and Applied Ecology*, 3 (4), 339-346. <https://doi.org/10.1078/1439-1791-00116>
- Schmid, I., & Kazda, M. (2002). Root distribution of Norway spruce in monospecific and mixed stands on different soils. *Forest Ecology and Management*, 159 (1-2), 37-47. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(01\)00708-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00708-3)
- Schuurman, J.J., & Goedewaagen, M.A.J. (1971). *Methods for the Examination of Root Systems*

and *Roots*. Wageningen: Centre for Agricultural Publishing and Documentation.

Peculiarities of soil root population in spruce forests in the area of the mountain tourist network

V. Yukhnovskiy¹, Yu. Ivanenko²,
G. Lobchenko³

The role and features of the European spruce root systems structure in the conditions of recreational load in the tourist routes area of the Carpathian National Nature Park (NNP) are described. The aim of the study is to establish the ratio of the volume and surface area that interacts with the soil for conductive and physiologically active roots as a prerequisite for anti-erosion resistance of spruce phytocenoses under recreational load conditions.

To determine the silvicultural and biometric indicators of tree species at the forest stand 13 circular and semicircular temporary trial areas were laid down according to the method which had become well established and commonly used in forest measurement and forest management. The studied plantations are mostly pure in composition, less often mixed with the predominance of European spruce and 1-2 units' participation in the forest composition by beech (*Fagus sylvatica* L.) or single specimens of the genus *Salix* L. The age structure is dominated by medieval and pre-mature stands.

The root systems are the main anti-erosion element of forest phytocenosis on sloping lands, where the leading (skeletal) roots provide consolidation of trees in a vertical position, and physiologically active – provides soil consolidation, participates in the formation of waterproof aggregates, improving soil permeability and activation of soil-forming processes. An important indicator of the roots involvement in

the landscapes erosion resistance increasing is their volume and surface area, which interacts with the soil solution.

The main role in the absorption of nutrients by the underground part of the tree is played by physiologically active roots. There is a natural competition between the root systems in both pure and mixed stands. A denser interweaving of root systems is observed on nutrient-rich soils. However, the high density of root systems is due to the water limit on limited access to nutrients. The plasticity of the physiological root, its biomass and the density of distribution indicate the level of ability to compete for habitat.

136 samples of root-containing soil layer at a depth of 0-10 cm, 10-20, 20-30 and 30-40 cm were taken from the sample areas of stands growing in clean and with a small participation of medieval beech forest and ripening stands, from which the roots of European spruce were isolated from division into conductive and physiologically active roots. Also volumes and surface areas of these roots have been calculated.

Statistical correlations between altitude and the volume of the fraction of physiologically active and conductive roots were established, the correlation coefficients of which are 0.78 and 0.47, respectively. The distribution of the root systems of European spruce depending on the depth of the parent rock showed that in the upper mineral layers of the soil by volume the fraction of the leading root predominates.

In some cases, its volume increases with depth, which affects the density of the conductive root. The surface area of the roots is dominated by physiologically active roots at a depth of 0-20 cm, while at a depth of 20-30 there is a predominance of the leading root. In plantations with stronger soil profiles (over 30 cm) in the upper layers (0-20 cm) and at a depth of 30-40 cm the fraction of the leading root predominates, but at a depth of 20-30 cm this tendency changes in favor of physiologically active roots. The main part of the roots is located in the upper mineral layer of the soil at a depth of up to 10 cm on the objects of nature reserves, which are more sensitive to recreational loads in the mountain conditions. In this soil horizon the share of conducting and physiological roots of the total volume of each fraction is 67.5 and 75.3%, and in places with rock outcrops – 72.7 and 87.5%, respectively.

Key words: Carpathian National Natural Park; European spruce; root systems; conductive roots; physiologically active roots.

¹ *Vasyl Yukhnovskiy* – full Member of the Forest 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, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel. + 38-067-720-32-16. E-mail: yukhnov@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3182-4347>

² *Yurii Ivanenko* – postgraduate student of the Department of forests restoration and forest meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: + 38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ *Ganna Lobchenko* – Candidate of Agricultural Sciences (PhD), Associate Professor of the Department of Forests Restoration and Forest Meliorations. National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, General Rodimtsev str., 19, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: + 38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>

Особенности корненаселенности почвы в еловых древостоях в зоне горной туристической сети

В. Ю. Юхновский¹, Ю. С. Иваненко²,
А. А. Лобченко³

Изучены особенности корненаселенности почвы под насаждениями ели европейской в условиях рекреационной нагрузки в зоне туристических маршрутов Карпатского национального природного парка. На 13 пробных площадях, заложенных в чистых и с небольшим участием бука лесного средневозрастных и приспевающих насаждениях, отобрано 136 образцов в корнеобитаемом слое почвы на глубине 0-10, 10-20, 20-30 и 30-40 см. Из отобранных образцов выделены корни ели

европейской с последующим разделением на проводящие и физиологически активные с последующим вычислением объемов и площадей поверхности этих корней. Установлены статистические связи между высотой над уровнем моря и объемом фракции физиологически активных и проводящих корней, коэффициенты корреляции которых составляют 0,78 и 0,47 соответственно. Распределение корней ели европейской в зависимости от глубины залегания материнской породы показало, что в верхних минеральных слоях почвы по объему преобладает фракция проводящих корней. В некоторых случаях ее объем возрастает с глубиной, что влияет на плотность распространения проводящих корней. По площади поверхности преобладают физиологически активные корни на глубине 0-20 см, в то время, как на глубине 20-30 см наблюдается преобладание проводящих корней. В насаждениях с более мощными грунтовыми профилями (более 30 см) в верхних слоях (0-20 см) и на глубине 30-40 см преобладает фракция проводящих корней, но на глубине 20-30 см эта тенденция меняется в пользу физиологически активных корней.

На объектах природно-заповедного фонда основная часть корней находится в верхнем минеральном слое почвы на глубине до 10 см, вследствие чего ель становится очень чувствительной к рекреационным нагрузкам в горных условиях. В этом горизонте почвы участие проводящих и физиологически активных корней от общего объема каждой фракции составляет 67,5 и 75,3%, а в местах с выходами горных пород – 72,7 и 87,5% соответственно.

Ключевые слова: Карпатский национальный природный парк; ель европейская; корневые системы; проводящие корни; физиологически активные корни.

¹ *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>

² *Иваненко Юрий Сергеевич* – аспирант кафедры воспроизводства лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. Тел. : + 38-063-870-88-10. E-mail: ura1408280594@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3530-9206>

³ *Лобченко Анна Александровна* – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры воспроизводства лесов и лесных мелиораций. Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины, ул. Генерала Родимцева, 19, г. Киев, 03041, Украина. тел. : +38-097-885-30-39. E-mail: lobchenko@nubip.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9281-1107>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412026>
Article received 2020.05.22
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Hryhoriy Krynytskyi
krynytsk@ukr.net

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

УДК [630*174.754:630*176.322.2]:581.148] (477.83)

Динаміка опаду в сосново-букових деревостанах та її зміни за впливу поступових рубок в умовах Львівського Розточчя

В. Й. Яхницький¹, Г. Т. Криницький²

Висвітлено особливості річної динаміки нагромадження опаду, його структурних фракцій (хвоя сосни, листя бука, листя супутніх порід, гілки, кора, шишки сосни, горішки бука, пліски горішків бука, насіння супутніх порід) та їхніх змін після проведення перших прийомів поступових рубок головного користування – рівномірних поступових і групово-вибіркових в унікальних за складом та обмежених за поширенням сосново-букових лісостанів Львівського Розточчя. Залежно від лісівничо-таксаційних показників стиглих сосново-букових деревостанів, річна маса опаду становить, зазвичай, 5–6 т·га⁻¹ в абсолютно сухому стані. Найбільшу частку опаду в річному циклі становить листя бука (29,5–36,8%), значно меншу – хвоя сосни (20,8–25,6%). Достатньо значною в складі опаду є маса гілок (12,4–14,7%), шишок сосни (10,5–11,7%), кори дерев (6,6–9,0%) і плісок горішків бука (3,6–10,6%). Невеликою часткою опаду представлені горішки бука (1,7–4,3%) та листя супутніх порід (0,4–1,7%) і найменшою – насіння супутніх порід (0,01–0,13%).

Найбільша маса опаду формується в жовтні (35,6–44,6%). Значна кількість мертвої фітомаси опадає також у вересні (14,1–16,2%) та в осінньо-зимово-весняний період (листопад – березень, 19,3–19,7%). Невелике збільшення опаду в сосново-букових деревостанах Львівського Розточчя є характерним і для травня (8,4–14,3%).

Найменша кількість фітомаси опадає в квітні (близько 2,0%). Невелику частку опаду спостережено також у липні (2,9–3,7%) і в серпні (2,7–3,7%).

Річна динаміка нагромадження окремих фракцій опаду в сосново-букових лісостанах є неоднозначною. Найбільша маса хвої сосни опадає у вересні (29,0–33,2%) або у жовтні (26,4–40,2%), листя бука та супутніх порід – у жовтні (відповідно, 84,5–87,4% і 81,0–81,2%), гілок – у зимовий період (38,9–63,6%) або у травні (13,1–45,3%), кори – у зимовий період (39,7–43,1%), шишок сосни – в травні і червні (відповідно, 26,7–38,0% і 28,7–38,8%), горішків бука – у вересні (54,2–58,7%), плісок горішків бука – у вересні і зимовий період (відповідно, 17,9–23,2% і 40,7–53,0%), насіння супутніх порід – у жовтні (57,1–70,7%).

Після проведення першого прийому рівномірної поступової рубки річна маса опаду зменшилась до 44,3%, а групово-вибіркової – до 62,1% порівняно з контролем. При цьому річна динаміка опаду і його фракцій після рубок істотно не змінилась.

Ключові слова: сосна; бук; супутні деревні породи; річні цикли; опадання фітомаси; фракції опаду; рівномірно поступова і групово-вибіркова рубки.

¹ Яхницький Володимир Йосипович – здобувач кафедри лісівництва, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-096-021-11-92. E-mail: krynytsk@ukr.net

² Криницький Григорій Томкович – науковий керівник, академік Лісівничої академії наук України, Президент ЛАН України, доктор біологічних наук, професор, завідувач кафедри лісівництва, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-237-89-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net

Вступ. Опад деревних порід є важливим компонентом лісостану і вагомою ланкою колообігу органічних речовин та енергії в лісових екосистемах. На його основі формується лісова підстилка, розкладання якої значною мірою впливає на вміст гумусу у верхніх шарах ґрунту і мінеральне живлення рослин, інтенсивність мікробіологічних процесів та життєдіяльність безхребетних тварин (Морозов, 1949; Зонн, 1954; Похитон, 1957, 1958; Шумаков, 1963; Бондар, 2000; Кременецька, 2000; Рибак, 2004; Остапчук, 2012).

Кількісні та якісні показники опадів, які визначають структуру підстилки та інтенсивність її розкладу, залежать, насамперед, від видового складу рослин у лісостанах, а, особливо, від складу основного інтегруючого компонента біоценозу – деревостану та його лісівничо-таксаційних ознак (Висоцький, 1950; Ковалевський, 1952; Погребняк, 1968; Горшенін, Швиденко, 1977; Мелехов, 1980; Бондар, 2000; Криницька, 2015; Криницький, 2015; Krynytska et al., 2017). Важливе значення для формування опадів мають також лісгосподарські заходи, які проводяться у лісостанах, зокрема, рубки догляду і рубки головного користування (Бутейко, 1975; Криницька, 2015). Варто також зазначити, що на динаміку кількісних і якісних показників опадання мертвої органічної маси та її структурних елементів великий вплив мають пори року та регіональні кліматичні і ґрунтово-гідрологічні умови.

Сосново-букові лісостани є малопоширеними. В Україні вони формуються лише на Львівсько-Бережанському плато західного регіону держави та лісогірських районах Криму. Їх звужений ареал та унікальність зумовлюються фітоценотичним поєднанням у складі деревостану світлолюбного деревного виду – сосни звичайної і тіневитривалого – бука лісового. Тому закономірності формування і складні процеси функціонування сосново-букових лісостанів вивчені недостатньо. Зокрема дослідженню особливостей нагромадження і розкладу опадів та підстилки в соснових субучинах присвячені лише публікації О.І. Бутейко (1964, 1975), які стосуються пристигаючих деревостанів і не враховують впливу змін клімату.

У зв'язку з цим, вивчення регіональних особливостей формування опадів впродовж року в різних за складом і продуктивністю сосново-букових лісостанах є актуальним завданням.

Об'єкти та методика дослідження. *Об'єкт досліджень* – сосново-букові деревостани в умовах Львівського Розточчя. *Предмет досліджень* – нагромадження опадів і його фракцій у річному циклі та зміни їхньої динаміки в процесі поступових рубок головного користування – рівномірної поступової та групово-вибіркової. *Мета досліджень* полягала у вивченні особливостей річної динаміки нагромадження опадів та його структурних фракцій у сосново-букових деревостанах і їх змін після проведення перших прийомів поступових рубок головного користування.

Дослідження здійснювали на двох стаціонарних ділянках, закладених у 2012 р. на теренах Львів-

ського Розточчя, у Великопільському лісництві Страдцівського навчально-виробничого лісокомбінату Національного лісотехнічного університету України (Яхницький, 2015). Перша стаціонарна ділянка розташована в кв. 2, вид. 1, друга – на відстані 120-150 м від неї (кв. 1, вид. 17).

Для досліджень річної динаміки опадів та його фракцій на першій ділянці було вибрано контрольну (1) та експериментальну секції (2), де проводилась рівномірна поступова рубка. На другій ділянці дослідження здійснювались також на контрольній (4) та експериментальній (5) секціях, де проводилась групово-вибіркова рубка (табл. 1). Тип лісу на обох стаціонарних ділянках – волога грабово-соснова субучина, тип ґрунту – дерново-слабопідзолистий супіщаний. Вік деревостанів – 105-110 років, висота над рівнем моря – 340-365 м. Склад деревостанів на всіх досліджуваних секціях до проведення рубок був ідентичним (Яхницький, 2015). Перший прийом поступових рубок на експериментальних секціях проведений взимку 2012-2013 рр. Лісівничо-таксаційні показники деревостанів після першого прийому поступових рубок наведено у табл. 1.

За наведеними результатами (див. контрольні секції), на стаціонарних ділянках були сформовані стиглі високопродуктивні деревостани високої повноти і запасу. Головними лісотвірними видами виступають сосна звичайна і бук лісовий. Як невелика домішка, у складі деревостанів були представлені також граб звичайний, ялина європейська, явір, береза повисла, зрідка – клен гостролистий і в'яз шорсткий (див. табл. 1). Для стимуляції природного поновлення деревних порід і забезпечення достатнього світлового живлення для самосіву інтенсивність першого прийому рубок була високою (29% – рівномірна поступова рубка і 51% – групово-вибіркова).

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів визначали за загальноприйнятою у лісовій таксації методикою (ОСТ 56-69-83, 1984). Для вивчення річної динаміки опадів і його фракцій використовували опадоуловлювачі розміром 1×1 м, які рівномірно, в геометричному порядку встановлювали на контрольних та експериментальних секціях у 12-разовій повторності. Відбір зразків опадів здійснювали щомісячно (за листопад – березень сумарно в березні). Відібрані зразки в лабораторних умовах розділяли на фракції (хвоя сосни, листя бука, листя інших порід, гілки, кора, шишки сосни, горішки бука, пліски горішків бука, насіння інших порід) та висушували їх до абсолютно сухого стану.

Результати досліджень. У мішаних сосново-букових лісостанах (табл. 2, див. контрольні секції), впродовж року нагромаджується значна кількість опадів. Залежно від лісівничо-таксаційних показників стиглих деревостанів, річна маса опадів становить, зазвичай, 5-6 т·га⁻¹ в абсолютно сухому стані. Близькі результати за масою опадів отримані також О.І. Бутейко (1975) в пристигаючих сосново-букових деревостанах Львівського Розточчя. Характерно, що подібна маса опадів формується і в поширених на Розточчі грабово-сосново-дубових лісостанах (Криницька, 2015).

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні показники деревостанів на секціях сосново-букових стаціонарів після першого прийому поступових рубок

Секція	Спосіб рубки	Склад деревостану	Індекс породи	Вік, років	Інтенсивність рубки, %	Середні		Бонітет	Повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
						D, см	H, м			
I	Контроль	6Сз4Бкл + Гз, Яле, Бп	Сз Бкл	105 105	-	44,4 30,1	29,6 26,7	I ^a , 8 I, 6	0,86	586
II	Рівномірна поступова двопрійомна	8Сз2Бкл + Яле	Сз Бкл	105 105	29	43,6 37,3	30,0 28,8	I ^a , 8 II, 0	0,51	349
III	Контроль	6Сз4Бкл + Яле	Сз Бкл	110 110	-	36,2 24,9	26,4 24,6	I, 9 II, 3	0,98	530
IV	Групово-вибіркова трипрійомна	4Сз5Бкл1Гз + Яле, Бп	Сз Бкл	110 110	51	29,8 30,1	26,5 26,7	I, 9 I, 7	0,41	226

Таблиця 2

Річна динаміка маси опадів і його фракцій на секціях сосново-букових стаціонарів, кг·га⁻¹

Фракції опадів	2013 р.				2014 р.				Всього за рік
	серпень	вересень	жовтень	листопад - березень	квітень	травень	червень	липень	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Секція I – контроль до секції II</i>									
Хвоя сосни	83,8	418,2	331,7	232,0	18,0	70,9	42,4	61,3	1258,3
Листя бука	40,3	140,2	1507,3	19,2	0,9	58,6	9,1	8,6	1784,2
Листя інших порід	4,0	8,2	82,1	3,1	0,1	1,2	1,1	1,3	101,1
Гілки	7,3	39,0	21,2	347,0	22,2	404,1	23,6	28,0	892,4
Кора	22,3	48,4	21,9	171,0	21,7	51,6	28,4	31,8	397,1
Шишки сосни	47,8	33,9	11,1	110,2	30,0	190,1	203,8	84,1	711,0
Горішки бука	4,8	142,9	89,3	24,8	1,4	0,5	+	-	263,7
Пліски горішків бука	10,8	149,2	88,7	260,5	28,8	89,4	6,6	6,6	640,6
Насіння інших порід	-	0,5	5,8	1,7	0,2	-	+	+	8,2
Разом	221,1	980,5	2159,1	1169,5	123,3	866,4	315,0	221,7	6056,6
<i>Секція II – рівномірно поступова рубка</i>									
Хвоя сосни	37,7	164,7	186,8	120,6	14,1	48,9	26,6	28,7	628,1
Листя бука	16,3	82,5	574,4	4,3	0,2	25,4	3,0	8,1	714,2
Листя інших порід	0,4	1,9	18,4	4,9	0,2	0,1	0,2	0,4	26,5
Гілки	1,5	34,7	14,1	162,8	33,2	106,9	7,3	9,9	370,4
Кора	12,6	25,0	8,9	79,9	11,5	27,2	19,2	14,2	198,5

Продовж. табл. 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Шишки сосни звичайної	5,6	13,0	5,9	32,5	12,9	70,7	119,3	19,6	279,5
Горішки бука	2,3	100,5	44,0	10,1	-	0,1	-	-	157,0
Пліски горішків бука	2,7	103,1	42,4	103,6	6,0	42,6	2,0	1,7	304,1
Насіння інших порід	+	0,2	1,6	0,9	-	-	-	-	2,7
Разом	79,1	525,6	896,5	519,6	78,1	321,9	177,6	82,6	2681,0
<i>Секція III – контроль до секції IV</i>									
Хвоя сосни	57,6	358,2	495,6	206,0	17,6	35,4	23,5	40,4	1234,3
Листя бука	26,5	120,8	1548,0	32,0	0,8	25,0	6,7	11,5	1771,3
Листя інших порід	1,2	0,5	14,5	1,2	-	0,3	0,1	0,1	17,9
Гілки	11,1	44,2	15,4	379,2	40,0	78,0	14,3	13,9	596,1
Кора	18,8	68,1	22,2	184,7	20,3	59,8	24,1	37,1	435,1
Шишки сосни	5,9	9,7	4,1	46,0	15,6	192,4	196,5	35,7	505,9
Горішки бука	1,5	47,4	25,8	6,1	-	+	-	-	80,8
Пліски горішків бука	5,4	31,2	24,5	92,5	4,4	15,1	1,0	0,3	174,4
Насіння інших порід	-	0,2	0,4	0,1	-	-	-	-	0,7
Разом	128,0	680,3	2150,3	947,8	98,7	406,0	266,2	139,0	4816,5
<i>Секція IV – групово-вибіркова рубка</i>									
Хвоя сосни	36,4	185,0	160,0	121,8	9,6	34,4	18,2	25,5	590,9
Листя бука	24,3	104,6	857,0	9,1	1,5	48,1	10,1	11,7	1066,4
Листя інших порід	0,3	1,7	22,9	1,4	-	0,3	+	0,5	27,1
Гілки	7,2	25,3	26,3	239,9	20,5	81,9	16,0	12,6	429,7
Кора	7,1	33,9	14,9	104,6	18,1	31,3	11,5	13,9	235,3
Шишки сосни	7,9	1,3	11,1	53,0	7,5	120,8	78,8	27,8	308,2
Горішки бука	0,8	49,1	47,7	7,4	0,7	0,2	-	-	105,9
Пліски горішків бука	5,3	49,9	39,6	86,1	5,1	34,9	1,4	3,0	225,3
Насіння інших порід	+	0,4	0,5	0,4	-	-	-	-	1,3
Разом	89,3	451,2	1180,0	623,7	63,0	351,9	136,0	95,0	2990,1

У зв'язку з цим варто відзначити, що значна кількість опадів в сосново-букових лісостанах зумовлюється формуванням великої кількості листя в кронах дерев бука. У загальній масі річного опадів листя бука на контрольних секціях становить найбільшу частку, зазвичай – 29,5-36,8%, істотно меншу – хвоя сосни (20,8-25,6%) та гілки (12,4-14,7%). Достатньо значимою у складі опадів є маса шишок сосни (10,5-11,7%), кори дерев (6,6-9,0%) і плісок горішків бука (3,6-10,6%). Невеликою часткою в річній масі опадів представлені горішки бука, зазвичай – 1,7-4,3%, листя супутніх порід – 0,4-1,7% і найменшою – насіння супутніх порід (0,01-0,13%).

Формування опадів відбувається впродовж усього року. Однак найбільша маса опадів формується в жовтні (35,6-44,6%) за рахунок опадання листя деревних порід, в основному, бука лісового. Значна кількість фітомаси в сосново-букових лісостанах опадає також у вересні (14,1-16,2%) та в осінньо-зимово-весняний період (листопад-березень – 19,3-19,7%). Невелика маса опадів в сосново-букових лісостанах Львівського Розточчя облікована і в травні (опадає 8,4-14,3%). У вересні основну частку опадів формують хвоя сосни та листя бука, а в урожайні роки також горішки і пліски горішків бука; в осінньо-зимово-весняний період – гілки, хвоя сосни, кора і пліски горішків бука, у травні – гілки і шишки сосни.

Найменша кількість мертвої фітомаси в сосново-букових деревостанах опадає в квітні (близько 2,0%). Основними компонентами опадів в цей період є гілки, кора, шишки і хвоя сосни. Невелику частку нагромадження опадів зафіксовано також у липні (2,9-3,7%) і серпні (2,7-3,7%), яка формується, в основному, за рахунок опадання хвої і шишок сосни та кори.

Загалом в сосново-букових деревостанах Львівського Розточчя восени опадає близько 60% органічної маси; взимку, а також навесні – до 15% і влітку – 11-13%. Варто також зазначити, що наведена вище річна динаміка нагромадження опадів в сосново-букових лісостанах характерна і для сосново-дубових лісостанів Львівського Розточчя (Криницька, 2015), що забезпечується ідентичністю сезонних погодних умов та подібним типом перебігу фізіолого-біохімічних процесів у дерев бука і дуба.

Річна динаміка нагромадження окремих фракцій опадів в сосново-букових лісостанах є неоднозначною. Вона залежить від особливостей функціонування та ролі відповідних органів у життєдіяльності дерев (див. табл. 2). Так, найбільша частка хвої сосни опадає, зазвичай, у вересні (29,0-33,2% від загальної маси її річного опадів) або у жовтні (26,4-40,2%); листя бука та супутніх порід – у жовтні (відповідно, 84,5-87,4 і 81,0-81,2%), гілок – у зимовий період (38,9-63,6%) або у травні (13,1-45,3%), кори – у зимовий період (39,7-43,1%), шишок сосни – у травні і червні (відповідно, 26,7-38,0 і 28,7-38,8%), горішків бука – у вересні (54,2-58,7%), плісок горішків бука – у вересні і зимовий період (відповідно, 17,9-23,2 і 40,7-53,0%), насіння супутніх порід – у жовтні (57,1-70,7%).

Різке (до мінімального) зменшення опадання різних фракцій фітомаси дерев також відбувається в різні періоди річного циклу. Зокрема, хвоя сосни, листя бука і супутніх порід у найменшій кількості опадають у квітні, гілки – у серпні, кора дерев – у квітні, серпні і жовтні, шишки сосни – у жовтні, горішки бука – з квітня по липень, пліски насіння бука – у червні і липні, насіння супутніх порід – з квітня по серпень.

Найбільш подібними між собою і близькими до закономірностей річного нагромадження загальної маси опадів є річні динаміки опадання хвої сосни, листя бука і листя супутніх порід. Подібними також є річні динаміки опадання гілок і кори, горішків бука і насіння супутніх порід. Відмінними, як між собою, так і з іншими фракціями, є річні динаміки опадання шишок сосни і плісок горішків бука.

Вплив поступових рубок головного користування на нагромадження опадів тісно пов'язаний з їх організаційно-технічними показниками. Особливо вагомим значення має інтенсивність проведення перших прийомів рубок.

За наведеними в табл. 2 результатами, в перший рік після проведення першого прийому рівномірної поступової рубки інтенсивністю 29% річна маса опадів становила лише 2681 кг/га або 44,3%, а після проведення групово-вибіркової рубки інтенсивніс-

тю 51%, відповідно 2990,1 кг·га⁻¹ або 62,1% порівняно з контрольними секціями. При цьому закономірності річної динаміки опадів і його фракцій на обох експериментальних секціях практично не змінилися і були подібними до контрольних показників.

Водночас потрібно зазначити, що висока інтенсивність рубок покращила світлове живлення листяних порід, які формують зазвичай другий ярус деревостанів, і стимулювала їхнє плодоношення. Зокрема, на секції рівномірної поступової рубки частка горішків бука у загальній масі опадів, порівняно з контролем, зросла в 1,3 рази, а плісок горішків бука – в 1,1 рази. На секції групово-вибіркової рубки маса горішків бука у загальній масі опадів збільшилась в 2,1, маса плісок горішків бука – в 2,2, насіння супутніх порід – в 2,9 рази порівняно з контрольними показниками.

Висновки. Нагромадження опадів та його фракцій (окрім горішків бука і насіння супутніх порід) в сосново-букових лісостанах Львівського Розточчя відбувається упродовж усього року. Річна маса опадів становить, зазвичай, 5-6 т·га⁻¹ в абсолютно сухому стані. Найбільша кількість опалої фітомаси формується в жовтні за рахунок опадання листя деревних порід, в основному, бука лісового, найменша – у квітні. В осінній період опадає близько 60% органічної маси; взимку, а також навесні – до 15%; влітку – до 13%. Річна динаміка нагромадження окремих фракцій опадів є неоднозначною. Найбільш подібними між собою і близькими до річного формування опалої фітомаси є річна динаміка опадання хвої сосни, листя бука і листя супутніх порід.

Проведення перших прийомів поступових рубок головного користування різко зменшує кількість опадів – рівномірної поступової до 44%, групово-вибіркової – до 62%. Водночас річна динаміка опадів і його фракцій залишається подібною до річних закономірностей опадання фітомаси і її складових на контролі.

Список літератури

- Бондар, І.П. (2000). Кількісні та якісні показники опадів в різних типах умов місцезростання лісостанів Київського Полісся та їх вплив на ґрунт. *Науковий вісник Національного аграрного університету: Лісівництво*, 27, 94-103. [Bondar, I.P. (2000). Quantitative and qualitative indicators of litter-fall in different types of habitat conditions of forest stands in Kyiv Polissya and their impact on the soil. *Scientific Bulletin of National Agrarian University: Forestry*, 27, 94-103 (in Ukrainian)]
- Бутейко, А.И. (1975). *Сосново-буковые леса запада Украинской ССР*: автореф. дис. ... канд. с.-х. наук: 06.03.03/ Львовский лесотехн. ин-т. Львов [Buteiko, A.I. (1975). *Pine-beech forests of the West of the Ukrainian SSR*: PhD dissertation abstract. Lviv Forestry Institute, Lviv, Ukraine (in Russian)]
- Высоцкий, Г.Н. (1950). *Учение о влиянии леса на изменение среды его произрастания и на*

- окружающее пространство. Курс лесоведения. Ч. II. Москва-Ленинград: Гослесбумиздат [Vysotskyi, H. N. (1950). *The doctrine of the influence of forests on changes in their growth environment and the surroundings. Forestry course*. P. II. Moscow-Leningrad: Hoslesbumyzdat (in Russian)]
- Горшенин, Н. М., Швиденко, А. И. (1977). *Лесоводство*. Львов: Вища школа [Horshenyn, N. M., & Shvydenko, A. I. (1977). *Silviculture*. Lviv: High School (in Ukrainian)]
- Зонн, С. В. (1954). *Влияние леса на почву*. Москва: АН СССР [Zonn, S. V. (1954). *Impact of forest on soil*. Moscow: Academy of Sciences of the Union of Soviet Socialist Republics (in Russian)]
- Ковалевський, А. К. (1952). Річний опад листя в дібровах. *Праці Інституту лісівництва АН УРСР*, 3, 21-24 [Kovalevskyi, A. K. (1952). Annual leaf fall in oak groves. *Scientific works of Forestry Institute Academy of Sciences of the Ukrainian SSR*, 3, 21-24 (in Ukrainian)]
- Кременецька, Є. О. (2000). *Лісівницькі особливості корінних лісостанів зеленої зони м. Києва та наукові основи покращення їхнього стану*: автореф. дис. ... канд. с.-г. наук: 06.03.03 / Національний аграр. ун-т, Київ [Kremenetska, Ye. O. (2000). *Silvicultural peculiarities of indigenous forests of Kyiv green zone*: PhD dissertation abstract. National Agrarian University, Kyiv, Ukraine (in Ukrainian)]. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe
- Криницька, О. Г. (2015). Формування опадів і підстилки в грабово-сосново-дубових деревостанах Львівського Розточчя. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем*: матеріали 65-ї науково-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2014 р., 74-76. Львів, Україна: Національний лісотехнічний ун-т України [Krynytska, O. H. (2015). Formation of litter-fall in hornbeam-oak-pine stands in the Lviv Roztoche region. In *Scientific principles of improvement of the productivity and biological stability of forests and urban ecosystems*, 74-76. Lviv, Ukraine: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian)]
- Криницька, О. Г. (2015). Особливості нагромадження опадів в грабово-сосново-дубових деревостанах, сформованих на зрубах поступових рубок в умовах Львівського Розточчя. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 13, 76-82 [Krynytska, O. H. (2015). Peculiarities of accumulation of litter-fall in hornbeam-pine-oak stands formed after gradual felling in the conditions of Lviv Roztocze. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 13, 76-82 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/100>
- Криницький, Г. Т. (2015). До питання про принципи та механізми функціонування лісових екосистем. *Виклики XXI століття та їхнє вирішення у лісовому комплексі й довкіллі*: тези доповідей Міжнародної науково-практичної конференції, 63-64. Київ, Україна: Національний ун-т біоресурсів і природокористування України [Krynytskyi, H. T. (2015). On the question of principles and mechanisms of functioning of forest ecosystems. In Abstracts of the International Scientific and Practical Conference *Challenges of the XXI century and their solution in the forest complex and environment*, 63-64. Kyiv, Ukraine: National University of Life and Environmental sciences of Ukraine (in Ukrainian)]
- Мелехов, И. С. (1980). *Лесоведение*. Москва: Лесная промышленность [Melekhov, I. S. (1980). *Forestry*. Moscow: Forest Industry (in Russian)]
- Морозов, Г. Ф. (1949). *Учение о лесе*. Москва: Гослесбумиздат [Morozov, G. F. (1949). *The concept of the forest*. Moscow: Hoslesbumyzdat (in Russian)]
- ОСТ 56-69-83 (1984). *Пробные площади лесоучетные. Метод закладки*. Москва: ЦБНТИлесах [IS 56-69-83 (1984). *Sample plots forest inventory. Methods of establishing*. Moscow: Central Bureau of Scientific and Technical Information Forestry (in Russian)]
- Остапчук, О. С. (2012). Лісовий опад та підстилка в культурах дуба звичайного в умовах Правобережного Лісостепу. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 171, 186-192 [Ostapchuk, O. S. (2012). Forest litter-fall in common oak stands in the conditions of the Right-Bank Forest-Steppe zone of Ukraine. *Scientific bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 171, 186-192 (in Ukrainian)]
- Погребняк, П. С. (1968). *Общее лесоводство*. Москва: Колос [Pohrebniak, P. S. (1968). *General Forestry*. Moscow: Kolos (in Russian)]
- Похитон, П. П. (1957). Влияние древесных и кустарниковых пород на физико-химические свойства черноземной почвы. *Почвоведение*, 3, 40-47 [Pokhyton, P. P. (1957). Influence of tree and shrub species on the physicochemical properties of chernozem soil. *Soil science*, 3, 40-47 (in Russian)]
- Похитон, П. П. (1958). Влияние различных древесных пород на почву. *Почвоведение*, 6, 49-55 [Pokhyton, P. P. (1957). The influence of various tree species on the soil. *Soil science*, 6, 49-55 (in Russian)]
- Рибак, В. О. (2004). Вплив мішаних лісостанів на процеси ґрунтоутворення у свіжих соснових суборах. *Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України*, 71, 27-33 [Rybak, V. O. (2004). Influence of mixed forest stands on soil formation processes in fresh pine stands. *Scientific bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*, 71, 27-33 (in Ukrainian)]
- Шумаков, В. С. (1963). *Типы лесных культур и плодородие почвы*. Москва: Гослесбумиздат [Shumakov, V. S. (1963). *Types of forest crops and soil fertility*. Moscow: Hoslesbumyzdat (in Russian)]

- Яхницький В.Й. (2015). Таксаційна характеристика науково-виробничого стаціонару «Великопільський», закладеному в сосново-букових деревостанах Страдчівського навчально-виробничого лісокомбінату НЛТУ України. *Наукові основи підвищення продуктивності та біологічної стійкості лісових та урбанізованих екосистем*: матеріали 65-ї наук.-технічної конференції професорсько-викладацького складу, наукових працівників, докторантів та аспірантів за підсумками наукової діяльності у 2014 р., 138-142. Львів: Україна: Національний лісотехнічний ун-т України [Yakhnytskyi, V.Y. (2015). Taxation characteristics of the scientific stationary «Velikopil'skiy», established in the pine-beech tree stands of the Stradchiv wood-packing facility of the Ukrainian National Forestry University. In *Scientific principles of improvement of the productivity and biological stability of forests and urban ecosystems*, 138-142. Lviv: Ukraine: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian)]
- Krynytska, O., Bondarenko, T., Capuliak, J., & Trenčiansky, M. (2017). Quantitative analysis of litter-fall in hornbeam-oak-pine stands in the Lviv Roztoche region. *Central European Forestry Journal*, 63 (1), 35-41. <https://doi.org/10.1515/forj-2017-0004>

Dynamics of litterfall in pine-beech stands and its changes under the influence of uniform shelterwood felling in the Lviv Roztoche region

V. Yakhnytskyi¹, H. Krynytsky²

Quantitative and qualitative indicators of precipitation depend on many factors such as the composition of plant species, forestry activities, seasonal features of the year, climate and soil hydrological features in the region, etc. Of particular importance for the formation of litter-fall is the stand and its silvicultural and taxonomic features, which are the main component of the forest.

In this work, the peculiarities of the annual dynamics of litterfall accumulation and its structural fractions are characterized (pine needles, beech leaves, leaves of accompanying breeds, branches, bark, pine cones, beechnuts, beechnut cupules, seeds of accompanying breeds) and their changes after the first methods of shelter wood felling of the main-use is unique in

composition and limited in distribution pine-beech forests in Lviv Roztoche region. It was found that, depending on the biometric indicators of mature pine-beech stands, the annual rainfall is usually 5-6 t / ha in a dehydrated state. The largest share of litterfall in the annual cycle is beech leaves (29.5-36.8%) and much smaller pine needles (20.8-25.6%). Quite significant in the composition of the precipitation is the mass of branches (12.4-14.7%), pine cones (10.5-11.7%), tree bark (6.6-9.0%), and beechnut cupules (3.6-10.6%). A small share of litterfall is represented by beech nuts (1.7-4.3%) and leaves of accompanying breeds (0.4-1.7%) and the smallest by seeds of accompanying breeds (0.01-0.13%).

The largest mass of litterfall is formed in October (35.6-44.6%) due to defoliation, mainly beech. A significant amount of dead phytomass also falls in September (14.1-16.2%) and in the autumn-winter-spring period (November – March, 19.3-19.7%). A small increase in litterfall accumulation in the pine-beech stands of Lviv Roztoche is also typical in May (8.4-14.3%). In September, the main share of litterfall is formed by pine needles and beech leaves, and in fruitful years it is also represented by beech nuts and beechnut cupules; in the autumn-winter-spring period – branches, pine needles, the bark of beech and beechnut cupules; in May – pine branches and cones. The lowest amount of phytomass falls in April (about 2.0 %). During this period, the main components of litterfall are represented by pine branches, bark, cones, and pine needles. A small share of litterfall is also observed in July (2.9-3.7%) and August (2.7-3.7%), formed mainly by the fall of cones, bark and pine needles. In general, in pine-beech stands of Lviv Roztoche, about 60% of organic matter falls in autumn, in winter, and spring up to 15% and in summer – 11.0-13.0%.

The annual dynamics of accumulation of individual litterfall fractions in pine-beech forests are ambiguous. It depends on the functioning and role of the relevant organs in the life of trees. The largest mass of pine needles falls in September (29.0-33.2%) or in October (26.4-40.2%), beech leaves and accompanying breeds in October (84.5-87.4 and 81.0-81.2% respectively), branches in winter (38.9-63.6%) or in May (13.1-45.3%), bark in winter (39.7-43.1%), pine cones in May and June (26.7-38.0 and 28.7-38.8% respectively), beech nuts in September (54.2-58.7%), beechnut cupules in September and winter (17.9-23.2 and 40.7-53.0% respectively), seeds of accompanying breeds in October (57.1-70.7%).

The smallest amount of litterfall of different fractions of trees phytomass also occurs in different periods of the annual cycle. Pine needles, beech leaves and accompanying breeds fall at a minimum amount in April, branches – in August, tree bark – in April, August and October, pine cones – in October, beech nuts – from April to July, beechnut cupules – in June and July, the seeds of accompanying breeds – from April to August. The most identical and close to the total mass of litterfall's annual accumulation patterns are the annual dynamics of pine needle litter, beech leaves, and leaves

¹ Volodymyr Yakhnytskyi – aspirant of the Forestry Department of Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-096-021-11-92. E-mail: krynytsk@ukr.net

² Hryhoriy Krynytskyi – scientific Director, full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, President FAS of Ukraine, doctor of Biological Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka str., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-237-89-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net

of accompanying breeds. The annual dynamics of litterfall of beech branches, bark and nuts, and seeds of accompanying breeds are similar. The annual dynamics of pine cones and beechnut cupules are different, both among themselves and other fractions.

The impact of shelterwood feelings of the main-use on the litterfall accumulation is closely related to their organizational and technical indicators, particularly the intensity of feeling.

After the first stage of shelterwood uniform felling, the annual mass of litterfall decreased to 44.3%, and group-shelterwood felling – to 62.1% compared to the control, while the annual dynamics of litterfall and its fractions after felling did not change significantly.

Simultaneously, it should be noted that felling improves the light supply of deciduous species, which form mainly the second layer of trees and stimulate their fruiting. As a result, in the section of shelterwood uniform felling, the share of beech nuts in the total mass of litterfall, compared with the control, increased 1.3 times, and the beechnut cupules – 1.1 times. In the group-shelterwood felling section, the number of beechnuts and beechnut cupules increased 2.1 times, and the number of seeds of accompanying breeds – 2.9 times compared to the control values.

Key words: pine; beech; accompanying breeds; annual cycles; phytomass precipitation; litterfall fractions; shelterwood uniform felling and group-shelterwood felling.

Динамика опада в сосново-буковых древостоях и ее изменения под влиянием постепенных рубок в условиях Львовского Расточья

В. И. Яхницкий¹, Г. Т. Криницкий²

Освещены особенности годовой динамики накопления опада и его структурных фракций (хвоя сосны, листья бука, листья сопутствующих по-

род, ветки, кора, шишки сосны, орешки бука, плюс-ски орешков бука, семена сопутствующих пород) и их изменений после проведения первых приемов равномерных постепенных и группово-выборочных рубок главного пользования в уникальных за составом и ограниченных по распространению сосново-буковых насаждениях Львовского Расточья. Установлено, что в зависимости от лесоводственно-таксационных показателей спелых сосново-буковых древостоев годовая масса опада составляет, как правило, 5-6 т·га⁻¹ в абсолютно сухом состоянии. Наибольшую часть опада в годовом цикле составляют листья бука (29,5-36,8%), значительно меньшую – хвоя сосны (20,8-25,6%). В достаточно большом количестве в составе опада представлена масса веток (12,4-14,7%), шишек сосны (10,5-11,7%), коры (6,6-9,0%) и плюсок орешков бука (3,6-10,6%). Небольшую часть опада составляют орешки бука (1,7-4,3%) и листья сопутствующих пород (0,4-1,7%), наименьшую – семена сопутствующих пород (0,01-0,13%).

Наибольшая масса опада формируется в октябре (35,6-44,6%), значительно меньше – в сентябре (14,1-16,2%) и на протяжении ноября-марта (19,3-19,7%). Небольшая масса опада в сосново-буковых насаждениях наблюдается и в мае (8,4-14,3%). Наименьшее количество фитомассы опадает в апреле (около 2,0%). Небольшая часть опада зафиксирована также в июле (2,9-3,7%) и августе (2,7-3,7%).

Наибольшая масса хвои сосны опадает в сентябре (29,0-33,2%) или в октябре (26,4-40,2%), листьев бука и сопутствующих пород – в октябре (соответственно, 84,5-87,4 и 81,0-81,2%), веток – в зимний период (38,2-63,6%) или в мае (13,1-45,3%), коры – в зимний период (39,7-43,1%), шишек сосны – в мае и июне (соответственно, 26,7-38 и 28,7-38,8%), орешков бука – в сентябре (54,2-58,7%), плюсок орешков бука – в сентябре и зимний период (соответственно, 17,9-23,2 и 40,7-53,0%), семян сопутствующих пород – в октябре (57,1-70,7%).

После проведения первых приемов равномерной постепенной рубки годовая масса опада уменьшилась до 44,3%, а группово-выборочной – до 62,1% по сравнению с контролем. При этом годовая динамика опада и его фракций после рубок существенно не изменилась.

Ключевые слова: сосна; бук; сопутствующие древесные породы; годовые циклы; опадание фитомассы; фракции опада; равномерная постепенная и группово-выборочная рубка.

¹ Яхницкий Владимир Иосифович – соискатель кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-096-021-11-92. E-mail: krynytsk@ukr.net

² Криницкий Григорий Томкович – научный руководитель, академик Лесной академии наук Украины, президент ЛАН Украины, профессор, заведующий кафедрой лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-258-42-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412027>
Article received 2020.04.13
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr P. Pasternak
pasternak65@ukr.net
Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine

UDC 630*53:630*62

Dynamics of pine stands condition in SE «Lymanske Forest Economy»

V. P. Pasternak¹, O. B. Prihodko², T. S. Pyvovar³, V. Yu. Yarotsky⁴

The issue of pine forest stands health condition and mortality at the scale of one state enterprise (SE «Lymanske Forest Economy»), located in the Northern part of the Steppe zone of Ukraine, is considered.

For the study data from two repeated observations at 8 permanent plots, laid in 2019, in forest stands with varying degrees of mortality and those damaged by fire was used. A re-survey was carried out in 2020. Using the GIS Field-Map, trees were mapped at the permanent plots and their health condition, mortality, and damage were assessed. For the background assessment of pine forests condition, the results of observations at 7 forest monitoring plots (I level) (surveys of 2015 and 2020) were used. The source of climate data was the online resource ClimateCharts.net.

It was found out that over the last 10 years, due to climate change, the temperature in the region increased and the amount of precipitation decreased, which led to the appearance of a dry period in August, which is unfavourable for the growth of pine forests at the limit of their range. Groundwater levels have changed, as evidenced by the drying of Lake Lyman during 2013-2020. Obtained results showed, that the condition of pine stands in the monitoring plots significantly deteriorated compared to 2015. Currently, the condition of pine forests are considered as «weakened» and «severely weakened» (the health condition index (HCI) of living trees varied from 1.53 to 2.70), the average defoliation and mortality of trees have increased significantly. In weakened stands, the proportion of trees with damage increases over time, in particular, due to the colonization of stem insects. Forest fires pose a significant threat to the pure artificial pine forests that predominate in the region. As a result of fires, the condition of the stands deteriorated (HCI 2.49-2.70) and the number of dead trees increased.

Key words: Northern Steppe; dieback; forest fires; damage; forest monitoring; health condition index; climate change.

Introduction. Trees mortality associated with drought and climate change is a widespread problem in the world. Forest dieback is commonly reported near the geographic limits of tree species natural range (Allen, 2009) and thresholds of climatic suitability, where the most sensitive response to climate change would be expected.

A significant problem in Ukraine is the massive forest dieback due to the increased negative impact on forest ecosystems of natural and anthropogenic factors. The processes of dieback and degradation of pine stands have intensified in the last decade (Ткач, Мешкова, 2019). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) is one of the main forest-forming species in Ukraine and

¹ Volodymyr P. Pasternak – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor habil. (agricultural sciences), professor, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38-057-707-80-44. E-mail: pasternak65@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Olexiy B. Prihodko – Head, State Enterprise «Lymanske Forest Economy», K. Gasieva str., 1a, Lyman, 84404, Ukraine. Tel.: +38-097-358-97-49. E-mail: prikhodkoab@gmail.com

³ Tetiana S. Pyvovar – PhD, senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38-097-358-97-49. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

⁴ Volodymyr Yu. Yarotsky – leading engineer, Ukrainian Research Institute of Forestry and forest melioration named after G. M. Vysotsky, Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38-057-707-80-44. E-mail: suerlay@ukr.net

its forest stands have ecological, economic, and social importance (Krynytskyi, Chernyavskyy, Krynytska, 2016). The ecological precondition for the pine forests degradation is global climate change, first of all, changes in temperature and hydrological regimes. Pine forests in the steppe react especially sharply, as they grow at the limit of their natural range (Shvydenko, Buksha, Krakovska, & Lakyda, 2017). Fires, outbreaks of insects, and diseases pose a significant threat to weakened pine stands (McLauchlan et al., 2020; Allen, 2009).

In order to carry out effective measures to preserve the ecological and social functions of forests, it is extremely important to have comprehensive and reliable information on the condition of forest-forming species in forest stands.

Features of the functioning of pine stands of the Northern Steppe of Ukraine were studied by Lakyda & Lovinska (Лакида, Ловинська, 2014). The condition of pine forests according to the monitoring data in neighboring regions (Luhansk, Kharkiv regions) was analysed in 2011 (Букша, Пивовар, Букша, 2011). The influence of forest fires on forest stands was also studied (Сидоренко, Ворон, Мельник, Сидоренко, 2015; Koval, Sydorenko, 2019).

Objects and methods. *The study object is pine forest stands of the State Enterprise (SE) «Lymanske*

Forest Economy» (Lymanske Forest Enterprise). The study subject is the dynamics of pine forest stands' condition.

The aim of the research is to evaluate the condition dynamics of pine forest stands in the SE «Lymanske Forestry».

Lymanske Forest Enterprise is located in the northern part of Donetsk region of Ukraine in the Steppe natural zone. According to forest typological zoning, the enterprise's territory belongs to the region of the dry relatively warm climate of the Donetsk ravine forest sector (Остапенко, Ткач, 2002). Forests in this region grow only in places with available groundwater: near water bodies. The forest stands of Lymanske Forest Enterprise mainly provide nature conservation, protective, and recreation functions. Pine stands here mainly grow in fresh poor ($A_2 - 29,2\%$), fresh relatively poor ($B_2 - 14,3\%$), and dry poor site conditions ($A_1 - 7,7\%$) (Приходько, Пастернак, & Яроцький, 2019) on sandy and sandy loam soils. The majority of pine stands are artificial monocultures, which are vulnerable to biotic damage and fire.

The study includes the results of two consecutive surveys (in 2019 and 2020) of 8 permanent plots and 7 monitoring plots (I Level) located in pine forest stands of Lymanske Forest Enterprise (Tab. 1, Fig. 1).

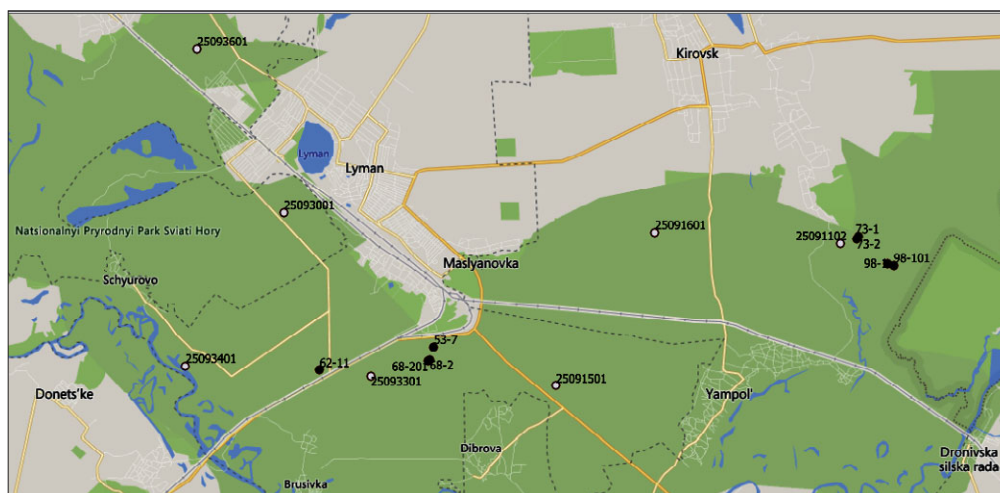


Fig. 1. Location of permanent plots (black) and monitoring plots (white dots) in the territory of Lymanske Forest Enterprise

In Lymanske forestry, the first group of permanent sample plots was allocated to study pine dieback in the region, registered from 2013-2014. Permanent plots include relatively healthy forest stand (62-11), which considered as control, two stands with significant pine mortality in previous years (68-2 and 53-7), and plot 68-201 which was allocated as healthy, but in spring 2020 it was damaged by a stable forest fire (See Tab. 1, Fig. 1).

In Yampilske forestry, another group of permanent plots was allocated in pine stands, damaged by ground forest fires in summer 2014, aimed to study the impact of forest fire on pine condition (See Tab. 1, Fig. 1). These plots were allocated as duplexes in forest stands with different grades of fire damage at the neighbour

forest subcompartments. For damaged trees the height of bark char and the perimeter of bark char were measured, other signs of damage were estimated.

All permanent plots are circular with an area of 0.1 ha, the indicators of the forest stands were evaluated on them, heights of model trees were measured, health condition index (HCI), and damage were estimated. Forest-taxational parameters of pine stands were studied by using generally accepted forestry and forest taxation methods (Гром, 2010; Площі пробні лісовпорядні, 2006). GIS Field-Map was used for field work and data management (Field-Map.com).

Also observations on seven I Level monitoring plots, located in pine stands in of Lymanske Forest Enterprise were carried out in 2020 according to (Букша,

Пастернак, Пивовар, Букша, Яроцький, 2018). Taxation characteristics were estimated visually. The health condition index of trees was estimated according to (Санітарні правила в лісах України, 2016). Two monitoring plots are located in Yampilske forestry, one of them is close to a group of permanent plots damaged by a forest fire (See Fig. 1). Three monitoring

plots are located in Lymanske forestry. Plot number 250915 is located near the sand quarry, 250934 – on recreation area near Siverskyi Donets river with high anthropogenic pressure, plot 250933 is at the distance 1,6 km from a group of permanent plots in Lymanske with a high mortality rate. The rest monitoring plots are located in Drobyshevske forestry.

Table 1

Forestry-taxation characteristics of forest stands at permanent plots and level I monitoring plots (2020)

Plot ID	Forestry	Forest site conditions	Age, years	Mean		Density of stocking	Site index	M, m ³ ·ha ⁻¹
				H, m	D, cm			
Permanent plots								
62-11	L	A ₂	61	19.4	18.8	0.80	II	320
68-2	L	B ₂	81	24.5	26.7	0.45	I	229
68-201	L	B ₂	81	21.0	23.9	0.55	II	248
53-7	L	A ₂	85	20.6	20.2	0.40	III	136
73-1	Y	B ₂	43	20.4	22.5	0.80	Ia	341
73-2	Y	B ₂	81	26.2	25.8	0.82	I	482
98-1	Y	B ₂	76	25.0	23.0	0.79	I	438
98-101	Y	B ₂	76	28.7	27.1	0.70	Ia	444
I Level monitoring plots								
250930	D	A ₂	40	15.0	17.1	0.68	I	173
250933	L	A ₁	38	13.5	14.2	0.54	II	120
250934*	L	A ₂	84	21.7	19.9	0.42	II	185
250936	D	A ₂	68	24.5	27.9	0.75	I	372
250911	Y	B ₂	79	28.0	38.8	0.73	Ia	455
250915	L	A ₂	43	16.5	16.9	0.75	I	220
250916	Y	A ₂	98	25.5	31.7	0.65	II	360

D – Drobyshevske forestry; L – Lymanske forestry; Y – Yampilske forestry

Forest health condition dynamic was assessed on these plots, and a comparison with data of observations held in 2015 (the last year of regular observations on monitoring plots in Ukraine) was carried out. Average defoliation of pine stands of the Steppe natural zone from Kharkiv and Luhansk regions were calculated. The source of data – Forest monitoring database.

Sample plots are represented by fresh poor and fresh relatively poor forest site conditions of *Pinus sylvestris* L. (Scots pine) stands (according to Alekseev-Pogrebnyak classification (Остапенко, Ткач, 2002)). The age of studied forest stands varies from 40 to 98 years, the density of stocking in range 0.40-0.82, site index class Ia – III. These plots represent the pine forests of the enterprise (See Tab. 1).

Results and discussion. Due to climate change, at the territory of Lymanske Forest Enterprise temperature growth in winter and summer during the last decade (2010-2019) is revealed compared to climate norm (1961-1990) (Fig. 2).

According to the climate charts (See Fig. 2): a significant decrease of summer precipitation level is observed in August, which in combination with temperature growth led to the appearance of a drought period (indicated by bright colour). Such changes are unfavourable for forest vegetation, especially for pine stands, which grow on the southern limit of their natural range.

At the same time in the study area, significant changes in the hydrological regime are observed, which affect both surface water and, most likely, groundwater. So, since 2013, lake Lyman with an area of about 79 hectares has completely dried up. Changes in the hydrological regime are most likely associated with sand mining, which is exacerbated by the lack of precipitation that has been observed in recent years. For a more complete picture of changing the hydrological regime, hydrogeological studies are required.

Data of Global Forest Watch web service (Global Forest Watch, 2020) allows estimating the amount of

global tree cover loss in the region of study (former Krasnolymskyi district) (canopy density threshold > 30% was used) (Fig. 3), unfortunately without division by reasons as forest fires and mortality, or sanitary felling. On the other hand, as forests in the region are mainly recreational and protective, final felling is not applied there. Obtained results showed a trend to increase annual tree cover loss during the

last decade compared to the previous period (average annual loss for 2001–2010 was 47.7 hectares, and for 2011–2019 – 198.8 hectares). The critical point in the dynamics was 2011 when the trees cover loss increased almost by 5 times. Such a dynamic can be particularly related to pine dieback after forest fires (Гладунець, Пастернак, 2014; Гладунець, 2017), and other causes.

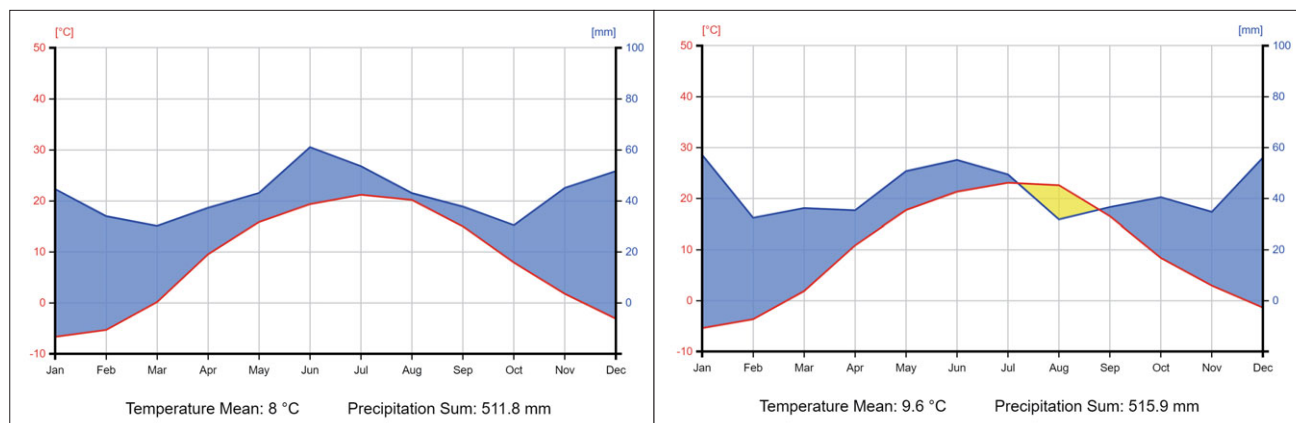


Fig. 2. Climate charts at the territory of SE «Lymanske forestry» for 1961-1990 (left) and 2010-2019 (right) periods (blue line – month sum of precipitations, mm, red line – month average air temperature, °C) (Zepner L., et al, 2020. ClimateCharts.net)

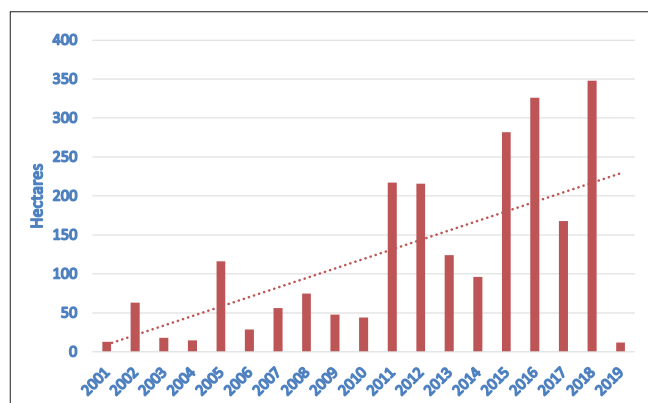


Fig. 3. Dynamics of annual forest cover loss in former Krasnolymskyi district according to Global Forest Watch data (Global Forest Watch, 2020).

According to the forest monitoring data, the average defoliation of pines in the enterprise in 2015 was 8,8% (Tab. 2). This data is comparable with average defoliation in neighbour regions of Northern Steppe: the southern part of Kharkiv and northern part of Lugansk region (as of 2015) (8,8 and 13,8%, respectively).

Unfortunately, forest monitoring activity was stopped after 2015, so data for the later period are absent. In 2020 at all monitoring plots in Lymanske Forest Enterprise significant deterioration of pine stands health condition was observed: average defoliation significantly increased (up to 17%), and according to the health condition index these stands were weakened and severely weakened (See Tab. 2). The biggest relative change of the mean defoliation (more than twice) was

observed on three plots in Lymanske forestry and one plot in Yampilske forestry. Significant mortality of trees was observed on 4 plots (250933, 250915, 250916, and 250934), while on the last one sanitary felling was carried out and dead trees were removed. In 2020 resin flow signs were registered on three plots, at one plot few trees have lost apical dominance. In different compartments of Lymanske forestry according to visual observations, significant deterioration of pine health condition, and increased tree mortality and dieback of birch stands registered since 2013-2014. For comparison data of monitoring, plot 250933 was used. Generally, all studied pine stands in the Lymanske forestry were weakened and severely weakened (by health condition index) (See Tab. 2, 3). The evidence of trees mortality in past and/or sanitary felling in these stands are low values of the relative density of stocking in some stands (0.4-0.45), especially in older stands (See Tab. 1).

In 2019 the index of the health condition of permanent plots in Lymanske forestry varied from 2,19 to 2,52 which corresponds to weakened and severely weakened stands (See Tab. 3). The better condition was assessed at permanent plot 62-11, located at a distance of 3 kilometres of the rest permanent plots at this forestry in a middle-aged forest. In 2020 deterioration of health condition at this plot was observed: both health condition index and percentage of damaged trees increased. The health condition index at the monitoring plot 250933 was 2,3 in 2020, and average defoliation – 16,8%, so this stand didn't significantly differ from permanent plots by pine condition. Two permanent plots in this group with higher health condition index values were characterized by significant mortality in 2019:

the proportion of dead trees was 27,8 % at plot 68-2 and 58,9% at 53-7. The annual mortality rate at these plots exceeded the reference level (Forest inventory handbook, 2013). In 2020 the health condition index decreased on these two plots: due to sanitary felling at 53-7 and dieback of the weakened tree on 68-2 plot. At monitoring plot 250933 dead trees were absent in 2020, however, in the past (in 2011), this plot had a high percentage of dead trees (41,7%), which were removed during selective sanitary felling.

The part of plot 68-201 in spring 2020 was damaged by a stable forest fire that caused significant deterioration of pine condition and led to a significant increase of tree mortality at this plot (proportion of dead trees increased from 1,4 to 18,6%). Also, the proportion of damaged trees increased from 4,3 to 12,3 % (See Tab. 3). According to (Сидоренко, Ворон, Мельник, Сидоренко, 2015) the time of the fire is crucial for stand condition: as spring forest fires are more dangerous than summer ones.

Table 2

Dynamics of indicators of pine stands condition on monitoring plots

Plot	Average. Defoliation		HCI with dead trees*	HCI of living trees	Proportion of dead trees, %	Proportion of damaged trees, %
	2015	2020	2020	2020	2020	2020
250911*	8.9	12.0	2.2	2.2	0.0	4.2
250916	9.2	18.7	2.6	2.3	12.5	0.0
250915	9.2	20.2	2.9	2.6	8.3	4.2
250930	9.1	16.2	2.5	2.5	0.0	8.3
250933+	7.6	16.8	2.3	2.3	0.0	0.0
250934s	8.5	20.0	2.7	2.7	0.0	12.5
250936	8.9	15.5	2.4	2.4	0.0	0.0

* – control plot for group of permanent plots at Yampilske forestry; S – sanitary felling;

+ – neighbour group of permanent plots at Lymanske forestry; HCI – health condition index

Table 3

Pine stands health condition dynamics at permanent plots

Plot	Forestry	HCI with dead trees		HCI of living trees		The proportion of dead trees		The proportion of damaged trees	
		2019	2020	2019	2020	2019	2020	2019	2020
62-11	L	2.27	2.50	2.19	2.40	3.1	3.1	2.4	5.5
68-2	L	3.13	3.39	2.41	2.24	27.8	31.5	7.7	10.8
68-201**	L	2.27	2.99	2.23	2.51	1.4	18.6	4.3	10.5
53-7s	L	4.15	2.18	2.52	1.80	58.9	11.8	4.5	4.4
73-1*	Y	2.69	2.57	2.59	2.43	4.2	4.2	5.5	9.9
73-2*	Y	2.80	2.70	2.49	2.40	12.2	8.9	10.3	25.6
98-1* ^s	Y	2.87	2.54	2.69	2.51	7.9	1.1	3.2	6.5
98-101* ^s	Y	3.23	2.30	2.70	2.21	22.8	3.1	5.1	11.5

* plots, damaged by a forest fire in 2014

** plot, damaged by a stable forest fire in 2020

^s – plots, where sanitary felling was carried out between 2019 and 2020

On permanent plots in Lymanske forestry, only some cases of resin flow were fixed in 2019. In 2020 the proportion of damaged trees increased in the majority of plots. The main types of tree damage were: resin flow, mechanical damage, loss of apical dominance, or top dieback, and stem pests. Resin flow was the most common type of damage, which was registered in almost all plots.

Generally, tree mortality is a result of multiple interacting factors, including drought and complex biotic damage, so it is not easy to reveal the single cause (Allen, 2009). Our results showed that observed pine dieback in Lymanske Forest Enterprise is the general process. Obtained data on pine condition at permanent plots in Lymanske forestry are comparable with the monitoring data, as well as with increased

dieback (mortality) in birch stands at neighbourhood according to visual observations. That all proves the trend in the deterioration of pine condition in the region of study. Pine growth in the Steppe zone is limited by water availability, and frequency of droughts, so further climate change will negatively influence pine health condition. Climate-induced water stress may directly cause tree mortality through short-term acute effects such as irreversible disruption of water columns within tree stems and foliage. Chronic water stress causes the weakening and dieback of trees, either directly or indirectly through the attacks of pests such as bark beetles of such weakened trees. The population dynamics of forest insects and fungal pathogens also depends on the climatic conditions, so massive outbreaks of forest pests and diseases may be launched by climate drivers. Trees dieback can emerge abruptly at a regional scale when ecological (climatic, weather, and hydrologic) conditions exceed physiological thresholds of tolerance trees species or cause outbreaks of insect pests (Allen, 2009).

In Lymanske Forest Enterprise the probability of fires during the fire risk period is high (the average class of forest fire danger is about 2), taking into account a dominance of pure pine stands and dry forest site conditions (Гладунець, Пастернак, 2014). In Yampilske forestry in 2014, there were 16 forest fires in a total area of 1184 hectares (Гладунець, 2017), mainly they appeared as a result of active fights in the region in summer 2014.

Another group of permanent plots was allocated in Yampilske forestry. As the monitoring plot 250911 located in this forestry at the neighbour of a group of permanent plots damaged by fire, at the same forest site condition (B_2), and similar age, it was considered as control. Forest stands at control monitoring plots were slightly weakened, had no signs of a forest fire, and no dead trees. The average defoliation at this plot was 12% in 2020, and defoliation growth was the lowest from 2015, comparing to other monitoring plots. At permanent plots 73-1, 73-2, 98-1, and 98-101 in Yampilske forestry, almost all trees had signs of fire damage after the forest fire in summer 2014. According to the average values of the indicator «height of bark char», the trees in plots 73-2 and 98-101 were more affected, as the average height was over than 2 m (2.6 ± 1.0 and 2.2 ± 0.8 m, respectively), while the other two plots 98-1, and 73-1 had significantly lower values of an average height of bark char (1.3 ± 6.3 and 1.7 ± 0.9 m, respectively). By the health condition index (HCI of living trees varied from 2.49 to 2.70), the pine stands at these permanent plots in 2019 were severely weakened (see Tab. 3). Such values are significantly higher than at a control monitoring plot (HCI=2.2). At the first observation in 2019, the proportion of dead trees at these permanent plots was significant and varied from 4,2% to 22,8%. At less damaged plots (73-1 and 98-1) the mortality rate was significantly lower compared to another pair of plots (73-2 and 98-101), where the mortality exceeded the reference level (Лісотаксаційний довідник, 2013).

In 2020 the health condition of trees at all permanent plots in Yampilske forestry slightly become better, especially at plots 98-1 and 98-101, where selective sanitary felling between surveys took place. Despite the selective sanitary felling with the removing of dead and dying trees (HCI=4) and decrease of health condition index of studied stands, the process of pine stands dieback didn't stop, as new dead trees appeared at the plots and the number of damaged trees has increased. At all plots, the proportion of damaged trees almost doubled (See Tab. 3). The worst condition in terms of the presence of damage was assessed at plot 73-2, where 25,6% of trees were damaged, the majority of them had resin flow, which may indicate in particular the attempts of stem insect colonization, 3 trees had signs of stem insects. Such increase in biotic damage is explained by the gradual weakening of stands after a forest fire and may bring to further condition deterioration and mortality.

So, observations at permanent plots damaged by a forest fire in dynamics and combined with background data on forest monitoring plots, showed, that forest fires are one of the main factors influencing forest condition and mortality. Obtained data on the significant negative effects of forest fires are comparable with data (Сидоренко, Ворон, Мельник, Сидоренко, 2015) on a high positive correlation of health condition and trees mortality with the height of bark char. Projected climate change will probably cause significant changes in fire regimes, towards increasing frequency, area, and duration of forest fires. Artificial pure pine forests in the Steppe natural zone are especially vulnerable to such disturbance.

Conclusions. Significant deterioration of pine stands condition and their mortality is observed in Lymanske Forest Enterprise during the last decade. Pine stands of the enterprise are mainly weakened, due to unfavourable conditions for the growth of stands, climate change, changes in ground water regime, anthropogenic impact (sand mining, fires). Forest fires led to the deterioration of trees' condition and mortality, weakening of trees, and increased their susceptibility to biotic damage. Pure pine stands in the region should probably be replaced with more drought-resistant species or mixed forests.

The selective sanitary felling just temporarily improved the forest stands condition, but did not stop the degradation process, on the contrary, the elimination of dead trees changes the microclimate and further reduces humidity. On the other hand, the elimination of dead trees and dead logs reduces the level of fire hazard in pine forests, because reduces the reserves of forest combustible materials.

Список літератури

Букша, І.Ф., Пастернак, В.П., Пивовар, Т.С., Букша, М.І., Яроцький, В.Ю. (2018). *Методичні матеріали щодо проведення моніторингу лісів І рівня та забезпечення його якості*. Схвалено

- Вченою радою УкрНДІЛГА, протокол №8 від 8.07.2011 р. Харків, Затверджено НТР Держлісагентства України, Протокол №3 від 20 квітня 2018 р. 40 с. [Buksha, I.F., Pasternak, V.P., Ryvovar, T.S., Buksha, M.I., & Yarotsky, V. Yu. (2018). *Methodical materials on I level forests monitoring and ensuring its quality* / Approved by the Academic Council of UkrNDILGA protocol №8 of July 8, 2011 Approved. Scientific and Technical Council of the State Forestry Agency of Ukraine (Minutes №3 of April 20, 2018) Kharkiv, 2018 (in Ukrainian)]
- Букша, І.Ф., Пивовар, Т.С., Букша, М.І. (2011). Динаміка дефоліації крон сосни звичайної за результатами моніторингу лісів у Луганській, Сумській і Харківській областях. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 118, 49-57 [Buksha, I.F., Ryvovar, T.S., & Buksha, M.I. (2011). Dynamics of scots pine crowns defoliation in Lugansk, Sumy and Kharkiv regions according to results of I level forest monitoring. *Forestry & forest melioration*, 118, 49-57. (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/15/118-pdf>
- Гладунець, І.В. (2017). Лісові пожежі на території НПП «Святі гори» в період 2014-2016 рр. *Новачії, стан та розвиток лісового і садово-паркового господарства: матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конф. здобувачів вищої освіти і молодих вчених (м. Харків, 15-16 лютого 2017 р.)*. Харків: ХНАУ ім. В.В. Докучаєва, 10-11 [Gladunets, I.V. (2017). Forest fires in forests of NNP «Svyati Gory» during 2014-2016 period. In *Novations. Condition and development of forestry and landscape gardening management*, 10-11. Kharkiv: Ukraine: Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev (in Ukrainian)]
- Гладунець, І.В., Пастернак, В.П. (2014). Пожежі в лісах НПП «Святі Гори». *Лісівництво і агролісомеліорація*, 124, 154-160 [Gladunets, I.V., & Pasternak, V.P. (2014). Fires in the forests of National Natural Park «Svyati Gory». *Forestry & Forest Melioration*, 124, 154-160 (in Ukrainian)] Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2014_124_23
- Гром, М.М. (2010). *Лісова таксація*. Львів: НЛТУ України [Hrom, M.M. (2010). *Forest mensuration*. Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian)]
- Лакида, П.І., Ловинська, В.М. (2014). Особливості функціонування соснових деревостанів Придніпровського Північного Степу України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 125, 19-24 [Lakyda, P.I., & Lovinska, V.M. (2014). Peculiarities of functioning of pine stands of Pridneprovsky Northern Steppe of Ukraine. *Forestry & Forest melioration*, 125, 19-24 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/8/125-pdf>
- Лісотаксаційний довідник (2013). (за ред. С.М. Кашпора, А.А. Строчинського). Київ: Видавничий дім «Вінніченко» [Forest inventory handbook (2013). Strohyns'kyu, A.A., & Kashpor, S.M. (Eds.). Kyiv: Vinnichenko Publishing House (in Ukrainian)]
- Остапенко, Б.Ф., Ткач, В.П. (2002). *Лісова типологія*. Харків: Харків. держ. аграр. ун-т ім. В.В. Докучаєва [Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian)]
- Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання (2006): СОУ 02.02-37-476:2006. [Чинний від 2007-05-01]. Київ: Мінагрополітики України [Forest inventory sample plots. Establishing method (2006): Corporate standard 02.02-37-476:2006). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian)]
- Приходько, О.Б., Пастернак, В.П., Яроцький, В.Ю. (2019). Стан, структура і продуктивність соснових лісів ДП «Лиманське ЛГ». *Лісівництво і агролісомеліорація*, 135, 24-29. [Prihodko, O.B., Pasternak, V.P., & Yarotsky, V.Yu. (2019). Condition, structure and productivity of pine forests of SE «Lymanske Forestry». *Forestry and Forest Melioration*, 135, 24-29 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.24>
- Санітарні правила в лісах України (2016): у редакції постанови Кабінету Міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756 [Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). In the redaction of Decree of Cabinet Minister of Ukraine from 26 October 2016, № 756 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п>
- Сидоренко, С.Г., Ворон, В.П., Мельник, Є.Є., Сидоренко, А.Г. (2015). Особливості формування стиглих деревостанів після низових пожеж. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 127, 169-176. [Sydorenko, S.G., Voron, V.P., Melnik, E.E., & Sydorenko, A.G. (2015). Peculiarities of the mature pine stands formation after surface fires. *Forestry & Forest melioration*, 127, 169-176 (in Ukrainian)]. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2015_127_22
- Ткач, В.П., Мешкова, В.Л. (2019). Сучасні проблеми формування та відтворення біологічно стійких соснових лісів України в умовах зміни клімату. *Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення: матеріали міжнар. наук.-практ. конф. (м. Київ, 12-13 червня 2019 р.)*. Київ: НАН України, 70-78. https://uriffm.org.ua/sites/default/files/tezy_sosna19_final.pdf [Tkach, V.P., & Meshkova, V.L. (2019). Modern problems of formation and reproduction of biologically sustainable pine forests of Ukraine in the conditions of climate change. In V. Tkach, V. Meshkova, & N. Vysotska (Eds.), *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward*, 70-78. Kyiv, Ukraine: National Academy of Sciences of Ukraine (in Ukrainian)]. Retrieved from https://uriffm.org.ua/sites/default/files/tezy_sosna19_final.pdf
- Allen, C. (2009). Climate-induced forest dieback: An escalating global phenomenon? *Unasylva*, 60, 43-49. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/256462059_Climate-induced_forest_dieback_An_escalating_global_phenomenon
- Global Forest Watch, 2020. <https://www.globalforest-watch.org/map/>

- Koval, I., & Sydorenko, S. (2019). The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in Forest-steppe in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 61 (2), 123-134. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0012>
- Krynytskyy, H. T., Chernyavskyy, M. V., & Krynytska, O. H. (2016). Forestry of Ukraine: current state and development trends. *Bulletin of the Transilvania University «Forestry, Wood Industry, Adricultural Fjfd Engineering»*, 9 (58), 25-31. Retrieved from http://webbut.unitbv.ro/BU2016/Series%20II/BULETIN%20I/04_Krynytskyy.pdf
- McLauchlan, K. K., Higuera, Ph. E., Miesel, J., Rogers, B. M., Schweitzer, J., Shuman, Ja. K. ... Watts, A. C. (2020). Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers. *Journal of Ecology*, 108 (5), 2047-2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
- 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>
- Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., & Bernard, L. (2020) ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>

Динаміка стану соснових деревостанів у ДП «Лиманське лісове господарство»

В. П. Пастернак¹, О. Б. Приходько²,
Т. С. Пивовар³, В. Ю. Яроцький⁴

Розглянуто питання санітарного стану та всихання соснових насаджень на рівні одного державного підприємства (ДП «Лиманське лісове госпо-

дарство»), розташованого у Північній частині Степової зони України.

Для дослідження використовували дані двох повторних спостережень на восьми ділянках, закладених у 2019 р. у насадженнях із різним ступенем всихання та пошкоджених пожежею. Повторне обстеження здійснено у 2020 році. За допомогою польової ГІС Field-Map на пробних ділянках виконано картографування дерев та оцінено їхній санітарний стан, відпад і пошкодження. Для фонові оцінки стану соснових лісів використано результати спостережень на семи ділянках лісового моніторингу І рівня (обстеження 2015 та 2020 рр.). Джерелом кліматичних даних слугував он-лайн ресурс ClimateCharts.net.

Встановлено, що за останні 10 років унаслідок зміни клімату середньорічна температура повітря у регіоні зросла, а сума опадів зменшилася, що спричинило появу посушливого періоду у серпні, який є несприятливим для росту соснових лісів на межі їхнього ареалу. Відбулися зміни рівня ґрунтових вод, про що свідчить висихання озера Лиман впродовж 2013-2020 рр. Встановлено, що, порівняно з даними 2015 р., стан соснових деревостанів на ділянках моніторингу суттєво погіршився. На цей час соснові ліси за станом є «ослабленими» та «сильно ослабленими» (індекс санітарного стану живих дерев становить від 1,53 до 2,70), значно збільшилися середня дефоліація та відпад дерев. В ослаблених деревостанах з часом зростає частка дерев із пошкодженнями, зокрема внаслідок заселення стовбуровими комахами. Значну загрозу для штучних чистих соснових насаджень, що переважають у регіоні, становлять лісові пожежі. Внаслідок впливу пожеж відбулося погіршення стану деревостанів (ІС 2,49-2,70) та збільшився відпад дерев.

Ключові слова: Північний Степ; всихання; пожежі; пошкодження; моніторинг лісів; індекс санітарного стану; зміна клімату.

¹ Пастернак Володимир Петрович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-057-707-80-44. E-mail: pasternak65@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Приходько Олексій Борисович – директор ДП «Лиманське лісове господарство», вул. К. Гасієва, 1а, Лиман, 84404, Україна. Тел.: +38-097-358-97-49. E-mail: prikhodkoab@gmail.com

³ Пивовар Тетяна Сергіївна – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-097-358-97-49. E-mail: pyvovartatiana@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

⁴ Яроцький Володимир Юрійович – провідний інженер. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-057-707-80-44. E-mail: suerlay@ukr.net

Динамика состояния сосновых древостоев в ГП «Лиманское лесное хозяйство»

В. П. Пастернак¹, О. Б. Приходько²,
Т. С. Пивовар³, В. Ю. Яроцкий⁴

Рассмотрены вопросы санитарного состояния и усыхания сосновых насаждений на уровне одного государственного предприятия (ГП «Лиманское лесное хозяйство»), расположенного в Северной части степной зоны Украины.

Для исследования использованы данные двух повторных наблюдений на восьми участках, заложенных в 2019 г. в насаждениях с разной степенью усыхания и поврежденных пожаром.

¹ Пастернак Владимир Петрович – 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.: +38-057-707-80-44. E-mail: pasternak65@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

² Приходько Алексей Борисович – директор ДП «Лиманское лесное хозяйство», ул. К. Гасиева, 1а, Лиман, 84404, Украина. Тел.: +38-097-358-97-49. E-mail: prihodkoab@gmail.com

³ Пивовар Татьяна Сергеевна – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: +38-097-358-97-49. E-mail: pivovartatiana@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7250-8549>

⁴ Яроцкий Владимир Юрьевич – ведущий инженер. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г.Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: +38-057-707-80-44. E-mail: suerlay@ukr.net

Повторное обследование проведено в 2020 году. С помощью полевой ГИС Field-Map на пробных участках проведено картографирование деревьев и оценено их санитарное состояние, отпад и повреждения. Для фоновой оценки состояния сосновых лесов использованы результаты наблюдений на семи участках мониторинга лесов I уровня (обследования 2015 и 2020 гг.). Источником климатических данных служил онлайн ресурс ClimateCharts.net.

Установлено, что за последние 10 лет в результате изменения климата среднегодовая температура воздуха в регионе возросла, а сумма осадков – уменьшилась, что привело к появлению засушливого периода в августе, который является неблагоприятным для роста сосновых лесов на границе их ареала. Произошли изменения уровня грунтовых вод, о чем свидетельствует высыхание озера Лиман в течение 2013-2020 гг. Установлено, что состояние сосновых древостоев на участках мониторинга существенно ухудшилось по сравнению с данными 2015 года. Сейчас по состоянию сосновые леса являются «ослабленными» и «сильно ослабленными» (индекс санитарного состояния [ИС] живых деревьев составляет от 1,53 до 2,70), значительно возросла средняя дефолиация и усыхание деревьев. В ослабленных древостоях со временем увеличивается доля деревьев с повреждениями, в том числе, в результате заселения стволовыми насекомыми. Значительную угрозу для искусственных чистых сосновых насаждений, которые преобладают в регионе, представляют лесные пожары. Вследствие влияния пожаров произошло ухудшение состояния древостоев (ИС 2,49-2,70) и увеличился их отпад.

Ключевые слова: Северная Степь; усыхание; пожары; повреждения; мониторинг лесов; индекс санитарного состояния; изменение климата.

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/10.15421/412028>
Article received 2020.04.15
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Oleg Danchuk
o.danchuk@nltu.edu.ua

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

УДК 630*181.1

Теоретико-методологічні засади побудови лісонасінного районування України

О.Т. Данчук¹

Запропоновано методологію проведення робіт для розробки уніфікованого лісонасінного районування території України. Теоретичною основою такої розробки є природна внутрішньовидова мінливість деревних порід, що сформувалася у процесі еволюції як результат пристосування місцевих популяцій до умов середовища їх функціонування під дією природного добору. Для виділення окремих одиниць лісонасінного районування як базової, доцільно використати схему чинного фізико-географічного районування території України; результати досліджень, отримані під час розробки спеціальних видів районувань, важливих для організації ведення лісового господарства; дані з досліджень міжпопуляційної та внутрішньопопуляційної мінливості деревних порід.

Пропонується запровадити систему уніфікованих територіальних одиниць районування наступних рангових рівнів: підрайон, район, округ.

Просторові межі одиниць районування визначаються фізико-географічними умовами території та є загальними для всіх лісотвірних порід. Пропонований принцип використання уніфікованих одиниць районування відмінний від діючої з 1982 р. системи лісонасінного районування, яка, разом з наступними доповненнями, передбачала побудову окремих схем районування загалом для семи основних лісотвірних порід України.

Підрайони, як базові одиниці районування, пропонується поділити на донорні та реципієнтні. Статус донорних підрайонів передбачає заборону використання у їх межах репродуктивного матеріалу інорайонних популяцій. Донорні підрайони є також джерелом репродуктивного матеріалу для спеціально визначених відповідними переліками реципієнтних підрайонів.

Впровадження запропонованих теоретико-методологічних засад лісонасінного районування забезпечить збереження генофонду лісових порід, ефективний захист найцінніших популяцій від проникнення чужорідного генетичного матеріалу, а також збагачення генофонду менш цінних популяцій завдяки штучно регульованому притоку генів із найцінніших популяцій.

Ключові слова: лісове насінництво; лісонасінний підрайон, район, округ; донорні та реципієнтні одиниці районування; генетичні ресурси лісових порід; популяції; географічна мінливість.

¹ Данчук Олег Тадейович – кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісових культур та лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-260-04-08, +38-067-341-10-20; E-mail: oleg_danchuk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

Вступ. Лісонасінне районування є важливою складовою успішного ведення лісового господарства, оскільки забезпечує відповідність генетично зумовлених внутрішньовидових форм деревних порід природним умовам їх вирощування у процесі штучного лісовідновлення та лісорозведення.

Адаптація лісових порід до різноманіття природних умов відповідних територій супроводжуються змінами генетичної структури видів, зокрема, на рівні популяцій (Fisher, 1958; Wright, 1976; Paule, 1986; Giertych, 1989; Matras, 2006; 2013).

Теоретичні засади лісонасінного районування ґрунтуються на закономірностях географічної мінливості лісових порід, що проявляються в існуванні кліматичних екотипів або рас, провенієнцій, а також популяцій як ключових елементів внутрішньовидової структури виду (Патлай, 1984; Giertych, 1980, 1993; Chomicz, 2003; Matras, 2006^a; Sabor, 2006). Відмінності між окремими популяціями, набуті у процесі еволюції, мають генотиповий характер. Цей важливий аспект знаходить своє відображення у нормативній базі лісового насінництва у формі впровадження відповідних обмежень щодо територіального переміщення насіння та інших видів репродуктивного матеріалу (Патлай, 1984; Załęski, 1998; Matras, 2006, 2006^a).

У межах ареалів лісових порід генетичні відмінності між популяціями формуються внаслідок специфічної дії природного добору щодо різних генотипів у конкретних умовах середовища їх існування. Різноманітність генотипів у межах популяцій та генетичні відмінності між популяціями зумовлені в основному впливом мутацій, комбінативною мінливістю та специфічним характером природного добору (Fisher, 1958; Chomicz, 2013). Закономірності внутрішньовидової мінливості лісових порід, пов'язані зі змінами природних умов середовища існування видів, докладно досліджені у роботах вітчизняних та зарубіжних вчених (Giertych, 1980, 1993; Патлай, 1984; Криницький, 1993; Załęski, 1998; Sabor, 2006; Matras, 2006^a).

Під час аналізу причин і чинників, які спричиняють закономірні мікроеволюційні зміни генетичної структури популяцій та загрози збереженню генофонду лісових порід, поряд з дією природного добору та інших природних чинників, також потрібно враховувати можливість значної трансформації популяцій у зв'язку з антропогенним впливом, в умовах інтенсивного ведення лісового господарства та значних обсягів штучного відновлення лісів (Matras, 2006).

На сьогодні класичні умови генетичної рівноваги популяцій деревних порід, відповідно до закону Харді-Вайнберга, реально не забезпечуються, зважаючи не лише на типові природні процеси, але й на наявність глобальних кліматичних змін та значне антропогенне навантаження на лісові екосистеми (Matras, 2006; Chomicz, 2013).

Важливе значення у процесі формування генетичних особливостей популяцій має характер розмноження лісових порід у поєднанні з таки-

ми чинниками як наявність суцільних ареалів у межах значних територій, здатність до запилення вітром, а також перенесення пилку на значні відстані (Chomicz, 2013).

У зв'язку з високим рівнем генетичного поліморфізму деревних порід та дією різнобічних чинників впливу на генетичну структуру популяцій, особливого значення набуває оцінка генетичної дистанції між окремими популяціями та інтенсивності генетичного потоку між ними (Kowalczyk et al., 2000; Chomicz, 2013; Padutov et al., 2014; Padutov et al., 2016). Відповідно, для побудови картографічної схеми лісонасінного районування вагоме значення мають та матимуть у перспективі результати досліджень генетичної структури популяцій лісових порід (Krutovsky, 2014; Padutov et al., 2014). Численні наукові дослідження подібного напрямку дають змогу отримувати об'єктивні дані, які безпосередньо характеризують генетичні відмінності між окремими популяціями за комплексами відповідних генів і продуктами їх трансляції (Krutovsky & Neale, 2005; Krutovsky, 2014; Padutov et al., 2016).

Дієвим інструментом вивчення закономірностей еколого-географічної мінливості деревних порід, важливих для розробки лісонасінного районування, є результати досліджень, які отримують на основі досліджень географічних культур (Патлай, 1984; Paule, 1986; Криницький, 1993; Kowalczyk, Matras, Żybura, Sabor & Barzdajn, 2000). Особливо масштабний характер мали подібні дослідження, що були виконані у рамках програми IUFRO (Giertych, 1980, 1993; Sabor, 2006). Їх аналіз свідчить, зокрема, про необхідність вивчення характеру спадковості в умовах України низки особливо цінних популяцій, поширених за межами західних кордонів нашої держави, відомих своїми унікальними господарськими якостями та високим рівнем пластичності, що проявляється в успішній адаптації у широкому спектрі природних умов.

Варто зазначити, що процес деталізації меж окремих одиниць районування може мати перманентний характер, з огляду на активний прогрес у розвитку сучасних методів аналізу генетичної структури популяцій лісових порід.

Методика та об'єкти досліджень. *Об'єкт дослідження* – природна внутрішньовидова мінливість деревних порід на видовому, популяційному та субпопуляційному рівнях, що проявляється у формі генетично зумовлених ознак і властивостей, які мають важливе значення для досягнення цілей лісового господарства. *Предмет дослідження* – методологія проведення робіт як основа розподілу території країни на відокремлені одиниці лісонасінного районування, що відображають закономірності внутрішньовидової географічної мінливості деревних видів, генетичний потенціал і продуктивну цінність окремих популяцій.

Мета роботи полягає у розробці методологічних засад уніфікованого лісонасінного районування території України як однієї із важливих складових фундаментальних основ раціонального, науко-

во обґрунтованого ведення лісового господарства; визначення та обґрунтування ієрархічного статусу відповідних категорій одиниць лісонасінного районування, а також ємності наукового змісту відповідних спеціальних термінів і категорій.

Лісонасінне районування повинно забезпечувати обґрунтований поділ території країни на універсальні одиниці, у межах яких проявляється оптимальний рівень відповідності генетичних особливостей популяцій ключовим чинникам, що зумовлюють закономірності географічної мінливості лісових порід; уніфікований характер прийнятих одиниць районування в їх територіальних межах щодо всіх деревних порід, що мають природне поширення або культивовані штучно у процесі ведення лісового господарства; збереження генофонду деревних порід; ефективний захист найцінніших популяцій від проникнення чужорідного генетичного матеріалу та збагачення генофонду менш цінних популяцій завдяки контрольованому процесу притоку генів з найцінніших популяцій; відповідність вимогам і завданням ведення багатофункційного та стабільного лісового господарства.

Детальне обґрунтування доцільності впровадження лісонасінного районування на уніфікованих принципах нами здійснено раніше (Данчук, 2012).

Для досягнення поставленої мети роботи використано класичні методи емпіричних досліджень, зокрема метод компонентного аналізу, синтезу та узагальнення. Теоретичною основою розробки методологічних засад побудови лісонасінного районування України є природна внутрішньовидова мінливість деревних порід, що сформувалася у процесі еволюції під впливом мутацій, рекомбінацій та природного добору, а також як результат пристосування місцевих популяцій до умов середовища їх функціонування.

Також нами застосовано картографічний метод дослідження, у рамках якого здійснено аналіз різноманітних карт та на їх основі встановлено числові показники окремих категорій об'єктів.

Під час розроблення методичних засад лісонасінного районування здійснено аналіз схем і принципів фізико-географічного (Попов, Маринич, Ланько, 1968); геоморфологічного (Цись, 1962; Кравчук, 2005), природно-географічного (Гілецький, 2012), лісогосподарського (Пастернак, Киселевський, Федець, Медведєв, 1980; Кравчук та ін., 1981), геоботанічного (Білик та ін., 1977; Голубець, 2003), лісорослинного (Горшенін, Швиденко, 1954; Лавриненко, 1961; Курнаєв, 1977), лісокультурного (Дебринюк, 2003) районувань території України. Поряд з цим, досліджено наукові підходи до вирішення подібних завдань зарубіжними вченими (Trampler, Kliczkowska, Dmyterko, Sierpińska, 1990; Załęski, 1998; Matras, 2006^a).

Результати досліджень. Основою для складання удосконаленої схеми лісонасінного районування України стала розроблена у 1982 р. схема лісонасінного районування території колишнього СРСР (*Лесосеменное районирование основных...*, 1982). Під

час підготовки зазначеного нормативного документа було застосовано методологію, яка передбачала розробку окремих схем лісонасінного районування для головних лісотвірних порід лісів СРСР. У рамках зазначеного підходу поділ території на одиниці районування – лісонасінні райони та лісонасінні підрайони, зі встановленням їхніх меж, було здійснено окремо для кожної з лісотвірних порід.

В Україні вищезазначеним лісонасінним районуванням початково було охоплено наступні деревні види – *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* (L.) Karst., *Abies alba* Mill., *Larix decidua* Mill., *Quercus robur* L. та *Fagus sylvatica* L. Вказане районування, пізніше дещо деталізоване щодо Карпатського регіону (*Лесосеменное районирование Карпатских областей...*, 1983) включенням у сферу його дії *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., залишається чинним до цього часу.

Сучасний обіг лісового репродуктивного матеріалу в Україні регулюють «*Настанови з лісового насінництва*» 2017 року. Зазначений нормативний документ підтверджує дієвість вищезазначеної схеми лісонасінного районування.

У рамках діючого лісонасінного районування відсутні обмеження щодо переміщення всіх різновидів репродуктивного матеріалу у межах лісонасінних підрайонів, а також допускається вільне переміщення насіння у межах значних територій, що відносяться до інших лісонасінних підрайонів і районів. Крім того, зазначений вище нормативний документ у п. 7.3.4 містить визначення «місцевого» насіння, до якого відносять насіння, заготовлене у межах лісонасінного району, а також «інорайонного» насіння, яким вважається насіння, заготовлене в інших лісонасінних районах. Пунктом 7.3.4 також встановлюється доцільність використання у рівнинних областях, у межах лісорослинних зон насіння, заготовленого як у межах лісонасінного району, так і такого, що походить з території суміжних лісонасінних районів.

Керуючись вище зазначеними положеннями, нами здійснено оцінку масштабів можливого переміщення репродуктивного матеріалу у рамках діючого лісонасінного районування. Отримані результати ґрунтуються на аналізі картографічних матеріалів та приуроченості підприємств лісового господарства до відповідних лісонасінних одиниць районування.

На основі зазначеного вище підходу встановлено фізичні площі поверхні територій, у межах яких підприємства лісового господарства можуть без обмежень переміщати репродуктивний матеріал. Отримані результати для кожної з порід та для різних лісонасінних підрайонів суттєво різняться. Нижче наведено отримані розрахункові значення для декількох лісонасінних підрайонів *Pinus sylvestris* та *Quercus robur*, що характеризуються найбільшими значеннями аналізованого показника.

З'ясовано, що площа Волинсько-Житомирського насінного підрайону, виділеного для *Pinus sylvestris*

у межах Поліського лісонасінного району, становить 73,4 тис. км². Переміщення репродуктивного матеріалу лісгосподарськими підприємствами, що розташовані у межах його території та на суміжних територіях, може відбуватися без обмежень на площі понад 120 тис. км².

Виділення Києво-Чернігівського лісонасінного підрайону Поліського лісонасінного району *Pinus sylvestris*, що має площу близько 40 тис. км², передбачає можливість вільного переміщення репродуктивного матеріалу на площі понад 175 тис. км².

Здійснений аналіз схеми лісонасінного районування *Quercus robur* виявив, що за площі Подільського лісонасінного підрайону Придністерського лісостепового лісонасінного району в 61,5 тис. км² відсутні обмеження щодо переміщення репродуктивного матеріалу на площі майже 270 тис. км². Відстані між крайніми точками заготівлі репродуктивного матеріалу для потреб цього підрайону становлять понад 1100 км у широтному напрямку та 550 км – у меридіональному. За цих умов західні межі можливих районів заготівлі репродуктивного матеріалу охоплюють Закарпатську область, а східні майже сягають меж Харківської та Луганської областей.

Наведені територіальні параметри щодо норм переміщення репродуктивного матеріалу у рамках діючого лісонасінного районування фактично не враховують суттєвих відмінностей природних умов у межах цих територій, а також генетичних особливостей окремих популяцій. На основі наведеного вище, схема переміщення репродуктивного матеріалу, принаймні для *Pinus sylvestris* та *Quercus robur*, передбачає масштаби штучної міграції генетичного матеріалу, що суттєво перевищують науково обґрунтовані параметри.

Істотним недоліком чинного лісонасінного районування є низький рівень деталізації не лише географічної, але й висотно-зональної та екологічної мінливості лісових порід. У цьому аспекті особливості деталізації вимагають види з високим рівнем внутрішньовидового поліморфізму, що приурочені переважно до гірських територій та характеризуються відносно незначними, або ж малими за площею ареалами їх природного поширення. До числа таких видів в Україні відносять *Abies alba* Mill., *Larix decidua* Mill., *Picea abies*, *Quercus petraea* та деякі інші цінні деревні види. Особливої уваги у цьому аспекті потребують екстразональні цінні рослинні угруповання.

Суттєвим упущенням чинного лісонасінного районування є те, що поза його увагою залишилися питання збереження генофонду і стабільності селекційної структури найцінніших популяцій лісових порід. Необхідність впровадження дієвих норм щодо захисту таких популяцій і мікропопуляцій зумовлена чинником штучної міграції репродуктивного матеріалу. Значні обсяги проведення лісокультурних робіт впродовж останніх десятиріч суттєво вплинули на масштаби цього процесу. Норми чинного лісонасінного районування не враховують ва-

гомості зазначеного аспекту та не створюють необхідних бар'єрів для захисту генофонду найцінніших популяцій від стороннього генетичного матеріалу. Вирішення цієї проблеми можливе шляхом виділення у рамках лісонасінного районування територій з особливим статусом.

Одним із найскладніших питань під час розроблення методичних основ лісонасінного районування є обґрунтування схем картографічної складової районування. Ми розглядаємо лісові угруповання як екосистемне явище. Відповідно, методичні основи уніфікованого лісонасінного районування повинні базуватися на принципі нерозривного взаємозв'язку не лише між породним складом та якісними характеристиками лісових фітоценозів, але й між закономірностями формування генетичних особливостей окремих популяцій і середовищем їх поширення.

Серед різних видів районувань, в яких відображено вплив чинників, що мають важливе значення для практичної організації лісгосподарської діяльності, зокрема, у сфері лісовідновлення та лісорозведення, включаючи лісове насінництво, фізико-географічне районування є найбільш інтегрованим засобом відображення як клінальних, так і ступінчастих змін природного середовища (Попов, 1968). Провідна роль фізико-географічних чинників у процесах формування лісової рослинності та виникнення внутрішньовидових форм деревних порід підтверджена численними дослідженнями (Trampler, Kliczkowska, Dmyterko, Sierpińska, 1990; Załęski, 1998; Melnyk, 1999; Стойко та ін., 2004; Гілецький, 2012; Matras, 2013). При цьому варто дотримуватися відображеної у науковій літературі думки, що деревні види являють собою філогенетичну систему складних багаторівневих складових з трьома рівнями структурної організації: популяції, групи популяцій та міграційні зони. Території, які займають окремі популяції, сформувалися під впливом різних чинників, але відповідають в основному розмірам фізико-географічних районів (Видякин, 2003).

Фізико-географічне районування забезпечує поділ території на регіони, характеристики яких зумовлені природними особливостями їх розташування (клімат, рельєф, геологічна та геоморфологічна будова), характером рослинності, історією розвитку, діяльністю людини, а також характером процесів, що виникають на цій основі (Попов, Маринич, Ланько, 1968). Воно досить повно враховує комплекс чинників абіотичного та біотичного характеру, під дією яких на екосистемному рівні формуються відповідні синтаксони рослинності (Trampler, Kliczkowska, Dmyterko & Sierpińska, 1990; Melnyk, 1999; Стойко та ін., 2004). Сукупний вплив фізико-географічних чинників впродовж значних геологічних періодів в умовах глобальних кліматичних і геологічних процесів (вулканічна діяльність, епохи зледеніння і т.п.) визначає мозаїку не лише ландшафтів, ґрунтових умов, рослинного покриву, але й, в кінцевому під-

сумку, також і характер мінливості видів. Фізико-географічне районування слугувало основою під час опрацювання лісогосподарського районування України (Кравчук та ін., 1981; Лавриненко, 1961; Пастернак, Кисилевський, Федець, Медведєв, 1980), зокрема, в процесі виділення макро- та мезоієрархічних одиниць районування.

На підставі викладеного вище вважаємо, що під час розробки уніфікованої схеми лісонасінного районування фізико-географічне районування території України має ключове значення. Водночас, для більш об'єктивного визначення меж окремих одиниць лісонасінного районування, зокрема, на базовому їх рівні, вагоме значення має здійснення детального аналізу природних характеристик відповідних територій з використанням, зокрема, лісорослинного, геоботанічного, природно-географічного, комплексного лісогосподарського, а також лісокультурного районувань України та окремих фізико-географічних регіонів.

Під час розробки відповідних картографічних матеріалів потрібно також враховувати, що у рівнинних умовах сукупний вплив та специфіка прояву фізико-географічних чинників, у поєднанні з високим рівнем здатності генетичного матеріалу лісових видів до міграції, зумовлює в основному кліматичний характер змін лісової рослинності та, відповідно, генетичної структури популяцій.

У гірських умовах Карпат і Кримських гір популяції лісових порід проявляють як кліматичний, так і ступінчастий тип мінливості.

Специфічний характер мінливості спостережено у лісових порід, ареал яких охоплює умови Степу. Лісова рослинність у степовій зоні, будучи представленою невеликими територіально віддаленими локалітетами, може мати типові ознаки популяцій-ізолянтів, генетичною особливістю яких є наявність рідкісних алелів і генотипів.

Під час розроблення схеми лісонасінного районування важливо визначити базову одиницю районування та обґрунтувати критерії її виділення, а також встановити структуру і співвідношення між собою інших одиниць районування різного ієрархічного рівня.

Уніфікована схема лісонасінного районування України повинна поєднувати теоретичні та прикладні аспекти генетики, селекції, лісового господарства, а також практичні потреби сучасного лісового господарства. Базова одиниця лісонасінного районування повинна мати високий рівень еколого-генетичної єдності як результату відображення природних еволюційних процесів. Кожен структурний елемент лісонасінного районування, виділений на методичних принципах уніфікації, є територіально відокремленою цілісною одиницею, якій притаманна внутрішня органічна єдність та водночас специфічні екологічні, фізико-географічні і генетичні ознаки і властивості, що сукупно забезпечують реалізацію потенційних можливостей розвитку лісів на основі їх штучного лісовідновлення, лісорозведення та природного відновлення, як ключових складових системи ведення стабільного багатofункціонального лісового господарства.

Як окремі територіально-ієрархічні одиниці районування, доцільно використовувати вже існуючі категорії, а, саме, лісонасінні підрайони, лісонасінні райони, а також впровадити додаткову категорію – «лісонасінний округ».

У рамках схеми лісонасінного районування України пропонується виділити наступні округи: 1) Поліський мішаних лісів; 2) Західно-Український широколистяних лісів; 3) Дністерсько-Дніпровський лісостеповий; 4) Лівобережно-Дніпровський лісостеповий; 5) Північно-Степовий; 6) Азовсько-Причорноморський середньостеповий; 7) Причорноморсько-Приазовський південний сухостеповий; 8) Кримський степовий; 9) Карпатський гірський; 10) Кримський гірський.

Фізико-географічні та ландшафтні аналоги пропонування лісонасінних округів у межах території країни мають різні рангові рівні. В умовах Східноєвропейської рівнинної фізико-географічної та ландшафтної країни – це фізико-географічні зони або підзони; в умовах Карпат та гірського Криму – фізико-географічні та ландшафтні країни. Під час виділення лісонасінних округів зазначена розбіжність зумовлена специфічними завданнями лісонасінного районування та предметом його уваги.

Лісонасінні райони доцільно виділяти з урахуванням меж фізико-географічних областей та, за можливості, з урахуванням адміністративного поділу території. Територіально окремі лісонасінні райони можуть поєднувати декілька фізико-географічних областей, як це має місце у схемі діючого лісонасінного районування. Водночас, розміри лісонасінних районів будуть суттєво меншими порівняно з районами, виділеними діючою схемою районування. При цьому можна прогнозувати, що територія та межі районів, виділених за новою схемою, частково збігатимуться з межами підрайонів діючого на сьогодні лісонасінного районування.

Статус базової одиниці лісонасінного районування доцільно надати підрайону. У діючому лісонасінному районуванні поділ деяких районів на підрайони відсутній, тому базовою одиницею діючого районування варто вважати район.

На початковому етапі розробки лісонасінного районування територіальні межі підрайонів визначають на підставі вивчення фізико-географічних особливостей диференціації території, зокрема, її геологічної та геоморфологічної будови, характеру поширення лісової рослинності на рівні асоціацій і груп асоціацій, а також якісних і кількісних параметрів насаджень домінуючих порід. Кожен підрайон відрізняється специфічними екологічними та фізико-географічними особливостями, що зумовлює відповідний характер лісорослинних умов, породний склад і рівень потенційної продуктивності лісових фітоценозів.

Під час виділення підрайонів у заново розробленому лісонасінному районуванні основну увагу необхідно приділити найбільш цінним локалітетам

лісотвірних видів – на рівні субпопуляцій та мікропопуляцій, що характеризуються найціннішим генофондом.

З метою відображення ролі лісової рослинності в екосистемах регіону, а також характеру її поширення та, що особливо важливо – ступеня генетичної трансформації лісових екосистем, пропонується запровадити донорні та реципієнтні категорії підрайонів. Така диференціація підрайонів має за мету відобразити різний їхній статус у процесах збереження, відтворення та збагачення генетичних ресурсів кожного лісотвірного деревного виду.

Статус донорного підрайону для конкретного деревного виду передбачає, що штучне впровадження чужорідного генетичного матеріалу у межі будь-якого донорного підрайону з інших підрайонів, незалежно від їх статусу, не допускається. Такий підхід зумовлений актуальністю проблеми збереження генетичної чистоти автохтонних популяцій (Криницький, Третяк, 1999).

На території підрайонів-реципієнтів процеси штучного лісовідновлення та лісорозведення забезпечуються репродуктивним матеріалом як місцевого походження, так і отриманим з території спеціально визначених підрайонів, що мають статус донорних. Для підрайонів-реципієнтів умовою використання місцевого репродуктивного матеріалу є заготівля лісонасінної сировини виключно у межах атестованих об'єктів постійної лісонасінної бази.

Переміщення репродуктивного матеріалу за межі донорних підрайонів відбувається відповідно до спеціально розроблених для кожного деревного виду переліку підрайонів-реципієнтів, де цей матеріал може використовуватися. Відповідно, для кожного з реципієнтних підрайонів необхідно скласти перелік районів-донорів у розрізі відповідних деревних видів.

Подальші уточнення та корегування схем переміщення насіння та інших видів репродуктивного матеріалу будуть зроблені на підставі висновків, отриманих за результатами досліджень географічних культур, застосування методів генетичного аналізу тощо.

У процесі розробки схеми лісонасінного районування виникає потреба вирішення питання співвідношення меж відповідних одиниць районування та географічних меж територій підприємств – суб'єктів ведення лісового господарства. Оптимальним, з погляду забезпечення сприятливих умов для ведення господарської діяльності, є варіант, за якого межі лісонасінних підрайонів збігаються з межами території окремих підприємств або ж лісництв.

Висновки. Чинне лісонасінне районування, що було в основному розроблене у 1982 р. для території тодішнього СРСР, побудоване на методичних засадах, не адаптованих до умов України, та недостатньо ефективно забезпечує підтримання біологічної стійкості деревних видів, збереження їх генофонду, а також забезпечення стабільності функціонування лісових екосистем.

Впровадження пропонованої схеми побудови уніфікованого лісонасінного районування дасть змогу встановити об'єктивно обгрунтовані норми переміщення насіння та інших видів репродуктивного матеріалу між територіальними одиницями районування, на основі яких буде забезпечено збереження та захист генофонду особливо цінних популяцій, ефективне використання їх потенціалу для покращення генетичної структури з недостатньо якісним генофондом, а також поліпшення селективних характеристик наступних поколінь лісу.

Виділення уніфікованих одиниць районування пропонується рангових рівнів та категорій об'єктивніше відображатиме закономірності географічної мінливості лісових деревних видів та екосистемний характер взаємозв'язків між складом фітоценозів і середовищем їх функціонування, з урахуванням ступеня селекційної цінності та рівня генетичної трансформації лісових екосистем у межах окремих популяцій.

Список літератури

- Білик, Г.І., Голубець, М.А., Брадїс, Є.М., Андрієнко, Т.Л., Ткаченко В.С., Шеляг-Сосонко, Ю.Р., ... Махаєва, Л.В. (1977). *Геоботанічне районування Української РСР*. Київ: Наукова думка [Bilyk, G.I., Golubets, M.A., Bradis, Ye. M., Andrienko, T. L., Tkachenko, V. S., Shelyag-Sosonko, Yu. R., ... Makhaeva, L. V. (1977). *Geobotanical zoning of the Ukrainian SSR*. Kyiv: Scientific thought (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://psjd.icm.edu.pl/psjd/element/bwmeta1.element.bwnjournal-article-ksv62p597kz>
- Видякин, А.И. (2003). Проблемы сохранения генетического разнообразия лесных древесных растений и некоторые пути их решения на примере сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.). *Сборник научных трудов Института леса НАН Беларуси «Селекция, генетические ресурсы и сохранение генофонда лесных древесных растений (Вавиловские чтения)»*, 59, 98-102 [Vidyakin, A. I. (2003). Problems of conservation of the genetic diversity of forest woody plants and some ways to solve them using the case of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). *Collection of research works of the Forest Institute of the National Academy of Sciences of Belarus «Selection, genetic resources and conservation of the gene pool of forest woody plants»*, 59, 98-102 (in Russian)]
- Гілецький, Й.Р. (2012). Природно-географічне районування Українських Карпат як основа оптимізації природокористування у регіоні. *Науковий вісник Чернівецького університету: Географія*, 612-613, 28-32 [Hiletsky, J. R. (2012). Protected and geographic zone of the Ukrainian Carpathians as the basis of optimization nature by region. *Scientific Bulletin of Chernivtsi University: Geography*, 612-613, 28-32 (in Ukrainian)]
- Голубець, М.А. (2003). Геоботанічне районування Українських Карпат – основа раціонального природокористування. *Праці Наукового това-*

- ривства Т. Шевченка, т. XII, 283-292 [Golubets, M. A. (2003). Geobotanical zoning of the Ukrainian Carpathians is the basis of rational nature management. *Proceedings of the Scientific Society of T. Shevchenko*, 12, 283-292 (in Ukrainian)]
- Горшенин, Н.М., Шевченко, С.В. (1954). Лесорастительные районы западных областей УССР. *Научные записки Львов. с.-х. ин-та*, 4, 147-156 [Gorshenin, N. M., & Shevchenko, S. V. (1954). Forest growth areas of the western regions of the Ukrainian SSR. *Scientific notes of the Lviv Agricultural Institute*, 4, 147-156 (in Russian)]
- Данчук, О.Т. (2012). Про необхідність перегляду та уніфікації лісонасінного районування території України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 10, 104-110 [Danchuk, O. T. (2012). On the question of the need to review and unify forest-seed zoning of the territory of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 10, 104-110 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/451>
- Дебріньук, Ю.М. (2003). *Лісокультурне районування Західного Лісостепу України*. Львів: Камула [Debryniuk, Yu. M. (2003) *Forest-cultural zoning of the Western Forest-Steppe of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian)]
- Кравчук, Ю.П., Бондарь, В.С., Коваль, Я.В., Генсирук, С.А., Шевченко, С.В., Шеляг-Сосонко Ю.Р., Зайцев В.Т. (1981). *Комплексное лесохозяйственное районирование Украины и Молдавии*. Київ: Наукова думка [Kravchuk, Yu. P., Bondar, V. S., Koval, Ya. V., Gensyruk, S. A., Shevchenko, S. V., Shelyag-Sosonko, Yu. R., & Zaitsev, V. T. (1981). *Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova*. Kyiv: Scientific thought (in Russian)]
- Кравчук, Я.С. (2005). *Геоморфологія Скибових Карпат*. Львів: ЛНУ імені Івана Франка [Kravchuk, Ya. S. (2005). *Geomorphology of the External Carpathians*. Lviv: National University named after Ivan Franko (in Ukrainian)]
- Криницький, Г.Т., Третяк, П.Р. (1999). Охорона біорізноманіття: теоретичні та прикладні аспекти. *Науковий вісник Укр. держ. лісотехн. ун-ту «Дослідження, охорона та збагачення біорізноманіття»*, 9.9, 15-25 [Krynytsky, H. T., & Tretyak, P. R. (1999). Biodiversity Protection: Theoretical and Applied Aspects. *Ukrainian State Forestry University «Scientific Bulletin. Research, protection and enrichment of biodiversity»*, 9.9, 15-25 (in Ukrainian)]
- Криницький, Г.Т. (1993). *Морфологічні основи селекції деревних рослин: автореф. дис. ... доктора біолог. наук: 06.03.01/ Українська сільськогосподарська академія, Київ* [Krynytsky, H. T. (1993). *Morphophysiological basis of woody plant breeding: Doctortal dissertation abstract*. Ukrainian Agricultural Academy. Kyiv, Ukraine (in Ukrainian)]
- Крутовский, К.В. (2014). Перспективы использования геномных исследований в лесном хозяйстве. *Сибирский лесной журнал*, 4, 11-15 [Krutovsky, K. V. (2014). Prospects for the use of genomic research in forestry. *Siberian Forest Journal*, 4, 11-15 (in Russian)]. Retrieved from <https://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/articles/archive/arkhiv-2014/krutovskiy-k-v-perspektivy-ispolzovaniya-genomnykh-issledovaniy-v-lesnom-khozyaystve/>
- Курнаев, С.Ф. (1973). *Лесорастительное районирование СССР*. Москва: Наука [Kurnaev, S. F. (1973). *Forest growth zoning of the USSR*. Moscow: Science (in Russian)]
- Лавриненко, Д.Д. (1961). Лесохозяйственное районирование УССР. *Труды науч. совещ. по природно-географ. районированию Украинской ССР*, 3, 38-46 [Lavrinenko, D. D. (1961). Forestry zoning of the Ukrainian SSR. *Proceedings of the scientific meeting on the natural-geographical zoning of the Ukrainian SSR*, 3, 38-46 (in Russian)]
- Лесосеменное районирование основных лесообразующих пород в СССР (1982). Москва: Государственный комитет СССР по лесному хозяйству. [Forest-seed zoning of the main forest-forming species in the USSR (1982). Moscow: USSR State Committee on Forestry (in Russian)]
- Лесосеменное районирование Карпатских областей УССР (1983). Мукачево: Закарпатская лесная опытная станция [Forest seed zoning of the Carpathian regions of the Ukrainian SSR (1983). Mukachevo: Transcarpathian Forest Experimental Station (in Russian)]
- Лось, С.А., Терещенко, Л.І., Гайда, Ю.І., Шлончак, Г.А., Митроченко, В.В., Шлончак, Г.В. ... Данчук, О.Т. (2017). *Настанови з лісового насінництва*. Харків: Укр. наук.-дослід. ін-т ліс. госп-ва і агролісомеліорації [Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Gaida, Yu. I., Shlonchak, G. A., Mitrochenko, V. V., Shlonchak, G. V. ... Danchuk, O. T. (2017). *Forest Seed Production Guidelines*. Kharkiv: Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration (in Ukrainian)]
- Мельник, А.В. (1999). *Українські Карпати: еколого-ландшафтні дослідження*. Львів: ЛНУ ім. Івана Франка. [Melnik, A. V. (1999). *Ukrainian Carpathians: Ecological and landscape studies*. Lviv: Lviv National University named after Ivan Franko (in Ukrainian)]
- Падутов, В.Е., Баранов, О.Ю., Каган, Д.И., Ковалевич, О.А., Острикова, М.Я., Пантелеев, С.В. ... Кулагин, Д.В. (2014). Применение молекулярно-генетических методов в лесном хозяйстве Беларуси. *Сибирский лесной журнал*, 4, 16-20 [Padutov, V. E., Baranov, O. Yu., Kagan, D. I., Kovalevich, O. A., Ostrikova, M. Ya., Panteleev, S. V., ... Kulagin, D. V. (2014). Application of Molecular Genetic Methods for Forestry in Belarus. *Siberian Forest Journal*, 4, 16-20 (in Russian)]. Retrieved from <https://xn--80abmehbaibgnewcmzjeef0c.xn--p1ai/articles/archive/arkhiv-2014/padutov-v-e-baranov-o-yu-kagan-d-i-kovalevich-o-a-ostrikova-m-ya-panteleev-s-v-ivanovskaya-s-i-kulag/>

- Падутов, В.Е., Каган, Д.И., Баранов, О.Ю., Ивановская, С.И., Разумова, О.А., Шестибратов, К.А. (2016). Оценка биоразнообразия лесных насаждений лиственных древесных видов на основе молекулярного маркирования. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 129, 69-75 [Padutov, V.E., Kagan, D.I., Baranov, O.Yu., Ivanovskaya, S.I., Razumova, O.A., & Shestibratov, K.A. (2016). Biodiversity monitoring of forest stands of deciduous species based on molecular marking. *Forestry and Forest Melioration*, 129, 69-75 (in Russian)]. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2016_129_11
- Пастернак, П.С., Кисилевский, Р.Г., Федещ, И.Ф., Медведев, Л.А. (1980). Лесохозяйственное районирование Украинской ССР. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 56, 3-16 [Pasternak, P.S., Kisilevsky, R.G., Fedets, I.F., & Medvedev, L.A. (1980). Forestry zoning of the Ukrainian SSR. *Forestry and Forest Melioration*, 56, 3-16 (in Russian)]
- Патлай, И.Н. (1984). *Селекционно-экологические основы семеноводства и выращивания высокопродуктивных культур сосны обыкновенной, дуба черешчатого и ясеня обыкновенного в равнинной части Украинской ССР*: автореф. дис. ...д-ра с.-х. наук: 06.03.03/ Украинская сельскохозяйственная академия. Киев [Patlay, I.N. (1984). *Selective and ecological basics of seed production and cultivation of highly productive crops of Scots pine, English oak, and common ash in the plain areas of the Ukrainian SSR*: Doctoral dissertation abstract. Ukrainian Agricultural Academy. Kyiv, Ukraine (in Russian)]
- Попов, В.П., Маринич, А.М., Ланько, А.И. (1968). *Физико-географическое районирование Украинской ССР*. Киев: изд-во Киевского университета [Popov, V.P., Marinich, A.M., & Lanko, A.I. (1968). *Physico-geographical zoning of the Ukrainian SSR*. Kiev: Kiev University Press (in Russian)]
- Стойко, С.М., Ященко, П.Т., Кагало, О.О., Мілкіна, Л.І., Тасенкевич, Л.О., Загультський, М.М. (2004). *Раритетний фітогенофонд Західних регіонів України (созологічна оцінка й наукові засади охорони)*. Львів: Ліга-Прес [Stoyko, S.M.; Yashchenko, P.T.; Kagalo, A.A.; Milkina, L.I.; Tasenkevych, L.A.; & Zagulsky, M.M. (2004). *Rare Phytogenic Pool of the Western Regions of Ukraine (Sozological Assessment and Scientific Foundations of Conservation)*. Lviv: Liga-Press (in Ukrainian)]
- Цись, П.М. (1962). *Геоморфологія УРСР*. Львів: Львівський університет [Tsys, P.M. (1962). *Geomorphology of the SSR*. Lviv: Lviv University (in Ukrainian)]
- Chomicz, E. (2013). *Czynniki kształtujące zmienność genetyczną drzew leśnych*. *Kosmos*, 62 (4), 597-605 [Chomicz, E. (2003). *Factors shaping genetic diversity of forest trees*. *Kosmos*, 62, (4), 597-605 (in Polish)]. Retrieved from <http://psjd.icm.edu.pl/psjd/element/bwmeta1.element.bwnjournal-article-ksv62p597kz>
- Fisher R.A. (1958). *The genetical theory of natural selection*. 2nd edn. New York: Dover Publications
- Giertych, M. (1989). *Doskonalenie składu genetycznego populacji drzew leśnych*. Warszawa: Wydawnictwo SGGW-AR [Giertych, M. (1989). *Improving the genetic composition of the population of forest trees*. Warsaw: Publishing house SGGW-AR (in Polish)]
- Giertych, M. (1993). *Zmienność proveniencyjna*. In S. Bialobok, A. Boratynski, W. Bugala (Ed.), *Biologia sosny zwyczajnej* (ss. 325-339). Poznan: Kornik [Giertych, M. (1993). *Provenance variability*. In S. Bialobok, A. Boratynski, & W. Bugala (Ed.), *Biologia sosny zwyczajnej* (pp. 325-339). Poznan: Kornik (in Polish)]
- Giertych, M. (1980). *Polskie rasy sosny, świerka i modrzewia w międzynarodowych doświadczeniach proveniencyjnych*. *Arboretum Kornickie*, 25, 135-160. [Giertych, M. (1980). *Polish provenances of pine, spruce and larch in international experimental geographical cultures*. *Arboretum Kornickie*, 25, 135-160 (in Polish)]
- Kowalczyk, J., Matras, J., Żybura, H., Sabor, J., & Barzdajn, W. (2000). *Zmienność sosny pospolitej i hodowlana wartość jej proveniencji*. *Dokumentacja IBL*, p. 164 [Kowalczyk J., Matras J., Żybura H., Sabor J., & Barzdajn W. (2000). *Variability of Scots pine and consumer value of its provenances*. *Documentation of the Forest Research Institute*. Dok. IBL. p. 164 (in Polish)]
- Krutovsky, K.V., & Neale, D.B. (2005). *Forest genomics and new molecular genetic approaches to measuring and conserving adaptive genetic diversity in forest trees*. In Th. Geburek, J. Turok (Ed.), *Conservation and management of forest genetic resources in Europe* (pp. 369-390). Zvolen: Arbora Publishers
- Matras, J. (2013). *Ochrona różnorodności genetycznej drzew leśnych*. *Polish Journal of Agronomy*, 14, 22-36 [Matras, J. (2013). *The conservation of forest trees genetic diversity*. *Polish Journal of Agronomy*, 14, 22-36 (in Polish)]. Retrieved from http://www.iung.pulawy.pl/PJA/wydane/14/PJA14_3.pdf
- Matras, J. (2006). *Ochrona leśnych zasobów genowych*. In J. Sabor, (red.), *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych* (ss. 573-577). Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych [Matras, J. (2006). *Conservation of forest genetic resources*. In J. Sabor (Ed.), *Fundamentals of genetics and selection of forest trees* (pp. 573-577). Warsaw: State Forests Information Center (in Polish)]
- Matras, J. (2006^a). *Zasady przenoszenia nasion w warunkach nizinnych*. In J. Sabor (red.), *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych* (ss. 417-425). Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych [Matras, J. (2006^a). *Criteria for seed dispersal in plain areas*. In J. Sabor (Ed.), *Fundamentals of genetics and selection of forest trees* (pp. 417-425). Warsaw: State Forests Information Center (in Polish)]
- Paule, L. (1986). *Results of Provenance Experiment with Czechoslovak and Polish Silver Fir (Abies alba Mill.) Provenances*. *Acta Facultatis Forestalis Zvolen*, 28, 107-123.
- Sabor, J. (2006). *Zmienność wewnątrzgatunkowa drzew leśnych*. *Sosna zwyczajna i świerk pospolity*.

- In J. Sabor (Ed.), *Elementy genetyki i hodowli selekcyjnej drzew leśnych* (ss. 127-142). Warszawa: Centrum Informacyjne Lasów Państwowych [Sabor, J. (2006). Intraspecific variability of forest trees. Scots pine and Norway spruce. In: J. Sabor (Ed.), *Fundamentals of genetics and selection of forest trees* (pp. 127-142). Warsaw: State Forests Information Center (in Polish)]
- Trampler, T., Kliczkowska, A., Dmyterko, E., Sierpińska, A. (1990). *Regionalizacja przyrodniczo – leśna na podstawach ekologiczno – fizjograficznych*. Warszawa: PWRiL [Trampler, T., Kliczkowska, A., Dmyterko, E., & Sierpińska, A. (1990). *Natural-forest zoning on the basis of ecological and physiographic principles*. Warsaw: PWRiL (in Polish)]
- Wright, J. W. (1976). *Introduction to Forest Genetics*. New York: Academic Press
- Załęski, A. (1998). Lesna regionalizacja dla nasion i sadzonek jako element ochrony zasobów genowych. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 463, 183-190 [Załęski A. (1998). Forest regions for seeds and seedlings as an element of genetic resources protection. *Zeszyty Problemowe Postępów Nauk Rolniczych*, 463, 183-190 (in Polish)]

Theoretical and methodological foundations of developing forest-seed zoning of Ukraine

O. Danchuk¹

The paper presents the methodology for conducting activities in order to develop a unified forest-seed zoning of the territory of Ukraine.

The theoretical basis for the development of forest-seed zoning is the natural intraspecific variability of tree species formed in the course of evolution as a result of local populations' adaptation to the conditions of their environment under the influence of natural selection. The scheme of the current physical-and-geographical zoning of the territory of Ukraine was used as a basis for the demarcation of individual units of forest-seed zoning.

It is proposed to introduce a system of unified territorial zoning units of the following rank levels: sub-district, district, and region.

The spatial boundaries of the zoning units are determined by the physical and geographical conditions of the territory, taking into account the patterns of distribution and nature of forest vegetation reflected in special types of zoning, in particular, geobotanical, forest site type, integrated forestry, forest planting and others. The process of detailing the boundaries of

individual zoning units can be of permanent nature, given the active progress in the development of modern methods of analyzing the genetic structure of tree species populations.

The boundaries of unified zoning units established on the basis of the above described approach are common to all forest-forming species. The proposed principle of using unified zoning units differs from the system of forest seed zoning that has been applied since 1982, with subsequent additions which involved the construction of separate zoning schemes for the following species: Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.), Silver fir (*Abies alba* Mill.), European larch (*Larix decidua* Mill.), European oak (*Quercus robur* L.), Sessile oak (*Quercus petraea* (Matt.), European beech (*Fagus sylvatica* L.).

The current forest-seed zoning is characterized by large-scale base units, and its provisions do not provide adequate efficiency in maintaining the genetic purity and stability of the selection structure of the most valuable populations.

Sub-districts, as the basic units of zoning, are proposed to be divided into donor and recipient ones. The status of donor sub-districts stipulates a complete prohibition on the use within their boundaries of generative material populations from other districts. Donor sub-districts also serve as a source of generative material for a specific list of the recipient sub-districts.

The forest-seed zoning recommended for implementation will ensure the the gene pool of tree species preservation, the effective protection of the most valuable populations from the penetration of foreign genetic material, as well as the enrichment of the gene pool of less valuable populations due to the artificially regulated influx of genes from the most valuable populations.

Key words: forest seed production; gene pool; population; geographical variability; donor and recipient zoning units.

Теоретико-методологические основы построения лесосеменного районирования Украины

О.Т. Данчук¹

Предложена методология проведения работ с целью разработки унифицированного лесосеменного районирования территории Украины. Теоретической основой разработки лесосеменного

¹ Oleg Danchuk – PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor of the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka str., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-032-260-04-08, +38-067-341-10-20; E-mail: oleg_danchuk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

¹ Данчук Олег Тадеевич – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесных культур и лесной селекции. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-260-04-08, +38-067-341-10-20; E-mail: oleg_danchuk@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2059-5446>

районирования является естественная внутривидовая изменчивость древесных пород, сформировавшаяся в процессе эволюции как результат приспособления местных популяций к условиям среды их обитания под действием естественного отбора. В основе выделения отдельных единиц лесосеменного районирования использована схема действующего физико-географического районирования территории Украины. Предлагается внедрить систему унифицированных территориальных единиц районирования следующих ранговых уровней: подрайон, район, округ.

Пространственные границы единиц районирования определяются физико-географическими условиями территории с учетом закономерностей распространения и характера лесной растительности, отображенных в специальных видах районирования, в частности, геоботаническом, лесорастительном, комплексном лесохозяйственном, лесокультурном и других. Процесс детализации границ отдельных единиц районирования может иметь перманентный характер, учитывая активный прогресс в развитии современных методов анализа генетической структуры популяций древесных пород.

Установленные, на основании вышеизложенного подхода, границы единиц унифицированного районирования являются общими для всех лесообразующих пород. Предложенный принцип использования унифицированных единиц районирования отличается от действующей с 1982 г. с последующими дополнениями системы лесосеменного районирования, которая предполагала построе-

ние отдельных схем районирования для ряда древесных видов – *Pinus sylvestris* L., *Picea abies* [L.] Karst., *Abies alba* Mill., *Larix decidua* Mill., *Quercus robur* L., *Quercus petraea* (Matt.) Liebl., *Fagus sylvatica* L.

Действующее лесосеменное районирование характеризуется крупномасштабностью базовых единиц, а его положения не обеспечивают должной эффективности в вопросах сохранения генетической чистоты и стабильности селекционной структуры наиболее ценных популяций.

Подрайоны, как базовые единицы районирования, предлагается подразделять на донорные и реципиентные. Статус донорных подрайонов обуславливает полное запрещение использования в их пределах генеративного материала инорайонных популяций. Донорные подрайоны служат также источником генеративного материала для определенного перечня реципиентных подрайонов.

Рекомендуемое к внедрению теоретико-методологические основы лесосеменного районирования обеспечат сохранение генофонда древесных пород, эффективную защиту наиболее ценных популяций от проникновения чужеродного генетического материала, а также обогащение генофонда менее ценных популяций благодаря искусственно регулируемому притоку генов из наиболее ценных популяций.

Ключевые слова: лесное семеноводство; лесосеменной подрайон, район, округ; донорные и реципиентные единицы районирования; генетические ресурсы древесных пород; популяция; географическая изменчивость.



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412029>
Article received 2020.04.02
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Iurii Debryniuk
debrynuk_ju@ukr.net
General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630*228.7 : 633.877

***Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco як перспективний деревний вид для плантаційних лісових насаджень західного регіону України**

Ю. М. Дебринюк¹

Pseudotsuga menziesii є інтродуцентом з яскраво вираженою специфікою росту – порівняно повільноросла у молодому віці, але з наступним зростанням швидкості росту і підтриманням його високої інтенсивності впродовж тривалого періоду часу – до ста і більше років.

У молодих насадженнях до 25-30-річного віку псевдотсуга поступається за інтенсивністю росту ялині і особливо – модрині. При цьому перевага модрині за висотою та діаметром може складати два рази і більше. 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, тоді як ялина росте за I^b, а модрина – за I^c і вище класами бонітету. Після 35-річного віку псевдотсуга нагнє темпи росту і відставання її за середніми таксаційними показниками від модрині та ялини зменшується.

Для 35-річного віку в мішаних культурах за 60%-ої участі в складі, близьким до оптимального розміщення дерев дугласії можна вважати 4 × 3 м; при цьому відбувається добре очищення стовбурів від сучків, формування компактної крони за середньої її площі в межах 12-15 м².

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

При плантаційному лісовирощуванні *P. menziesii* розраховувати на отримання значних запасів деревини до 30-40-річного віку не варто. Завдання полягає у подальшому вирощуванні насаджень в режимі оптимальної густоти, що забезпечить значне посилення інтенсивності росту деревного виду після вказаного віку, і вже в період 50-60 років запаси деревини сягатимуть 700 м³·га⁻¹ і більше.

Найвищих класів бонітету псевдотсуга Мензіса досягає у насадженнях 40-60-річного віку за різних початкових схем розміщення садивних місць – 2,0-6,0 × 0,8-2,0 м.

Ключові слова: таксаційні показники; хід росту; густина; участь в складі; плантаційні насадження; Західний Лісостеп; Прикарпаття.

Вступ. Псевдотсуга Мензіса або дугласія (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco) є важливим комерційним видом на світовому ринку деревини, у зв'язку з чим широко культивується як в ареальних, так і в позаареальних умовах, зокрема, в Європі. Площа насаджень за участю дугласії на територіях Західної Європи сягає більше, ніж 800 тис. га

(Meuer, 1953; Podrázský, Zahradník, Pulkrab, Kubeček, & Peña, 2013; Da Ronch, Caudullo, & Rigo, 2016).

Найбільший досвід культивування псевдотсу-ги мають Великобританія, Іспанія, Франція, Німеччина, Нідерланди, Бельгія. На основі вивчення та узагальнення особливостей росту і продуктивнос-

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>

ті породи відібрано низку перспективних провенієнцій, які успішно впроваджують у ліси Європи з урахуванням природно-кліматичних умов конкретного регіону (Bastien, Sanchez, & Michaud, 2013). Окрім високої продуктивності, *P. menziesii* на відміну від ялини, достатньо добре переносить посухи, тому вид вважають перспективним для культивування у рівнинній частині Європи, де, за кліматичними прогнозами, тривалість посушливих періодів зростатиме (Moser, Bachofen, Müller, Metslaid, & Wohlgemuth, 2016).

Переваги дугласії за продуктивністю та стійкістю над аборигенними європейськими видами стали причиною подальшого розширення насаджень за участю цієї інтродукованої породи. Інша причина полягає у високій вартості деревини дугласії – приблизно на 25% вища, ніж ялинової (Burgbacher, & Greve, 1996). У більшості країн Європи *P. menziesii* сприймають як натуралізований вид, який заслуговує подальшого широкого впровадження в європейські ліси (Podrázský, Čermák, Zahradník, & Kouba, 2013).

Зокрема, у Чехії і Словаччині дугласію часто культивують у вологих бучинах і суббучинах. У 60-річному віці чисті культури мають запас 890, а мішані з ялиною у віці 70 років – 740 м³·га⁻¹ за щорічного поточного приросту у 19 м³·га⁻¹ (Šika, & Vinš, 1980). Встановлено відсутність негативного впливу псевдотсуги на фізико-хімічні властивості ґрунту, навіть у випадку створення монокультури (Kupka, Podrázský, & Kubeček, 2013), що дуже важливо з погляду запровадження плантаційного вирощування породи.

P. menziesii пред'являє відносно невисокі вимоги до забезпечення ґрунту поживними речовинами, прирівнюючись у цьому відношенні до ялини. Для розведення дугласії найбільш придатними є типи лісорослинних умов з помірними вологістю та забезпеченням поживними речовинами (Otto, 1972; Хмилевский, 1987). Позитивний вплив дугласії на ґрунт з-під сільськогосподарських угідь відзначили V. Podrázský, J. Remeš, V. Hart, & W. Moser (2009).

Поряд з цим, значний вплив на ріст дугласії має вологість ґрунту. Встановлено (Cole, Lindsay, Newton, & Bailey, 2018), що успіх закладання плантації за участю *Larix occidentalis* та *P. menziesii* в північно-східному Орегоні значною мірою залежить від цього чинника. Обробка ділянки гербіцидами може збільшити доступність вологи для саджанців у сухі літні місяці, тим самим збільшуючи ймовірність їх виживання.

Досвід інтродукції *P. menziesii* в Україні свідчить про добру акліматизацію виду в умовах Карпатського регіону, Західного Лісостепу, Західного Полісся та Правобережного Лісостепу, де її культури досягають віку технічної стиглості на 20-30 років раніше, ніж сосни звичайної (Бродович, Шляхта, 1979; Хмилевский, 1987; Матяш, 1988). В Україні лісові культури дугласії представляють собою ефективний об'єкт для дослідження, оскільки існують ділянки штучних насаджень 60-140-річного віку, які умовно

можна вважати закінченим продуктом людської праці (Дебринюк, 2003).

Псевдотсуга Мензіса є дуже перспективним видом для широкого лісокультурного випробування в умовах С₂, С₃ як у чистих насадженнях, так і в суміші з швидкорослими листяними породами (Дебринюк, 2003, 2018). З огляду на значну швидкорослість, високу біотичну стійкість, цінну деревину і порівняно просту технологію вирощування, цей вид має значну перспективу для культивування у лісових насадженнях з погляду нагромадження значних обсягів деревини за відносно короткий період часу.

В Україні насадження з перевагою у складі *P. menziesii* розповсюджені на площі близько 1000 га, а запас стовбурової деревини в них оцінюється в 230,5 тис. м³ (Дебринюк, 2013). Найбільші площі насаджень псевдотсуги зосереджені у Закарпатській області – більше 85% від загальної площі лісостанів породи в Україні. Псевдотсуга є породою мішаних деревостанів, які займають в Україні майже 92% від загальної площі насаджень за її переваги. Лісостани псевдотсуги у переважаючій більшості мають штучне походження (майже 98%), в т.ч. і насадження найвищої продуктивності, що свідчить про повну натуралізацію дугласії в умовах України.

В умовах свіжих і вологих яличин та бучин за раціональної технології вирощування псевдотсуга Мензіса характеризується інтенсивним ростом, високою біотичною стійкістю, нагромаджує в 50-60-річному віці близько 800 м³·га⁻¹ стовбурової деревини. У зоні букових лісів на північних, північно-західних і північно-східних схилах у віці 100 років насадження дугласії нагромаджують значні запаси стовбурової деревини – близько 2000 м³·га⁻¹. (Дебринюк, 2003).

Математичне опрацювання результатів досліджень показало, що в умовах вологої ялицевої бучини, залежно від технології створення та формування дугласієвих насаджень, у 50-55 річному віці середній діаметр хвойної породи змінюється в межах 37-40 см, а середня висота – від 26 до 27,5 м, що відповідає І^В-І^С класам бонітету (Дебринюк, 2011).

Аналіз результатів досліджень з культивування *P. menziesii* вказує на високу актуальність питання щодо удосконалення технології створення і вирощування швидкорослих насаджень у відносно багатих і багатих типах лісорослинних умов з урахуванням її максимальної продуктивності та біотичної стійкості, а також як перспективного виду для плантаційного лісовирощування.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – штучні насадження різних вікових груп за участю *P. menziesii* у грудових типах лісорослинних умов. Предмет дослідження – динаміка таксаційних показників *P. menziesii* залежно від типу лісорослинних умов, участі у складі, густоти та віку насадження. Мета досліджень – обґрунтувати доцільність створення плантаційних лісових насаджень за участю *P. menziesii* чистого або мішаного складу, встановити технологічні складові їх створення і вирощування.

Досліджувані об'єкти розміщені на території лісового фонду державних лісгосподарських підприємств Західного Лісостепу і Карпатського регіону.

Для встановлення впливу технологічних складових на продуктивність лісових культур за участю псевдотсуги Мензіса використано загальноприйняті методики лісівничо-таксаційних досліджень із закладанням пробних ділянок (ПД) у найхарактернішому місці досліджуваного насадження (Гірс, Маніта, Миронюк, Свинчук, Березівський, 2013).

Для вивчення особливостей ходу росту модельні дерева дугласії відбирали в групах особин сильного, середнього і слабого росту (Калинин, 1983).

Тип і підтип лісорослинних умов, тип лісу для кожної пробної ділянки уточнювали за методиками типологічних досліджень (Остапенко, Ткач, 2002) з використанням напрацювань З. Ю. Герушинського (1996).

Під час статистичного опрацювання експериментальних матеріалів застосовували методи варіаційної статистики (Горошко, Миклуш, Хомюк, 2004) і пакети програми Microsoft Excel.

Результати досліджень. Вивчали таксаційні показники *P. menziesii* у штучних насадженнях Західного Лісостепу, вплив густоти та участі виду у складі лісових культур на запас стовбурової деревини. На основі експериментальних досліджень отримано матеріал, який відображає основні аспекти росту і нагромадження деревини дугласії у насадженнях різного складу та віку.

Нагромадження стовбурової деревини дугласії євими насадженнями у лісорослинних умовах Західного Лісостепу та Карпатського регіону зумовлені як природно-кліматичними чинниками, так і технологією створення і вирощування таких насаджень, використанням садивного матеріалу різного походження. Проте, незважаючи на певну варіабельність таксаційних показників *P. menziesii* навіть у подібних типах лісорослинних умов, більшість дослідників (Бродович, Шляхта, 1979; Шляхта, 1991; Дебринюк, 2003) вказують на високу продуктивність насаджень у західному регіоні України за участю цього деревного виду. В окремих випадках зафіксовано навіть витіснення псевдотсугою ялини зі складу культур Прикарпаття і Карпат (Бродович, 1969; Дебринюк, 2011).

Високу продуктивність *P. menziesii* у рівнинних умовах західного регіону України відзначав В. М. Хмільовський (1987). Однак, за продуктивністю дугласія тут поступається модрині, меншою мірою – ялині і найкраще росте в чистих культурах за умови своєчасного проведення доглядових рубок. Ялина має перевагу над псевдотсугою за діаметром та висотою в молодому віці, відповідно, на 37-43 та 20-37%, а модрина – в 2,0-2,1 рази (Дебринюк, 2013).

Продуктивність та збережуваність псевдотсуги значною мірою залежить від її походження, участі у складі лісових культур, схем і способів змішування, густоти на одиницю площі. Ці складові відіграють основну роль у формуванні таксаційних показ-

ників породи. Тому важливо здійснити аналіз елементів технології створення та вирощування насаджень за участю *P. menziesii* зі встановленням найдодільніших з них, придатних для використання під час запровадження плантаційного вирощування цього цінного деревного виду.

Більшість насаджень за участю *P. menziesii* у Західному Лісостепу створені в умовах свіжого грунту (табл. 1). Тут дугласія до 30-річного віку росте переважно за I-I^b, в період 31-40 років – за I^a-I^c, 41-50 – за I^d, 61-70 – за I^b-I^c класами бонітету. Високу швидкість росту дугласія зберігає навіть після 100-річного віку, де бонітет її насаджень не нижче I^c класу. Найвищих класів бонітету псевдотсуга досягає у насадженнях за початкового розміщення 3,0-6,0 × 1,0-1,5 м.

У насадженнях до 30-річного віку середній показник збережуваності *P. menziesii* у лісових культурах знаходиться в межах 34-48%. При цьому, найнижча збережуваність деревного виду виявлена у чистих культурах (26,1 та 31,7%). Основні причини низької збережуваності деревного виду зумовлені негативним впливом на дугласію біотичних та антропогенних чинників.

Висока початкова густина лісових культур є причиною виникнення сильної конкуренції між рослинами, сильного прояву процесу диференціації з наступним вибиранням рубками догляду відсталіх у рості екземплярів.

Найвищий показник збережуваності рослин виявлено у насадженнях за участю псевдотсуги на рівні 10-30%. Початково рідке розташування дугласії у лісових культурах є причиною відсутності виникнення гострих конкурентних взаємовідносин між особинами та зумовлює їх високу збережуваність у насадженні.

Рівномірне розміщення дерев навіть в перегущених деревостанах (напр., ПД-14, 1632 шт.·га⁻¹) може забезпечити відносно інтенсивний ріст псевдотсуги (I^a бонітет) та нагромадження нею високих запасів деревини. Поряд з цим, густе розташування дерев зумовлює їх сильну диференціацію в рості, формування поверхневої кореневої системи і як наслідок – наявності вітровальних і сніговальних екземплярів у лісостані, чого ніколи не спостерігається у мішаних дугласієвих насадженнях і в чистих лісостанах дугласії нормальної густоти.

У насадженнях 31-40-річного віку середній показник збережуваності змінюється в межах 18-24%. Найнижчу збережуваність дугласії (близько 4%) виявлено у лісових культурах з дуже високою початковою густрою садіння (8,3 тис. шт.·га⁻¹, ПД-3ст), де значна кількість дерев породи випала зі складу культур внаслідок негативного впливу з боку конкурентоздатніших деревних видів. Найвищий показник збережуваності дугласії (25-35%) зафіксовано за її початкового розміщення в культурах за схемою 5-6 × 1-2 м.

У чистих культурах 41-50-річного віку збережуваність дугласії у лісових культурах становить 23-25% за початкового розташування рослин 3 × 1 м.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні показники *Pseudotsuga menziesii* у лісових культурах

№ ПД; вік, років	Початкове розміщення, м	Кількість дерев дугласії на 1 га, шт.		Збереженість, %	Середні таксаційні показ- ники дугласії		Таксаційний склад насадження	Бонітет	G, м ² ·га ⁻¹	M, м ³ ·га ⁻¹
		початкова густота	в період дослідження		висота, м	діаметр, см				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
Західний Лісостеп										
Тип лісорослинних умов – D ₂										
19; 27	4,5×0,6 (1,5)	340	116	34,1	12,1	13,1	1Пд5Дз 2Мдє2Гз	I ^a	1,56	11
31; 25	3,0×0,7 (1,0)	200	96	48,0	14,7	16,7	1Пд4Мдя 3Дз2Гз	I ^b	2,10	21
55; 27	3,0×0,5 (1,0)	320	135	42,2	14,5	17,6	1Пд5Мдє 2Дз1Гз1Яс	I ^b	3,30	28
54; 26	3,0×1,0 (0,8)	300	132	44,0	13,6	15,6	1,5Пд3,5 Мдг2Яс 1Дз1Гз1Яс	I ^b	2,53	20
18; 27	не встановл.	~ 250	100	~ 40,0	15,1	18,1	2Пд4Мдє 2Дз1Гз1Клг	I ^b	2,58	24
2; 25	4,0×0,7	450	220	48,9	10,8	16,4	3Пд6Дз1Гз	I	4,65	32
156; 26	4,0×0,8 (0,45)	1630	812	49,8	10,0	10,2	3Пд3Д2,5 Гз1,5Лп	I	6,60	40
12; 25	4,0×0,7	700	235	33,6	13,0	17,6	5Пд5Дз	I ^a	5,73	45
157; 26	2,0×0,8	6250	1632	26,1	9,3	9,6	10Пд	II	17,05	100
14; 27	1,5×1,3	5150	1632	31,7	13,6	15,9	10Пд	I ^a	32,21	252
124ш; 31	1,0×1,0	~ 40	9	~ 22,5	14,3	12,7	9Ял1Мдє + Пд	I ^a	0,12	1
3ст; 34	1,5×0,8	2700	101	3,7	16,4	19,9	1Пд5Дз4Клг	I ^a	3,16	27
5ст; 34	2,0×1,0	1500	480	32,0	11,9	11,6	2Пд6Дз 1Кля1Чш	II	5,09	31
4ст; 35	не встановл.	не встановл.	216	-	15,5	18,1	2Пд3,5Дз 4,5Бк	I ^a	5,54	44
7ст; 33	2,0×1,0 (0,7)	1400	236	16,9	17,6	20,1	3Пд4Бк 1Кля 1Влч1Гз	I ^a	7,49	65
3з; 36	6,0×1,0	550	75	13,6	24,4	34,9	3Пд3Мдя 2Лп2Гз	I ^d	7,19	77
6п; 39	6,0×1,0	550	190	34,5	23,8	34,6	5Пд2Мдє 1Гз1Дз1Лп	I ^c	17,89	194
1ст; 36	5,0×2,0 (по Пд)	1000	214	21,4	21,4	29,8	6Пд1Мдя 1Кля1Яс1Дз	I ^c	14,97	160

Продовж. табл. 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
10; 34	6,0 × 1,0 (по Пд)	1700	418	24,6	19,6	24,4	8Пд2Гз	I ^c	19,53	195
6; 33	не встановл.	не встановл.	1263	-	15,1	18,6	8Пд1Ос 1Яс	I ^a	34,52	272
13; 37	6,0 × 1,0	550	100	18,2	23,3	33,4	3Пд2Мдс 2Лп1Гз 1Яс1Чш	I ^c	8,80	92
8ст; 45	3,0 × 1,0	1650	412	25,0	28,4	34,4	9Пд0,5Сз 0,5Гз	I ^d	38,26	549
8ст; 50	3,0 × 1,0	1650	378	22,9	29,8	38,9	9,5Пд0,5Сз	I ^d	44,87	669
2ст; 63	1,5 × 1,0	6700	383	5,7	30,4	43,2	10Пд	I ^b	56,17	877
2ст; 68	1,5 × 1,0	6700	298	4,4	32,1	44,6	10Пд	I ^c	46,55	647
Тип лісорослинних умов – D ₃										
63б; 37	4,0 × 1,0	160	47	29,4	16,5	24,5	1Пд3Мдя 3Гз1Лп1Яс 1Взш	I ^a	2,20	18
10с; 33	2,0 × 1,5	~ 500	124	24,8	18,8	18,1	1Пд4Мдг 2Ял2Лп1Яс	I ^b	3,20	31
31л; 140	не встановл.	не встановл.	293	-	39,9	75,0	10Пд	I ^c	129,49	2500
Прикарпаття та Зовнішні Карпати										
Тип лісорослинних умов – D ₃										
7буд; 23	3,0 × 0,8	2400	1250	52,1	10,8	12,9	7Пд2Ял 1Яц	I ^a	16,39	103
4с; 32	2,0 × 1,5 (0,8)	1050	169	16,1	20,2	20,8	1Пд5Мдя 3Ял1Яц	I ^d	5,74	40
1о; 103	не встановл.	не встановл.	292	-	39,8	56,6	10Пд	I ^c	73,47	1489

У таких же чистих культурах псевдотсуґи 63-та 68-річного віку зберезуваність дугласії становить на рівні 5%. Такий низький показник зумовлений необґрунтовано високою початковою густотою культур (6,7 тис. шт.·га⁻¹).

У насадженнях 25-27-річного віку найвищі середні значення діаметра і висоти зафіксовано за участі дугласії в складі на рівні 10-20%. Поряд з цим, високими таксаційними показниками псевдотсуґа відзначається при 50%-ій участі в складі культур (ПД-12). Початково рідке розташування деревної породи, за умови виходу дугласії в перший ярус деревостану, забезпечує її інтенсивний ріст навіть у молодих насадженнях. Найвищих значень середніх висоти і діаметра у насадженнях 31-40-річного віку псевдотсуґа досягає за 30-50%-ої участі у складі (ПД-33, 6п, 1ст). У цих варіантах початкове розміщення дерев дугласії у насадженнях рідке – 5-6 × 1-2 м.

Зростання інтенсивності росту дугласії до I^c класу бонітету забезпечує поступове збільшення част-

ки породи у складі деревостану. Збільшення інтенсивності росту хвойної породи до I^d класу бонітету у насадженнях 41-60-річного віку забезпечує нагромадження значних обсягів стовбурової деревини у цей віковий період. Внаслідок високої швидкості росту, дугласія займає домінуюче положення у складі деревостану, і її частка за обсягами нагромадження стовбурової деревини зростає до 9-10 одиниць.

Запас стовбурової деревини дугласії залежить, насамперед, від початкової густоти, збережуваності породи в культурах, участі в складі та середніх висоти і діаметра. У всіх вікових діапазонах найбільший запас стовбурової деревини нагромаджують чисті насадження псевдотсуґи за рахунок більшої кількості особин на одиниці площі, хоча середні таксаційні показники породи можуть бути помітно меншими, ніж у культурах, де участь дугласії складає 30-60%.

За результатами аналізу ходу росту модельних дерев *P. menziesii*, які представляють дерева груп

слабкого, середнього і сильного росту, встановлено, що інтенсивний ріст за висотою для моделей всіх груп росту починається з 10-річного віку, однак відзначається високою інтенсивністю і в 50 років. У цьому ж віковому діапазоні спостережено також інтенсивний ріст за діаметром модельних дерев всіх груп росту, хоча і на різних рівнях. У цих же вікових межах спостережено інтенсивний ріст стовбура дугласії за об'ємом.

Беручи до уваги результати вивчення впливу густоти та участі в складі дугласії на її таксаційні показники, наголошуємо на недоцільності створення початково густих дугласієвих насаджень. Для економії садивного матеріалу, захисту хвойної породи від низьких температур, забезпечення сприятливих умов для її росту, пропонуємо вводити дугласію в плантаційні культури разом з ялиною, що зменшить як витрати садивного матеріалу головної породи, так і створить сприятливий мікроклімат для її вирощування. Ялина відіграє роль допоміжної породи, є основним об'єктом проміжного користування.

З цього погляду, важливим питанням є вибір початкової густоти штучних насаджень – як загальної, так і дугласії зокрема з підтриманням її в режимі, близькому до оптимального, впродовж всього періоду лісовирощування. Основним критерієм, який визначає оптимальну густоту деревостану на різних вікових етапах культивування, є отримання максимального доходу за мінімальних затрат на лісовирощування. У зв'язку з цим, необхідно прийняти таку початкову густоту садіння, яка на всіх етапах розрідження деревостану, а також у віці головної рубки, забезпечила б максимальний дохід від реалізації деревини.

Порівняно з вологими типами, в умовах свіжого грудку дугласія відзначається дещо нижчою інтенсивністю росту. Тому тут варто прийняти трохи вищу густоту насаджень як початкову, так і на наступних етапах вирощування. Доцільно використати рядове змішування порід за такими параметрами: *схема змішування* – 1р.Ял 1р.Пд; у рядах Пд обидві хвойні породи чергуються окремими садивними місцями; *розміщення садивних місць* – $1,5 \times 1,0$ м, в т.ч. Ял – $3,0 \times 1,0$ м, Пд – $3,0 \times 2,0$ м; *густина культур* – 6660 шт.га^{-1} , в т.ч. Пд – 1660 , Ял – 5000 шт.га^{-1} ; *початковий склад* – 7,5Ял2,5Пд (табл. 2).

У 7-10-річному віці проводять перше розрідження по ялині, вибираючи кожен другий екземпляр породи на новорічні ялинки в чистих рядах, а також вибирають всю ялину в рядах дугласії. У типі лісових культур відбуваються деякі зміни: *схема змішування* – 1р.Ял 1р.Пд; *розміщення садивних місць* – $1,5 \times 1,0$ м, в т.ч. Ял – $3,0 \times 2,0$ м, Пд – $3,0 \times 2,0$ м; *густина культур* – 3300 шт.га^{-1} , в т.ч. Пд – 1660 , Ял – 1640 шт.га^{-1} ; *кількісний склад* – 5Ял5Пд.

Під час наступного етапу розріджування (15-20 р.) зі складу культур вибирають всю ялину. В процесі розрідження отримують певну кількість стовбурової деревини ялини – $25-65 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$. Тип лісових культур характеризується такими параметрами: *схема змішування* – чисті ряди Пд; *розміщення*

ня садивних місць – $3,0 \times 2,0$ м; *густина культур* – 1660 шт.га^{-1} ; *склад* – 10Пд.

Для пришвидшеного нагромадження дугласією стовбурової деревини, у 35-40 років потрібно здійснити наступне розрідження. При цьому площа живлення одного дерева зростає до 12 м^2 , а самі дерева після рубки розташовуються в рядах за принципом «шахівок». Тип лісових культур характеризується такими параметрами: *схема змішування* – чисті ряди Пд; *розміщення садивних місць* – $3,0 \times 4,0$ м; *густина культур* – 830 шт.га^{-1} ; *склад* – 10Пд.

Для стимулювання росту дугласії за діаметром та доведення кількості дерев до оптимальної величини, в 50-55-річному віці здійснюють останнє розрідження, залишивши на 1 га 415 екземплярів породи з розташуванням 6×4 м.

У віці головної рубки (61-70 р.) отримують значну кількість деревини псевдотсуги (більше $800 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$), а потенційний загальний обсяг отриманої деревини у насадженнях псевдотсуги за весь період функціонування – близько $1,3 \text{ тис. м}^3\text{га}^{-1}$.

В умовах D_3 під час створення штучних насаджень дугласії дотримуються тих же принципів, що і в свіжих грудках, за винятком меншої початкової густоти садіння. Рекомендовано використати рядове змішування порід за такими параметрами: *схема змішування* – 1р.Ял 1р.Пд; у рядах Пд обидві хвойні породи чергуються окремими садивними місцями; *розміщення садивних місць* – $2,0 \times 1,25$ м, в т.ч. Ял – $2,0 \times 1,0$ (2,5) м, Пд – $4,0 \times 2,5$ м; *густина культур* – 4500 шт.га^{-1} , в т.ч. Пд – 1000 , Ял – 3500 шт.га^{-1} ; *початковий склад* – 7,7Ял2,3Пд (див. табл. 2).

У 7-10-річному віці в процесі першого розрідження вибирають всю ялину в рядах псевдотсуги, а в чистих рядах – кожен другий екземпляр. У типі лісових культур відбуваються деякі зміни: *схема змішування* – 1р.Ял 1р.Пд; *розміщення садивних місць*: Пд – $4,0 \times 2,5$ м, Ял – $4,0 \times 2,0$ м; *густина культур* – 2250 шт.га^{-1} , в т.ч. Пд – 1000 , Ял – 1250 шт.га^{-1} ; *кількісний склад* – 5,5Пд4,5Ял.

Друге розрідження здійснюють в 15-20 років і об'єктом проміжного користування є лише ялина, кількість якої знову зменшується в два рази. При цьому вже отримується невеликий обсяг ($23-45 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$) дрібної стовбурової деревини. Тип лісових культур має такий вигляд: *схема змішування* – 1р.Ял 1р.Пд; *розміщення садивних місць*: Пд – $4,0 \times 2,5$ м, Ял – $4,0 \times 4,0$ м; *густина культур* – 1625 шт.га^{-1} , в т.ч. Пд – 1000 , Ял – 625 шт.га^{-1} ; *кількісний склад* – 6,0Пд4,0Ял.

У процесі третього розрідження (35-40 років) вибирають всю ялину і 25% дерев дугласії з метою встановлення густоти насадження, близької до оптимальної. Тип лісових культур на цьому етапі має такий вигляд: *схема змішування* – чисті ряди Пд; *розміщення садивних місць* – $4,0 \times 2,5$ (5,0) м; *густина культур* – 750 шт.га^{-1} ; *склад* – 10Пд.

В 50-55 років необхідно здійснити останнє розрідження дугласії з вибиранням 25% екземплярів породи та встановлення їх «шахівкового» розміщення з вирощуванням за встановлених густоти і

розміщення дерев до віку головної рубки. Тип лісових культур наступний: *схема змішування* – чисті ряди Пд; *розміщення садивних місць* – $4,0 \times 5,0$ м; *густота культур* – 500 шт.·га⁻¹; *склад* – 10Пд.

Загальні обсяги заготовленої деревини, отриманих у процесі розріджень насаджень дугласії впродовж циклу вирощування та проведення головної рубки, становлять близько 1,7 тис м³·га⁻¹.

Таблиця 2

Таксаційна характеристика і технологічні етапи вирощування плантаційних лісових насаджень *Pseudotsuga menziesii* в умовах Західного Лісостепу та Прикарпаття

Таксаційні показники	Віковий діапазон, років				
	7-10	15-20	35-40	50-55	61-70 (головна рубка)
Тип лісорослинних умов – D ₂					
К-кість дерев на 1 га, шт.; (вибирається / залишається)	3360 / 1640* – / 1660	1640 / – – / 1660	– / – 830 / 830	– / – 415 / 415	– / – 415 / –
Hs (м);	–	7,8-10,2 / –	– / 16,2-20,4	– / 23,8-25,6	– / 27,4-29,6
Ds (см);	–	7,2-9,9 / –	– / 20,8-26,1	– / 32,8-37,6	– / 41,6-45,6
Ms (м ³ /га);	–	25-65 (45) / –	– / 200-365 (280)	– / 360-510 (435)	– / 765-925 (845)
Vs (м ³);	–	0,015-0,039 (0,025) / –	– / 0,240-0,440 (0,35)	– / 0,872-1,232 (1,05)	– / 1,610-2,080 (1,85)
Тип лісорослинних умов – D ₃					
К-кість дерев на 1 га, шт.; (вибирається / залишається)	2250 / 1250* – / 1000	625 / 625 – / 1000	625 / – 250 / 750	– / – 250 / 500	– / – 500 / –
Hs (м);	–	9,1-11,9 / –	19,4-21,4 / 17,6-21,3	– / 25,9-27,5	– / 29,1-32,0
Ds (см);	–	10,1-12,7 / –	19,7-21,8 / 23,6-29,1	– / 36,9-40,1	– / 43,2-47,7
Ms (м ³ /га);	–	23-45 (34) / –	185-250 (218) / 85-125 (105)	– / 300-335 (316)	– / 805-1040 (920)**
Vs (м ³);	–	0,037-0,072 (0,055) / –	0,296-0,400 (0,348) / 0,338-0,494 (0,415)	– / 1,205-1,494 (1,36)	– / 1,843-2,230 (2,04)

Умовні позначення: Hs, Ds, Ms, Vs – абсолютні середні значення показника;

* $\frac{\text{Ялина}}{\text{Псевдотсуга}}$; ** Тут і далі вказаний запас стовбурної деревини, який вибирається

Таким чином, *P. menziesii* за відповідних режимів культивування в оптимальних для неї типах лісорослинних умов є швидкозростаючим високопродуктивним деревним видом, повністю придатним для плантаційного лісовирощування. Лісовий культурфітоценоз, головною породою в якому є псевдотсуга Мензіса, представляє собою екосистему, антропогенно спрямовану на отримання максимально високих запасів деревини за відносно короткі терміни.

У випадку правильного підбору типу лісорослинних умов, найбільш високопродуктивних та стійких провенієнцій, застосуванні раціональних лісівничих прийомів під час створення насаджень за участю дугласії, можна сформулювати плантаційні насадження високої продуктивності в ґрунтових типах лісу.

Висновки. Внаслідок варіабельності ґрунтових умов, в яких культивують різні провенієнції *P. menziesii*, а також унаслідок різної технології створення і вирощування штучних насаджень, таксаційні показники деревостанів за участю цього деревного виду змінюються в широких межах.

У молодих насадженнях до 25-30-річного віку псевдотсуга поступається за інтенсивністю росту ялині і особливо – модрині. Після 35-річного віку псевдотсуга нарощує темпи росту і відставання її від модрині та ялини зменшується.

У свіжих ґрунтах до 30-річного віку дугласія росте переважно за I-I^b, в період 31-40 років – за I^a-I^c, 41-50 – за I^d, 61-70 – за I^b-I^c класами бонітету. Високу швидкість росту дугласія зберігає навіть після

100-річного віку, де бонітет її насаджень не нижче І^с класу. У вологих грудях ріст хвойної породи інтенсивніший, ніж у свіжих.

Найвищими показниками висоти та діаметра дуґласія характеризується у насадженнях, де її участь становить в середньому 30%. Поряд з цим, найвищі запаси деревини дуґласія продукує в насадженнях, де її участь у складі максимальна.

Висока початкова густина лісових культур дуґласії зумовлює сильний прояв явища диференціації рослин, що стає причиною вибирання рубками догляду значної кількості відсталих у рості екземплярів. З огляду на високу вартість садивного матеріалу псевдотсуги, запровадження початково густих культур є нераціональним лісівничим заходом.

Для забезпечення близької до оптимальної густоти дуґласії в лісових культурах у різні вікові періоди, в умовах свіжого грудю початкова густина породи повинна становити 1660 шт·га⁻¹ з розміщенням рослин 3,0×1,0 м; в умовах вологого грудю, відповідно, 4,0×2,0-2,5 м з початковою густиною 1000-1250 шт·га⁻¹. Культури дуґласії потрібно створювати за участю ущільнювача (напр., ялини), початкова густина якого в культурах повинна становити 3,5-5,0 тис. шт·га⁻¹.

Отже, доцільність введення *P. 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 деревний вид перспективним для плантаційного лісовирощування.

Список літератури

- Бродович, Т.М. (1969). Лжетсуга (дуґласія) в лесных насаждениях УССР. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 16, 99-104 [Brodovich, T.M. (1969). False beetle (Douglasia) in the forest plantations of the Ukrainian SSR. *Forestry & Forest Melioration*, 16, 99-104 (in Russian)]
- Бродович, Т.М., Шляхта, Я.М. (1979). *Методические рекомендации по технологии создания промышленных культур дуґласовой пихты в Карпатах*. Львов: Львов. лесотехн. ин-т [Brodovich, T.M., & Shlyakhta, Ya.M. (1979). *Methodological recommendations on the technology of creating industrial crops of Douglas fir in the Carpathians*. Lviv: Lviv Forestry Institute (in Russian)]
- Герушинський, З.Ю. (1996). Лісова типологія Українських Карпат. Львів: Піраміда. [Gerushynsky, Z.Yu. (1996). *Forest typology of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Piramida (in Ukrainian)]
- Гірс, О.А., Маніта, О.Х., Миронюк, В.В., Свинчук, В.А., Березівський, Л.М. (2013). *Лісотаксаційний довідник*. Київ: Видавничий дім «Вініченко» [Girs, O.A., Manita, O.H., Myronjuk, V.V., Swingchuk, V.A., & Berezhivsky, L.M. (2013). *Forest Inventory Directory*. Kyiv: Vinichenko Publishing House (in Ukrainian)]
- Горошко, М.П., Миклуш, С.І., Хомюк, П.Г. (2004). *Біометрія*. Львів: Камула [Goroshko, M.P., Myklush, S.I., & Khomyuk, P.G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula (in Ukrainian)]
- Дебріньюк Ю.М. (2013). Псевдотсуга Мензіса в Україні: розповсюдження, лісівничо-таксаційна характеристика та перспективи культивування. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 122, 24-31 [Debryniuk, Yu. M. (2013). *Pseudotsuga menziesii* in Ukraine: distribution, forestry and assessment characteristics and prospects of cultivation. *Forestry & Forest Melioration*, 122, 24-31 (in Ukrainian)]
- Дебріньюк, Ю.М. (2018). Ресурсний потенціал та перспективи плантаційного лісовирощування в Україні. *Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах*: матеріали міжнарод. наук.-практ. конф., м. Івано-Франківськ, 4-6 жовтня 2018 р., 72-79 [Debryniuk, Yu. M. (2018). Resource potential and prospects of plantation afforestation in Ukraine. In *The main problems and trends of further development of Forestry in the Ukrainian Carpathians*, 72-79. Ivano-Frankivsk, Ukraine: Ukrainian Scientific-Research Institute of Mountain Forestry (in Ukrainian)]
- Дебріньюк, Ю.М. (2003). Ріст і продуктивність *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco в лісових культурах Українського Розточчя. *Науковий вісник Укр. держ. лісотехн. ун-ту*, 13.2, 21-32 [Debryniuk, Yu.M. (2003). Growth and productivity of *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in forest crops of Ukrainian Roztocze. *Scientific Bulletin of the Ukrainian State Forestry University*, 13.2, 21-32 (in Ukrainian)]
- Дебріньюк, Ю.М. (2011). Технологічні аспекти створення і вирощування плантаційних лісових культур *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco у західному регіоні України. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 118, 142-148 [Debryniuk, Yu. M. (2011). Technological aspects of creation and cultivation of plantation forest crops *Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco in the western region of Ukraine. *Forestry & Forest Melioration*, 118, 142-148 (in Ukrainian)]
- Калинин, М.И. (1983). *Формирование корневой системы деревьев*. Москва: Лесная промышленность [Kalinin, M.I. (1983). *Formation of the root system of trees*. Moscow: Forestry industry (in Russian)]
- Матяш, В.В. (1988). Биология репродукции и семенной продуктивности лжетсуги Мензиса в Лесостепи Украины. *Интродукция и акклиматизация древесных растений*, 9, 21-24 [Matyash, V.V. (1988). Biology of reproduction and seed productivity of *Pseudotsuga menziesii* in the Forest-steppe of Ukraine. *Introduction and acclimatization of woody plants*, 9, 21-24 (in Russian)]
- Остапенко, Б.Ф., Ткач, В.П. (2002). Типологія лісу. Харків: Харківський державний аграрний університет [Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian)]
- Хмилевский, В.М. (1987). Повышение продуктивности лесов Лесостепи Украины путем интродукции дуґласии зеленой: автореф. ... канд. с.-х.

- наук: 06.03.01 / УкрНДІЛГА. Харьков, 23 с. [Khmilevsky, V.M. (1987). Increasing the productivity of forests of the Forest-steppe of Ukraine by introducing green douglas (Doctoral dissertation, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration, Kharkiv, Ukraine) (in Ukrainian)]
- Шляхта, Я. М. (1991). Итоги интродукции дугласии в лесных насаждениях Украины. *Folia dendrologia*, 18, 245-254 [Shlyakhta, Ya. M. (1991). The results of the introduction of Douglas in the forest plantations of Ukraine. *Folia dendrologia*, 18, 245-254 (in Russian)]
- Cole E., Lindsay A.R., Newton M., & Bailey J.D. (2018). Eight-year performance of bareroot Douglas-fir and bareroot and plug western larch Seedlings following herbicide applications, northeast Oregon, USA. *New Forests*, 49 (6), 791-814. <https://doi.org/10.1007/s11056-018-9653-5>
- 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 (pp. 325-369). *Managing Forest Ecosystems*, 25. Dordrecht, NLD: Springer. 527 p., https://doi.org/10.1007/978-94-007-6146-9_7. <https://prodinra.inra.fr/record/196485>
- Burgbacher, H., & Greve, P. (1996). 100 Jahre Douglasienanbau im Stadtwald Freiburg. [100 years of Douglas fir cultivation in the Freiburg city forest] *Allgemeine Forstzeitung*, 51, 1109-1111 [in German]
- Da Ronch F., Caudullo, G., & de Rigo, D. (2016). *Pseudotsuga menziesii* in Europe: distribution, habitat, usage and threats. In *European Atlas of Forest Tree Species* (pp. 146-147), Publisher: Publication Office of the European Union, Luxembourg
- Kupka, I., Podrázský, V., & Kubeček, J. (2013). Soil-forming effect of Douglas fir at lower altitudes. *Journal of Forest Research*, 59, 345-351. <https://doi.org/10.17221/27/2013-JFS>
- Meuer, H. (1953). Über die Beweggründe für die Anlage von Douglasien-Plantagen [About the motivation for the establishment of Douglas fir plantations] *Allgemeine Forstzeitung*, 8 (6), 101-104 [in German]
- 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. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-016-0574-1>
- Otto, H.-J. (1972). Zu den Standortansprüchen der Douglasie. [About the location requirements of the Douglas fir] *Forstarchiv*, 43, 62-65 [in German]
- Podrázský, V., Remeš, J., Hart, V., & Moser, W.K. (2009). Production and humus form development in forest stands established on agricultural lands. Kostelec nad Černými lesy region. *Journal of Forest Science*, 55 (7), 299-305 <https://doi.org/10.17221/11/2009-JFS>
- Podrázský, V., Čermák, R., Zahradník, D., & Kouba, J. (2013). 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. (2013). Hodnotová produkce douglasky tisolisté (*Pseudotsuga menziesii* (Mirb./ Franco) na kyselých stanovištích Školního polesí Hůrky, Písecko [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]
- Šika, A., & Vinš, B. (1980). Rust douglasku v lesních porostech ČSR [Douglas fir growth in forest stands of Czechoslovakia] *Pr: VULHM*, 28, 73-95 [in Czech]

***Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco as a promising tree species for forest plantations in the western region of Ukraine**

Iu. Debryniuk¹

Douglas-fir is an introduced species with a pronounced specific character of growth – it grows relatively slowly at a young age, but with a subsequent acceleration of the growth rate and maintaining its high intensity for a long period of time – one hundred or more years. Due to the variability of soil conditions in which Douglas fir of various provenances are cultivated, as well as due to different technologies of establishing and cultivating plantations of this species, the biometric indexes of forest stands with the participation of this coniferous species vary widely.

Particularly favorable for the growth of *Pseudotsuga menziesii* are moist fertile beech forest types and spruce forests of the Pre-Carpathian region, where already, starting from the age of 20, Douglas fir exceeds spruce in height and diameter, and the growth retardation from larch is much less than in the conditions of the Western Forest-steppe (within 10-15%). The density of Douglas fir in both young and middle-aged and mature stands plays a significant role in the stem wood accumulation by the species. The most productive plantations are characterized by the uniform distribution of trees over the area and high crown density.

The participation of *Pseudotsuga menziesii* in the composition that provides the maximum amount of wood accumulated by the species depends on the age of the plantations. In young plantations, the high share of Douglas fir in the tree composition is not accompanied by high stocks of wood, while in plantations older than 40 years, the highest stock of wood of this

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 Chuprynya str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-235-30-12, + 38-067-195-78-36. E-mail: debryniuk_ju@ukr.net. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0994-349X>

species is formed in pure stands. At the same time, the highest indexes of the height and diameter of Douglas fir are characteristic of plantations, where its share is on average 30%. For mixed plantations of 35 years of age, with a 60% share of Douglas fir in the stand composition, a close to the optimal spacing of the species can be considered as 4×3 m; in such a case, there is a good cleaning of trunks from branches (natural pruning), the compact crown formation with an average area of 12-15 m².

After 35 years of age and with the participation in the stand composition of more than 60%, Douglas fir significantly increases the intensity of growth, its density increases in all the studied stands, as a result of which the stock of stem wood increases. When growing Douglas fir in plantations, you should not expect to obtain significant volumes of wood of this species until the age of 30 to 40 years old. The task is to grow plantations in the optimal density mode, which will provide a very significant increase in the growth intensity of the species after the indicated age, and by the age of 50-60, wood standing volume will reach 700 m³·ha⁻¹ and more.

Douglas fir forest plantations should be grown pure in composition, which will eliminate the negative impact on the species at a young age of other faster-growing tree species, this will realize the potential for rapid growth and facilitate the crop tending. In order to protect Douglas fir from winter frosts, it is advisable to introduce an auxiliary tree species, for example, Norway spruce, into its plantations. Douglas fir reaches the highest classes of quality in plantations at the age of 40 to 60 years old at various initial schemes of spacing of planting spots – $2.0-6.0 \times 0.8-2.0$ m.

In pure plantations of *Pseudotsuga menziesii*, under conditions of fresh fertile site type, when creating plantations of the species, the initial density should be taken as 1.5-2.0 thousand pcs / ha (taking into account the auxiliary species, the total density will be 6.6 thousand pcs / ha). In moist fertile site types, the growth rate of *Pseudotsuga menziesii* is slightly higher, so the initial density of the species should be slightly less (1.0-1.5 thousand pieces / ha), and taking into account the auxiliary species – 4.5-5.0 thousand pcs / ha.

Key words: biometric indexes; growth course; density; participation in the composition; plantations; Western Forest-Steppe; Pre-Carpathian region.

***Pseudotsuga menziesii* (Mirb.) Franco как перспективный древесный вид для плантационных лесных насаждений западного региона Украины**

Ю. М. Дебринюк¹

Pseudotsuga menziesii является интродуцентом с ярко выраженной спецификой роста – сравнительно медленно растущая в молодом возрасте, но с последующим увеличением скорости роста и поддер-

жанием его высокой интенсивности в течение длительного периода времени – до ста и более лет.

В молодых насаждениях до 25-30-летнего возраста псевдотсуга поступает по интенсивности роста ели и особенно – лиственнице. При этом преимущество лиственницы по высоте и диаметру может составлять два раза и более. Если в чистых культурах псевдотсуга растет по I^a и I^b классам бонитета, в дубово-дугласиевых – по I^a, в дугласиево-еловых – по I, то в дугласиево-лиственнично-еловом – по II классу бонитета, тогда как ель растет по I^b, а лиственница – по I^c и выше классам бонитета.

Долевое участие *P. menziesii* в составе, который обеспечивает максимальные объемы стволовой древесины, зависит от возраста насаждений. В молодых насаждениях высокое участие дугласии в составе не сопровождается высокими запасами древесины, тогда как в культурах старше 40 лет высокий запас древесины породе формируется именно в чистых по составу насаждениях. При этом самыми высокими показателями высоты и диаметра дугласии характеризуется именно в насаждениях, где ее участие составляет в среднем 30%.

Для 35-летнего возраста в смешанных культурах с 60%-ым участием в составе, близким к оптимальному можно считать размещение дугласии 4×3 м; при этом происходит хорошее очищение стволов от сучьев, формирование компактной кроны при средней ее площади в пределах 12-15 м². После 35-летнего возраста и при участии в составе более 60% дугласии существенно увеличивает интенсивность роста, и увеличение ее участия в составе насаждений сопровождается увеличением запаса стволовой древесины.

При плантационном культивировании дугласии приоритетом является выращивание насаждений в режиме оптимальной густоты, что обеспечивает значительное усиление интенсивности роста породы после 30-40 лет, и уже к 50-60 годам запасы древесины достигают 700 м³·га⁻¹ и более.

Высоких классов бонитета псевдотсуга достигает в насаждениях 40-60-летнего возраста при различных начальных схемах размещения посадочных мест – $2,0-6,0 \times 0,8-2,0$ м.

Ключевые слова: таксационные показатели; ход роста; густота культур; участие в составе; плантационные насаждения; Западная Лесостепь; Прикарпатье.

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



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412030>
Article received 2020.05.22
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Rimma Matveeva
matveevrn@yandex.ru

peace Avenue, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russia

УДК 630.232.5

Изменчивость полусибов плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской в 30-35-летнем возрасте по показателям роста

Р. Н. Матвеева¹, О. Ф. Буторова², В. В. Нарзязев³, Ю. Е. Щерба⁴

Приведены данные по изменчивости полусибов *Pinus sibirica* Du Tour на лесосеменной плантации «Ермаки», расположенной в Ермаковском административном районе юга Красноярского края. Полусибовы плюсовых деревьев, аттестованных по семенной или стволовой продуктивности, выращены из семян 1984 года посева. Посадка растений проведена по схеме 8 × 8 м. Цель исследований – проанализировать изменчивость семенного потомства плюсовых деревьев *Pinus sibirica* в возрасте 30-35 лет. Установлена изменчивость высоты, диаметра ствола, площади и объема кроны, длины хвои в зависимости от генотипа и принципа отбора плюсовых деревьев. Средняя высота семей в 30-летнем возрасте составила 5,1-6,2 м. Интенсивным ростом отличались полусибовы семей 17/17 по стволовой продуктивности и 89/53, 103/67 – по семенной (на 10,7-21,6% больше). Наибольший диаметр ствола отмечен в семьях 17/17 по стволовой и 90/54, 89/53 – по семенной продуктивности. К 35-летнему возрасту высота семей составила 6,3-7,6 м при диаметре ствола 16,4-21,2 см. Некоторые полусибовы достигают высоты 9,1-9,6 м.

Коэффициент, характеризующий отношение диаметра кроны к диаметру ствола при свободном размещении деревьев на плантации, составил 15,6-18,4. Относительная высота (H/d), равная 34,0-39,7, характеризует отсутствие конкурентных взаимоотношений между деревьями. Средний объем кроны 35-летних деревьев в семьях плюсовых деревьев в 2018 году, в зависимости от варианта, составил 19,3-26,4 м³.

Сравнение семей плюсовых деревьев по комплексу показателей свидетельствует, что лучшим ростом отличается семенное потомство плюсовых деревьев по семенной продуктивности. Отсеlectedированы семьи и полусибовы по интенсивности роста, длине хвои. Данные полусибовы рекомендуются для дальнейшего размножения прививкой с целью создания лесосеменных плантаций.

Ключевые слова: *Pinus sibirica*; лесосеменная плантация; семья; семенная продуктивность; стволовая продуктивность; селекция; Сибирь.

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: matveevrn@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 Нарзязев Владимир Владимирович – аспирант кафедры селекции и озеленения. Сибирский государственный университет науки и технологий имени академика М. Ф. Решетнева, пр. Мира, 82, г. Красноярск, 660049, Россия. Тел.: (391)8-902-978-8055. E-mail: narvv2008@rambler.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1485-3381>

⁴ Щерба Юлия Евгеньевна – кандидат сельскохозяйственных наук, доцент 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: shcherba_@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8437-4274>

Введение. Сохранение и развитие генетически ценного потенциала хвойных пород достигается путем создания объектов лесосеменной базы, в том числе лесосеменных плантаций, которые предназначены для получения улучшенных семян (Гайлис, 1964; Вересин, Ефимов, Арефьев, 1985; Шлончак, Шлончак, Шинкоренко, 1990; Vidakovic, Kajba, Bogdan, Podnar, & Becarevic, 2000; Желдак, 2017; Поплавская, Ребко, Тупик, 2018).

Лесосеменные плантации семенного происхождения, или семейственные плантации, создают с использованием семян и саженцев, выращенных из семян плюсовых деревьев. Плюсовые деревья, имеющие наибольшую селекционную ценность, являются кандидатами для включения их потомства в состав лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности и ЛСП второго порядка (Lester & Barr, 1966; Fries, Lindgren & Andersson, 2008; Бессчетнова, 2009; Земляной, Шакиров, 2013).

Обор плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской проводят на интенсивность роста и семенную продуктивность, но вероятность отбора деревьев, сочетающих все желательные признаки, очень мала. Максимальный селекционный эффект можно получить лишь при отборе деревьев по одному хозяйственному признаку (Котов, 1982; Ефимов, 1987; Гусев, 1990; Sweet, 1995; Царев, Лаур, 2009).

Отбор элитных деревьев по генотипу лишь на 48% совпадает с отбором по фенотипу крупнейших деревьев (Giertych, 1995). Необходимость детальной и всесторонней проверки плюсовых деревьев, в том числе и по потомству, признается основой их успешного внедрения в лесохозяйственное производство (Бессчетнов, Бессчетнова, 2012; Щерба, Копченко, Поплюкова, 2020).

На семейственных плантациях отмечается значительный уровень изменчивости деревьев разных семей по высоте, диаметру ствола, приросту центрального побега, длине хвои, количеству шишек, их крупности и другим показателям. Это позволяет отселектировать лучшие деревья по заданным признакам (Райт, 1978; Жигунов, Бондаренко, 2018).

Результаты изучения испытательных культур хвойных видов в разных регионах крайне противоречивы. В испытательных культурах ели европейской в Ленинградской области к 30-39-летнему возрасту доля семей при отборе по достоверности отличий от контроля по диаметру и высоте варьирует от 9 до 39%. Обобщение опыта создания лесосеменных плантаций показало, что генетический эффект плантаций первого порядка, определяемый по скорости роста испытательных культур, оценивается в среднем на уровне 8-9% с амплитудой 5-25% (Бондаренко, Жигунов, 2016).

Большое значение имеют плантации сосны кедровой сибирской экологической направленности, создаваемые в пригородных зонах, вблизи санаториев (Матвеева, Буторова, 2013; Братилова, Матвеева, Буторова, Щерба, 2015). Отмечается, что

такие плантации выполняют средоулучшающие, рекреационные, а также санитарно-гигиенические функции.

Несмотря на ряд проведенных исследований, особенности изменчивости потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской, аттестованных по ствольной или семенной продуктивности, недостаточно изучены. В частности, не установлены интенсивность роста сосны кедровой в разные возрастные периоды на лесосеменных плантациях в условиях Средней Сибири. Поэтому *актуальным аспектом* является изучение семейственной изменчивости потомств плюсовых деревьев, отобранных по ствольной и семенной продуктивности, выявление и отбор деревьев, потомства которых отличаются наиболее интенсивным ростом в данных условиях произрастания.

Объекты и методы исследований. Объектами исследований явились полусибирские *Pinus sibirica* Du Tour, произрастающие на лесосеменной плантации «Ермаки» в Ермаковском административном районе Красноярского края. Сопоставлена изменчивость показателей семенного потомства плюсовых деревьев 13/13, 17/17, 18/18, аттестованных по ствольной продуктивности, и 86/50, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110/74 – по семенной за пятилетний период в возрасте 30-35 лет. Полусибирские выращены из семян 1984 года посева. Посадка растений проведена по схеме 8 × 8 м.

Предмет исследований – изменчивость полусибирских *Pinus sibirica* в период 2013-2018 гг. по высоте, диаметре ствола и кроны, объему кроны, длине хвои. **Целью исследований** явилось проведение оценки биометрических показателей полусибирских сосны кедровой сибирской за 5-летний период, выделение семей, отличающихся наибольшей интенсивностью роста. Для изучения уровня изменчивости селекционных признаков использовали шкалу С. А. Мамаева (1973).

Объем кроны определяли по формуле В. Д. Тюрина (1938):

$$V = \frac{\pi \cdot D_{кр}^2 \cdot L_{кр}}{8},$$

где π – 3,14; $D_{кр}$ – диаметр кроны, м; $L_{кр}$ – протяженность кроны, м.

Обработка данных проведена с использованием программы Excel.

Результаты и обсуждение. По результатам исследований, средняя высота полусибирских в 30-летнем возрасте составила 5,3 м в потомстве плюсовых деревьев, аттестованных по ствольной продуктивности, и 5,7 м – по семенной (табл. 1).

Сравнивая высоту отдельных семей, видно, что семья 89/53 значительно превосходит по данному показателю (на 10,7-21,6%) полусибирские семьи 13/13, 18/18 в группе по ствольной продуктивности и 86/50, 109/73, 110/74 – по семенной ($t_{ф} > t_{05}$).

Изменчивость диаметра ствола 30-летних полусибирских плюсовых деревьев, отобранных по ствольной и семенной продуктивности, приведена в табл. 2.

Таблица 1

Изменчивость высоты полусибов 30-летнего возраста, м

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,07$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью							
13/13	5,1	6,7	3,0	0,23	19,6	4,5	3,77
17/17	5,6	7,1	4,3	0,27	15,7	4,8	1,85
18/18	5,4	7,7	3,6	0,32	22,2	5,9	2,18
Среднее значение	5,3			0,27	19,1	5,1	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью							
86/50	5,2	7,9	2,7	0,28	26,0	5,4	3,00
89/53	6,2	7,1	5,0	0,18	10,3	2,9	-
90/54	5,9	7,9	4,1	0,34	19,8	5,8	0,78
99/63	5,8	7,8	4,5	0,21	15,7	3,6	1,45
103/67	6,0	7,1	4,8	0,19	11,5	3,2	0,76
109/73	5,4	6,9	3,7	0,24	17,0	4,4	2,67
110/74	5,6	7,4	3,8	0,22	17,3	3,9	2,11
Среднее значение	5,7			0,24	16,8	4,2	
Среднее значение по опыту	5,6			0,25	17,5	4,4	1,95

Таблица 2

Изменчивость диаметра ствола полусибов 30-летнего возраста, см

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,07$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	9,8	13,9	4,7	0,57	25,4	3,30
17/17	10,8	14,8	4,9	0,94	28,9	1,88
18/18	10,5	14,7	4,2	0,82	29,3	2,27
Среднее значение	10,3			0,78	27,9	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	10,7	21,1	4,0	0,92	41,4	1,99
89/53	12,4	16,3	7,3	0,80	22,3	0,68
90/54	13,2	17,8	8,1	0,86	22,6	-
99/63	11,4	19,5	8,1	0,74	27,6	1,59
103/67	12,6	17,2	8,5	0,72	20,6	0,53
109/73	10,6	16,5	5,4	0,83	30,2	2,18
110/74	12,9	18,9	7,5	0,68	23,7	0,27
Среднее значение	11,9			0,79	26,9	
Среднее значение по опыту	11,4			0,79	27,2	1,54

Средний диаметр ствола полусибов в 30-летнем возрасте составил 11,4 см. У полусибов деревьев, аттестованных по семенной продуктивности, диаметр ствола на 15,5% больше, чем по стволовой. Наибольшим диаметром ствола отличаются деревья семьи 90/54. Значительно отстают по диаметру ствола (на 24,5-34,7%) полусибов семей 13/13, 18/18,

109/73. Средний диаметр кроны в 2013 г. у 30-летнего потомства плюсовых деревьев, отобранных по семенной продуктивности, равен 2,4 м, что на 20,8% больше, чем у плюсовых деревьев, отобранных по стволовой продуктивности (рис. 1).

Максимальный диаметр кроны среди 30-летних полусибов был зафиксирован в потомстве,

отобранном по семенной продуктивности (семьи 90/54 и 110/74).

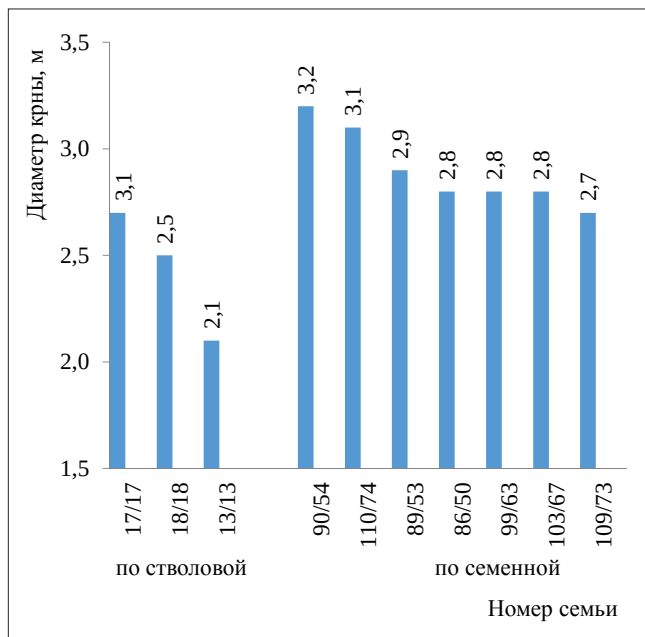


Рис. 1. Диаметр кроны 30-летних полусибов, м

Показатели прироста центрального побега 31-летнего семенного потомства (2014 г.) плюсовых деревьев, отобранных по стволу и семенной продуктивности, показаны на рис. 2.

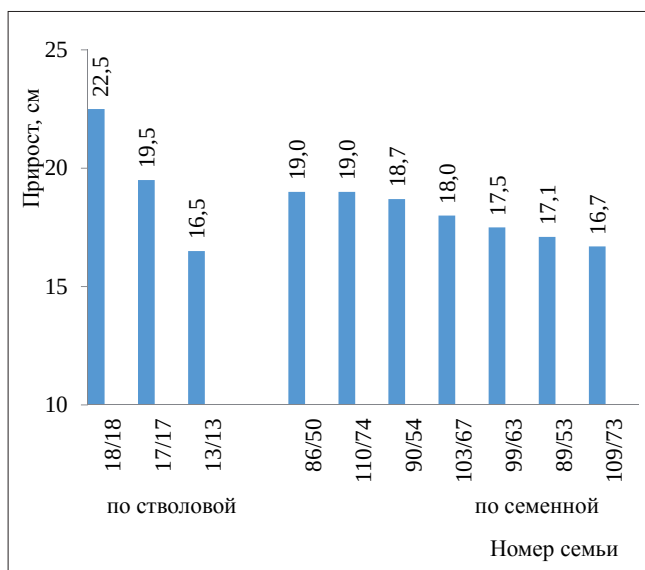


Рис. 2. Прирост центрального побега 31-летних полусибов в 2014 г., см

Текущий годовой прирост центрального побега в 2014 г. был равен 18,4 см. В семьях по стволу продуктивности данный показатель варьировал от 16,5 до 22,5 см, достигая максимального значения в семье 18/18. В семьях по семенной продуктивности колебание составляло от 16,7 до 19,0 см при наибольших значениях в семьях 86/50 и 110/74.

В 2015 г. прирост центрального побега семенного потомства плюсовых деревьев увеличился на

42,9%, но интенсивным ростом отличалась семья 103/67 по семенной продуктивности.

В 2016 г. прирост центрального побега семенного потомства плюсовых деревьев составил 23,9 см, то есть снизился на 10,0%. В числе лучших вариантов по данному показателю выделены семьи 89/53 и 99/63.

Среднее значение прироста центрального побега полусибов в 2017 г. увеличился до 30,1 см (табл. 3).

В семьях, отобранных по стволу продуктивности, среднее значение прироста равнялось 30,3 см, по семенной – 30,1 см. Уровень изменчивости данного показателя в основном средний. Значительным приростом характеризовалось потомство плюсового дерева по стволу продуктивности 17/17, превышая семьи 13/13, 86/50, 109/73 на 14,3-19,3%, что подтверждено t -критерием. С остальными вариантами различия по приросту незначительны ($t_{\phi} < t_{0.5}$).

Прирост центрального побега 35-летних полусибов в 2018 г. остался почти на том же уровне, что и в 2017 г., и составил 31,6 см (табл. 4).

В семьях, отобранных по стволу и семенной продуктивности, прирост имеет близкие значения (31,0 и 31,8 см). Сравнивая прирост центрального побега отдельных семей видно, что достоверно меньшие значения прироста имеют семьи 13/13, 18/18, 99/63 и 109/73 ($t_{\phi} > t_{0.5}$) в сравнении с семьей 89/53, имеющей наибольшее значение (35,8 см).

Прирост центрального побега полусибов 35-летнего возраста в семьях за последние пять лет составил 129,9 см (табл. 5).

Приросты семенного потомства плюсовых деревьев по стволу и семенной продуктивности имеют близкие значения (127,1 и 130,9 см).

Наибольшим приростом за пять лет (136,7-138,5 см) отличаются семьи плюсовых деревьев 17/17, 89/53, 103/67. Достоверно меньшее значение ($t_{\phi} > t_{0.5}$) по приросту за пять лет отмечено в семенном потомстве плюсовых деревьев 13/13 и 109/73 в сравнении с семьей 17/17. Внутрисемейное варьирование прироста в вариантах находится на среднем и низком уровнях.

К 35-летнему возрасту средняя высота полусибов разных семей достигла 6,3-7,6 м, различие между средними крайними значениями составляет 20,6% (табл. 6).

Уровень изменчивости данного показателя в двух вариантах (18/18, 86/50) высокий, в остальных – средний и низкий.

Наибольшей высотой отличаются особи семьи плюсового дерева 89/53 по семенной продуктивности, которая достоверно превышает значения данного показателя над потомством плюсовых деревьев 13/13, 86/50 и 109/73 ($t_{\phi} > t_{0.5}$). Другие семьи отличаются от лучшего варианта незначительно.

Некоторые полусибовы достигают высоты 9,1-9,6 м в семьях: 86/50 (дерево 45-30), 18/18 (дерево 7-33), 90/54 (дерево 10-35), 99/63 (дерево 10-19) и 110/74 (дерево 10-23).

Диаметр ствола деревьев в разных семьях варьировал от 16,4 до 21,2 см при среднем значении 18,5 см (табл. 7). Уровень изменчивости данного показателя – от среднего до высокого. Значительное превышение (10,8-14,6%) над средним значением

отмечено в вариантах 90/54, 89/53 и 110/74. Достоверное превышение среднего диаметра ствола в семье 90/54 с наибольшим диаметром ствола отмечено над потомством плюсовых деревьев 13/13, 18/18 и 99/63 ($t_{\phi} > t_{05}$).

Таблица 3

Изменчивость текущего прироста центрального побега полусибов 34-летнего возраста в 2017 году, см

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,09$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	27,7	38	23	0,93	14,7	2,86
17/17	32,8	39	23	1,52	15,4	-
18/18	31,9	39	24	1,18	13,8	0,47
Среднее значение	30,3			1,21	14,6	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	28,7	40	19	1,13	19,0	2,16
89/53	31,2	37	22	1,33	14,7	0,79
90/54	30,6	39	21	1,59	18,0	1,00
99/63	30,5	39	20	1,23	17,1	1,18
103/67	32,0	40	16	1,99	22,5	0,32
109/73	27,5	34	19	1,12	15,7	2,81
110/74	31,0	37	23	0,84	12,1	1,04
Среднее значение	30,1			1,32	17,0	
Среднее значение по опыту	30,1			1,29	16,3	1,35

Таблица 4

Изменчивость текущего прироста центрального побега полусибов 35-летнего возраста в 2018 году, см

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,07$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	29,9	40	22	1,12	16,3	3,15
17/17	33,9	42	24	1,74	17,1	0,83
18/18	30,1	44	19	1,96	24,4	2,31
Среднее значение	31,0			1,61	19,3	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	31,8	47	22	1,35	20,4	1,98
89/53	35,8	43	26	1,50	14,6	-
90/54	31,5	43	25	1,59	17,5	1,97
99/63	31,2	44	22	1,42	19,4	2,23
103/67	31,6	44	26	1,49	17,1	1,99
109/73	29,7	45	20	1,86	24,2	2,55
110/74	32,0	43	24	1,14	15,9	2,02
Среднее значение	31,8			1,48	18,4	
Среднее значение по опыту	31,6			1,52	18,7	1,97

Таблиця 5

Изменчивость суммарного (за пять лет) прироста центрального побега полусибов 35-летнего возраста, см

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,09$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	116,8	147	95	3,23	12,1	3,53
17/17	138,5	164	109	5,23	12,5	-
18/18	132,0	185	95	7,05	20,0	0,74
Среднее значение	127,1			5,17	14,9	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	124,7	178	81	5,24	20,2	1,86
89/53	137,8	156	99	5,05	12,7	0,10
90/54	131,1	151	108	3,81	10,1	1,14
99/63	132,3	161	99	4,01	12,9	0,94
103/67	136,7	161	106	4,57	12,0	0,26
109/73	123,4	153	88	4,84	15,2	2,12
110/74	134,6	163	103	3,60	12,0	0,61
Среднее значение	130,9			4,44	13,6	
Среднее значение по опыту	129,9			4,66	14,0	1,23

Таблиця 6

Изменчивость высоты полусибов 35-летнего возраста, м

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	P, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,07$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью							
13/13	6,3	8,0	4,0	0,25	17,1	4,0	3,90
17/17	7,0	8,4	5,4	0,29	13,6	4,1	1,65
18/18	6,8	9,5	4,6	0,38	21,2	5,6	1,82
Среднее значение	6,6			0,31	17,3	4,6	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью							
86/50	6,5	9,6	3,7	0,32	23,5	4,9	2,83
89/53	7,6	8,5	6,0	0,22	10,1	2,9	-
90/54	7,2	9,4	5,2	0,37	17,9	5,1	0,93
99/63	7,1	9,1	5,7	0,22	13,1	3,1	1,61
103/67	7,3	8,7	5,9	0,23	11,5	3,2	0,94
109/73	6,6	8,3	4,8	0,26	15,3	3,9	2,94
110/74	6,9	9,1	4,8	0,26	16,7	3,8	2,06
Среднее значение	7,0			0,27	15,4	3,8	
Среднее значение по опыту	6,9			0,28	16,0	4,1	1,97

В некоторых семьях выделяются полусибовы с диаметром ствола 28,0 см и выше. Эти деревья отмечены в семьях 103/67 (дерево 10-27), 110/74 (дерево 2-18), 89/53 (дерево 2-22) и 86/50 (дерево 8-17). Среднее значение диаметра ствола среди семенного потомства плюсовых деревьев,

отобранных по стволовой продуктивности, составило 17,1 см, отобранных по семенной продуктивности – 19,1 см.

Средний диаметр кроны деревьев к 35-летнему возрасту в изучаемых семьях увеличился до 2,7-3,5 м при среднем значении 3,2 м (табл. 8).

Таблица 7

Изменчивость диаметра ствола полусибов 35-летнего возраста, см

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,07$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	16,4	24,5	8,1	1,02	27,1	2,93
17/17	18,0	23,2	9,0	1,35	24,9	1,72
18/18	17,3	25,1	7,9	1,35	29,1	2,10
Среднее значение	17,1			1,24	27,0	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	17,4	34,7	6,8	1,51	41,6	1,92
89/53	21,1	30,5	12,4	1,60	26,3	0,05
90/54	21,2	27,4	13,0	1,28	20,8	-
99/63	17,9	22,9	11,2	0,76	17,9	2,22
103/67	19,4	28,0	14,0	1,16	21,6	1,04
109/73	17,5	27,4	10,5	1,26	27,8	2,06
110/74	20,5	28,3	14,6	0,82	17,9	0,46
Среднее значение	19,1			1,20	24,8	
Среднее значение по опыту	18,5			1,21	25,5	1,53

Таблица 8

Изменчивость диаметра кроны полусибов 35-летнего возраста, м

Номер семьи	$\bar{X}$	max	min	$\pm m$	V, %	t_{ϕ} при $t_{05}=2,02$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью						
13/13	2,7	3,5	1,8	0,11	17,0	4,70
17/17	3,0	3,7	1,9	0,17	19,0	2,34
18/18	3,0	3,9	1,8	0,17	20,7	2,34
Среднее значение	2,9			0,15	18,9	
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью						
86/50	3,0	5,6	1,6	0,22	34,7	1,96
89/53	3,3	4,1	2,3	0,16	16,7	0,97
90/54	3,4	4,7	2,4	0,20	20,9	0,42
99/63	3,3	5,4	2,1	0,21	27,6	0,81
103/67	3,4	4,1	2,7	0,12	12,4	0,57
109/73	3,2	4,8	2,0	0,21	25,3	1,21
110/74	3,5	4,7	2,6	0,13	16,0	-
Среднее значение	3,3			0,18	21,9	
Среднее значение по опыту	3,2			0,17	21,0	1,40

Коэффициент изменчивости по шкале С. А. Мамаева соответствует среднему и высокому уровням.

Наибольшим диаметром кроны отличается семенное потомство плюсового дерева 110/74 (рис. 3). Максимально близкие к нему по данному показателю полусибовы семей 90/54 и 103/67 ($t_{\phi} < t_{05}$). Следует отметить, что лучшим развитием кроны (5,4-5,6 м)

отличались некоторые деревья в семьях 86/50 (полусиб 10-17), 99/63 (полусиб 25-10).

Диаметр кроны семенного потомства плюсовых деревьев, аттестованных по семенной продуктивности, оказался на 13,8% больше, чем по стволовой.

Отношение диаметра ствола к высоте в 35-летних семьях колеблется от 2,52 у семьи 99/63 до

2,97 у семьи 110/74 по семенной продуктивности (табл. 9).

Наибольшее соотношение кроны и высоты дерева (0,51) установлено в семье 110/74 по семенной продуктивности. Коэффициент, характеризующий отношение диаметра кроны к диаметру ствола

при свободном размещении деревьев на плантации, составил 15,6-18,4, то есть различие между семьями составило 1,2 раза. Наибольшее превышение диаметра кроны над диаметром ствола проявилось в потомстве плюсового дерева 99/63 по семенной продуктивности.

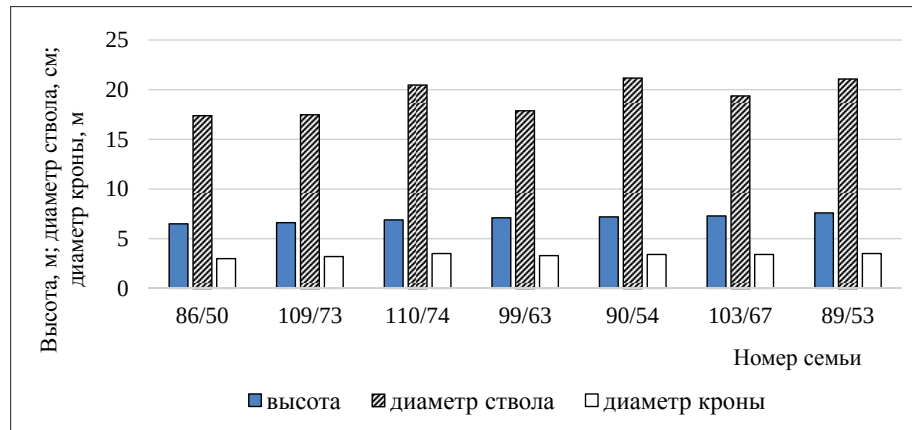


Рис. 3. Показатели 35-летних полусибов по семенной продуктивности на плантации «Ермаки»

Таблица 9
Относительные показатели 35-летних полусибов по стволу продуктивности

Номер клона	$d \text{ ствола} \times 100 / H$	$D \text{ кроны} / H$	$D \text{ кроны} \times 100 / d \text{ ствола}$	$H \times 100 / d$
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволу продуктивностью				
13/13	2,60	0,43	16,5	38,4
17/17	2,57	0,43	16,7	38,9
18/18	2,54	0,44	17,3	39,3
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью				
86/50	2,68	0,46	17,2	37,4
89/53	2,78	0,43	15,6	36,0
90/54	2,94	0,47	16,0	34,0
99/63	2,52	0,46	18,4	39,7
103/67	2,66	0,47	17,5	37,6
109/73	2,65	0,48	18,3	37,7
110/74	2,97	0,51	17,1	33,7

Относительная высота (H/d), равная 34,0-39,7, характеризует отсутствие конкурентных взаимоотношений деревьев и лучшее развитие диаметра ствола в семье 90/54 по семенной продуктивности (Высоцкий, 1962).

Теснота связи (r) между высотой и диаметром ствола, объемом кроны умеренная (0,387; 0,451), а

между диаметром ствола и кроны – значительная (0,512).

Средний объем кроны 35-летних деревьев в семьях плюсовых деревьев в 2018 г., в зависимости от варианта, составил 19,3-26,4 м³ (рис. 4).

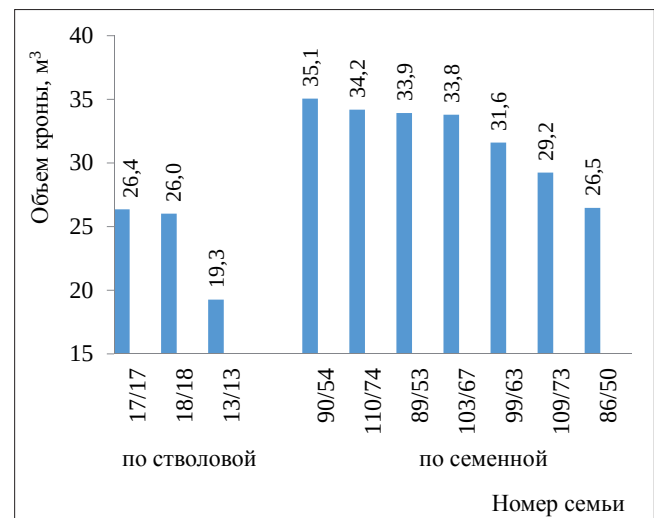


Рис. 4. Объем кроны 35-летних полусибов

В потомстве деревьев по семенной продуктивности объем кроны варьировал от 26,5 до 35,1 м³. Наибольший объем кроны отмечен у полусибов в семье 90/54. Превышение над средним значением составило 20,2%.

В семьях, отобранных по семенной продуктивности, объем кроны на 36,2% больше, чем у полусибов в семьях, отобранных по стволу продуктивности. Сопоставление 35-летних полусибов по длине хвои показало недостоверное различие между семьями при низком и среднем уровнях варьирования. Наибольшей средней длиной хвои (11,5-11,6 см) отличались полусибовы в семьях 17/17, 18/18

и 99/63. Отдельные длиннохвойные экземпляры (13,0-14,0 см) встречаются в большинстве семей. Максимальная длина хвои (14,0 см) зафиксирована у полусиба 10-21 в семье 90/54 по семенной продуктивности.

Ранжирование семей плюсовых деревьев по комплексу показателей свидетельствует, что лучшими показателями отличается семенное потомство плюсовых деревьев по семенной продуктивности (табл. 10).

Таблица 10

Ранжирование 35-летних семей по комплексу биометрических показателей

Номер семьи	Ранг				
	по высоте	по диаметру ствола	по диаметру кроны	по объему кроны	общий
Потомства плюсовых деревьев с высокой стволовой продуктивностью					
13/13	1	1	1	1	1
17/17	6	6	2	3	17
18/18	4	2	2	2	10
Потомства плюсовых деревьев с высокой семенной продуктивностью					
86/50	2	3	2	4	11
89/53	10	9	4	8	31
90/54	8	10	5	1	24
99/63	7	5	4	6	22
103/67	9	7	5	7	28
109/73	3	4	3	5	15
110/74	5	8	6	9	28

Наибольшее количество баллов (28-31 балл) отмечено в семьях 89/53, 103/67, 110/74 по семенной продуктивности.

Выводы. Исследования подтвердили большую изменчивость полусибов между семьями различных плюсовых деревьев. По некоторым показателям отмечено превосходство семей, отобранных по семенной продуктивности, над семьями, отобранными по признаку стволовой продуктивности, на 2,6-13,8%.

Средняя высота семей в 30-летнем возрасте составила 5,1-6,2 м. К 35-летнему возрасту высота семей составила 6,3-7,6 м при диаметре ствола 16,4-21,2 см. Некоторые полусибы достигли высоты 9,1-9,6 м.

Коэффициент, характеризующий отношение диаметра кроны к диаметру ствола при свободном размещении деревьев на плантации, составил 15,6-18,4. Отношение высоты к диаметру ствола (H/d) составляет 34,0-39,7, и характеризует отсутствие конкурентных взаимоотношений между деревьями. Средний объем кроны 35-летних деревьев в семьях плюсовых деревьев, в зависимости от варианта, составил 19,3-26,4 м³.

Сравнение семей плюсовых деревьев в 35-летнем возрасте показало, что различие между семьями по высоте составляет до 16,9%, диаметру ствола – до 21,8%, кроны – до 16,7%. В потомстве плюсовых деревьев выделены лучшие семьи и отдельные полусибы, отличающиеся лучшим ростом, и являющиеся перспективными для дальнейшего размножения прививкой с целью создания лесосеменных плантаций.

Список литературы

- Бессчетнов, В.П., Бессчетнова, Н.Н. (2012). Селекционная оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной методами многомерного анализа. *Лесной журнал*, 2, 58-64. [Bescountnov, V.P., & Bescountnova, N.N. (2012). Selective assessment of plus Scot pine trees by multidimensional analysis methods. *Forest Journal*, 2, 58-64 (in Russian)]
- Бессчетнова, Н.Н. (2009). Оценка общей комбинационной способности плюсовых деревьев сосны обыкновенной в Нижегородской области. *Лесной вестник*, 4, 4-10. [Bescountnova, N.N. (2009). Assessment of the total combination ability of plus Scot pine trees in the Nizhny Novgorod region. *Forestry Bulletin*, 4, 4-10 (in Russian)]
- Бондаренко, А.С., Жигунов, А.В. (2016). Комплексная оценка генотипов ели европейской для создания лесосеменных плантаций повышенной генетической ценности. *Вестник Поволжского технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 1 (29), 20-29. [Bondarenko, A. S. & Jigunov, A. V. (2016). Comprehensive assessment of European spruce genotypes to create forest seeds plantations of increased genetic value. *Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Natural resources*, 1 (29), 20-29 (in Russian)] https://elibrary.ru/download/elibrary_25843441_90201241.pdf
- Братилова, Н.П., Матвеева Р.Н., Буторова О.Ф., Щерба Ю.Е. (2015). Особенности роста сосны кедровой сибирской разного географического

- происхождения. *Наукові праці Лісівничої Академії наук України*, 13, 59-63 [Bratilova, N.P., Matveeva R.N., Butorova O.F., & Scherba Y.E. (2015). Features of the growth of cedar pine Siberian of different geographical origins. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 13, 59-63 (in Russian)] <https://doi.org/10.15421/411507>
- Вересин М.М., Ефимов Ю.П., Арефьев Ю.Ф. (1985). Справочник по лесному семеноводству. Москва: Агропромиздат [Veresin, M.M., Efimov, Yu. P. & Arefiev, Yu. F. (1985). *Forest seed guide*. Moscow: Agropromizdat (in Russian)]
- Высоцкий К.К. (1962). *Закономерности строения смешанных древостоев*. Москва: Лесная промышленность [Vysotsky, K.K. (1962). *Patterns of mixed wood structure*. Moscow: Forest industry (in Russian)]
- Гайлис, Я. Я. (1964). Семенные плантации сосны в Латвии. *Лесное хозяйство*, 2, 47-50 [Gailis, J.J. (1964). Pine seed plantations in Latvia. *Forestry*, 2, 47-50 (in Russian)]
- Гусев, С.П. (1990). *Виды лесных насаждений*. Ленинград: Ленинградская лесотехническая академия. [Gusev, S.P. (1990). *Types of forest plantations*. Leningrad: Leningrad Forestry Academy (in Russian)]
- Ефимов, Ю.П. (1987). Семеношение и рост сосны на плантациях вегетативного и семенного происхождения. *Лесное хозяйство*, 12, 38-41 [Efimov, Yu. P. (1987). Seeding and pine growth on vegetative and seed plantations. *Forestry*, 12, 38-41 (in Russian)]
- Желдак, В.И. (2017). Лесные плантации в системе лесоводства. *Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Лес. Экология. Природопользование*, 3 (35), 5-25 [Zheldak, V.I. (2017). Forest plantations in the forestry system. *Volga State University of Technology. Series: Forest. Ecology. Natural resources*, 3, 5-25 (in Russian)] <https://doi.org/10.15350/2306-2827.2017.3.5>
- Жигунов, А.В., Бондаренко, А.С. (2018). Возраст оценки генетических свойств деревьев ели европейской в испытательных культурах. *Лесной журнал*, 5, 65-81 [Jigunov, A.V., & Bondarenko, A.S. (2018). Age assessment of the genetic properties of European spruce trees in test cultures. *Forest Journal*, 5, 65-81 (in Russian)] <https://doi.org/10.17238/issn0536-1036.2018.5.65>
- Земляной, А.И., Шакиров, А.В. (2013). Динамика семеношения плюс-деревьев кедра сибирского (*Pinus sibirica* Du Tour) в клонных архивах. *Интерэкспо Гео-Сибирь*, 3 (4), 70-74 [Zemlyanoy, A.I., & Shakirov, A.V. (2013). Dynamics of seed production of plus-trees siberian cedar (*Pinus sibirica* Du Tour) in clone archives. *Interexpo Geo-Sibirien*, 3 (4), 70-74 (in Russian)]
- Котов, М.М. (1982). *Организация лесосеменной базы*. Москва: Лесная промышленность [Kotov, M.M. (1982). *The organization of a forest seed base*. Moscow: Forest industry (in Russian)]
- Мамаев, С.А. (1973). *Формы внутривидовой изменчивости древесных растений*. Москва: Наука [Mamaev, S.A. (1973). *Forms of intraspecific variability of woody plants*. Moscow: Science (in Russian)]
- Матвеева, Р.Н., Буторова, О.Ф. (2013). *Изменчивость семенного и вегетативного потомства плюсовых деревьев сосны кедровой сибирской в условиях юга Средней Сибири*. Красноярск: СибГТУ [Matveeva, R.N. & Butorova, O.F. (2013). *The variability of the seed and vegetative offspring of the cedar Siberian pine plus trees in the conditions of southern Central Siberia*. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology (in Russian)]
- Поплавская, Л.Ф., Ребко, С.В., Тупик, П.В. (2018). Оценка качества семенного и посадочного материала сосны обыкновенной, полученного на гибридно-семенной плантации. *Труды БГТУ*, 1 (1), 20-24 [Poplavskaya, L.F., Rebko, S.V., & Tupik, P.V. (2018). Assessment of the quality Scots pine seeds, obtained from the hybrid-seeded plantation. *Proceedings of the Belarusian State University of Technology*, 1 (1), 20-24 (in Russian)]. Retrieved from <https://elib.belstu.by/handle/123456789/24536>
- Райт, Дж. В. (1978). *Введение в лесную генетику*. Москва: Лесная промышленность [Right, J.V. (1978). *Introduction to forest genetics*. Moscow: Forest industry (in Russian)]
- Тюрин, В.Д. (1938). *Таксация леса*. Москва: Гослесбуиздат [Tyurin, V.D. (1938). *Forest taxation*. Moscow: Goslesbumizdat (in Russian)]
- Царев, А.П., Лаур, Н.В. (2009). Селекционно-генетическая оценка плюсовых деревьев сосны обыкновенной. *Лесной вестник*, 1, 103-108 [Tsarev, A.P., & Laur, N.V. (2009). Selection and genetic assessment of the plus Scots pine trees. *Forestry Bulletin*, 1, 103-108 (in Russian)]
- Шлончак Г.А., Шлончак А.В., Шинкоренко А.И. (1990). Создание семенных плантаций сосны привитыми и корнесобственными саженцами. *Лесоводство и агролесомелиорация*, 81, 34-38 [Shlonchak, G.A., Shlonchak, A.V. & Shinkorenko, A.I. (1990). The creation of pine seed plantations of grafted and own-rooted seedlings. *Forestry and Forest Melioration*, 81, 34-38 (in Russian)]
- Щерба Ю.Е., Копченко Д.Е., Поплюйкова М.В. (2020). Изменчивость 36-летних полусибов плюсовых деревьев кедра сибирского по репродуктивному развитию на плантации «Ермаки». Плодоводство, семеноводство, интродукция древесных растений: материалы Междунар. науч. конф., г. Красноярск, 23 апреля 2020 г. СибГУ, 157-160 [Shcherba, Yu. E., Kopchenko, D.E., & Popluykova, M.V. (2020). Variability of 36-year half-siblings of *Pinus sibirica* Du Tour plus trees on reproductive development at plantation «Yermaki». In R. Matveeva, & O. Butorova (Eds.), *Gardening, seed growing, introduction of woody plants*, 157-160. Krasnoyarsk, Russia: Siberian State University of Science and

- Technology (in Russian)] Retrieved from: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=44312778>
- Fries A., Lindgren D., & Andersson, B. G. (2008). *The Swedish Scots pine seed orchard Västerhus. Seed orchards*. Umeå: Umeå Plant Science Centre
- Giertych, M. (1995). Zmienneosc rodowa sosny i wybor drzew elitarnych. *Arboretum Kórnickie*, 40, 55-70. [Giertych, M. (1995). Pine ancestral variability and the choice of elite trees. *Arboretum Kórnickie*, 40, 55-70 (in Polish)]. Retrieved from https://rcin.org.pl/Content/142536/KOR001_149303.pdf
- Lester, D. T. & Barr, G. R. (1966). Shoot elongation in provenance and progeny tests of red pine. *Silvae Genetica*, 15 (1), 1-6.
- Sweet, G. B. (1995). Seed orchards in development. In *Tree Physiology* (pp. 527-530). Victoria: Heron Publishing
- Vidakovic, M., Kajba, D., Bogdan, S., Podnar, V., & Becarevic, J. (2000). Estimation of genetic gain in a progeny trial of pedunculate oak (*Quercus robur* L.). *Glasnik za Šumske Pokuse*, 37, 375-381. Retrieved from <https://www.cabdirect.org/cabdirect/abstract/20000614185>

Мінливість напівсибсів плюсових дерев сосни кедрової сибірської в 30-35-річному віці за показниками росту

Р. Н. Матвєєва¹, О. Ф. Буторова², В. В. Нарзяєв³,
Ю. Є. Щерба⁴

Збереження і розвиток генетично цінного потенціалу хвойних порід досягається шляхом створення об'єктів лісонасінної бази, зокрема лісонасінних плантацій, які призначені для отримання поліпше-

ного насіння. Наведено дані з мінливості напівсибсів *Pinus sibirica* Du Tour на лісонасінній плантації «Єрмак», розташованій в Єрмаківському адміністративному районі півдня Красноярського краю. Мета досліджень полягала в аналізі мінливості насінного потомства *Pinus sibirica* у віці 30-35 років за показниками росту. Об'єктами досліджень стали напівсибси плюсових дерев 13/13, 17/17, 18/18, атестованих за стовбуровою продуктивністю, і 86/50, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110/74 – за насінною. Напівсибси вирощені з насіння 1984 року посіву. Садіння рослин виконано за схемою 8×8 м. Здійснено порівняльний аналіз мінливості показників насінного потомства плюсових дерев за п'ятирічний період. Проаналізовано мінливість висоти, діаметра стовбура, крони, довжини хвої залежно від генотипу і принципу відбору плюсових дерев. За результатами досліджень, середня висота родин у 30-річному віці склала 5,1-6,2 м. Інтенсивним ростом відрізнялися напівсибси родин 17/17 за стовбуровою продуктивністю та 89/53, 103/67 – за насінною (на 10,7-21,6% більше). Найбільший діаметр стовбура відзначений у родин 17/17 за стовбуровою і 90/54, 89/53 – за насінною продуктивністю. Середній діаметр крони у 30-річних напівсибсів плюсових дерев, відібраних за насінною продуктивністю, становить 2,4 м, що на 20,8% більше, ніж у відібраних напівсибсів за стовбуровою продуктивністю.

До 35-річного віку висота дерев у родин 17/17, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110/74 склала 6,3-7,6 м за діаметра стовбура 16,4-21,2 см. Найбільшою висотою відзначаються дерева родини плюсового дерева 89/53 за насінною продуктивністю, яка достовірно перевищує значення цього показника над потомством плюсових дерев 13/13, 86/50 і 109/73. Інші родини відрізняються від кращого варіанта незначно. Деякі напівсибси в родин 17/17, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73 досягають висоти 9,1-9,6 м.

Середній діаметр крони дерев до 35-річного віку в досліджуваних родин 17/17, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110/74 збільшився до 3,2 м. Коефіцієнт, що характеризує відношення діаметра крони до діаметра стовбура за вільного розміщення дерев на плантації, склав 15,6-18,4, тобто відмінність між родин 17/17, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110/74 становить 1,2 рази. Найбільше перевищення діаметра крони над діаметром стовбура проявилось в потомстві плюсового дерева 99/63 за насінною продуктивністю. Найбільшою довжиною хвої (11,5-11,6 см) відрізнялися напівсибси в родин 17/17, 18/18 і 99/63. Максимальна довжина хвої (14,0 см) зафіксована у напівсибса 10-21 в родині 90/54 за насінною продуктивністю. Порівняння родин плюсових дерев за комплексом показників свідчить, що найкращим ростом відзначається насінне потомство плюсових дерев за насінною продуктивністю. Зазначені напівсибси рекомендовано для подальшого розмноження щепленням з метою створення лісонасінних плантацій.

Ключові слова: *Pinus sibirica* Du Tour; лісонасінна плантація; родина; насінна продуктивність; стовбурова продуктивність; селекція; Сибір.

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: matweevan@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 Нарзяєв Володимир Володимирович – аспірант кафедри селекції та озеленення. Сибірський державний університет науки і технологій імені академіка М. Ф. Решетньова, пр. Миру, 82, м. Красноярськ, 660049, Росія. Тел.: (391)8-902-978-8055. E-mail: narvv2008@rambler.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1485-3381>

⁴ Щерба Юлія Євгенівна – кандидат сільськогосподарських наук, доцент 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: shcherba_@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8437-4274>

Variability of half-sibs of plus trees of Siberian pine at the age of 30-35 years in terms of growth indicators

R. Matveeva¹, O. Butorova², V. Narzyaev³,
Iu. Shcherba⁴

The preservation and development of the genetically valuable potential of conifers is achieved through the creation of forest seed facilities, including forest seed plantations, which are designed to obtain improved seeds. The data on the variability of Siberian cedar pine (*Pinus sibirica* Du Tour) half-sibs on the forest seed plantation «Ermaki» located in the Ermakovsky administrative region on the south of the Krasnoyarsk region are presented. The aim of the study is to analyze the variability of the seed progeny of *Pinus sibirica* at the age of 30-35 years.

The objects of research were the half-sibs of plus trees 13/13, 17/17, 18/18, certified by stem productivity, and 86/50, 89/53, 90/54, 99/63, 103/67, 109/73, 110 / 74 – certified by seed productivity. Half-sibs are grown from seeds of 1984 sowing. Planting of plants was carried out according to the scheme 8 × 8 m. The variability of seed progeny indicators for

plus trees was compared for a five-year period. The variability of height, diameter of trunk, diameter of crown, length of needles was analyzed depending on the genotype and the principle of selection of plus trees. Studies have shown that the average height of families at the age of 30 was 5.1-6.2 m. Half-sibs of families 17/17 in stem productivity and 89/53, 103/67 in seed productivity were distinguished by intensive growth (the excess was 10.7-21.6%). The largest trunk diameter was noted in families 17/17 by stem productivity and 90/54, 89/53 – by seed productivity. The average crown diameter of 30-year-old half-sibs of plus trees, selected by seed productivity, is 2.4 m, which is 20.8% more than by stem productivity. By the age of 35 years, the height of the families was 6.3-7.6 m with a trunk diameter of 16.4-21.2 cm. The trees of the 89/53 plus tree family are distinguished by the highest seed productivity, which significantly exceeds the values of this indicator over the offspring of 13/13, 86/50 and 109/73 plus trees. Other families differ slightly from the best option. Some half-sibs in families reach a height of 9.1-9.6 m.

The average diameter of the crown of trees by the age of 35 in the studied families increased to 3.2 m. The coefficient characterizing the ratio of crown diameter to trunk diameter with free placement of trees on the plantation was 15.6-18.4, that is, the difference between families is 1.2 times. The greatest excess of the crown diameter over the trunk diameter was manifested in the progeny of the 99/63 plus tree in terms of seed productivity. The greatest length of needles (11.5-11.6 cm) was distinguished by half-sibs in families 17/17, 18/18 and 99/63. The maximum length of needles (14.0 cm) was recorded in the 10-21 half-sib in the 90/54 family of seed productivity. Comparison of families of plus trees by a set of parameters indicates that the seed offspring of plus trees are distinguished by the best growth in terms of seed productivity. Families and half-sibs were selected according to the intensity of growth, the length of the needles. These half-sibs are recommended for further propagation by grafting in order to plant forest seed plantations.

Key words: Siberian cedar pine; forest seed plantation; family; seed productivity; stem productivity; selection; Siberia.

¹ Rimma Matveeva – Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of breeding and planting. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: matveevrn@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. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: Butorova.olga@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8575-7464>

³ Vladimir Narzyaev – Graduate student of the Department of breeding and planting. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)8-902-978-8055. E-mail: narvv2008@rambler.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1485-3381>

⁴ Iuliia Shcherba – Candidate of Agricultural Sciences, Associated professor of the Department of breeding and planting. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: shcherba@mail.ru ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8437-4274>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412031>
Article received 2020.05.25
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yaroslav Fuchylo
fuchylo_yar@ukr.net

v. Hamarnya, Malyn district, Zhytomyr region,
11643, Ukraine

УДК 630*232:504.73:620.95

Вплив технології створення енергетичних плантацій *Salix viminalis* L. на їх ріст і продуктивність після першого трирічного обороту заготівлі біомаси

Я.Д. Фучило¹, Б.М. Вокальчук²

Оцінено вплив сортових особливостей, схеми та густоти садіння живців на ріст і продуктивність енергетичних плантацій верби прутopodobної (*Salix viminalis* L.) впродовж двох років другого трирічного обороту заготівлі біомаси в умовах Центрального Лісостепу України. Об'єктом дослідження були плантації двох сортів – 'Тора' і 'Тернопільська', які висаджені дворядними кулісами з відстанню між рядами 0,75 м, за двох схем садіння живців: відстань між кулісами – 1,5 м (0,75-1,50-0,75 м) та 2,5 м (0,75-2,50-0,75 м). За обох схем садіння, вибравши відповідну відстань між живцями у ряду, було сформовано насадження з трьома варіантами густоти: 12, 15 та 18 тис. шт. · га⁻¹.

Після досягнення дослідними насадженнями трирічного віку, їх надземна частина була зрізана. На початку четвертого року вегетації зі зрізаних кущів появились молоді пагони, результати дослідження біометричних показників яких впродовж двох років наведені у цій роботі.

Зі збільшенням густоти садіння на всіх варіантах дослідів спостережено зменшення середньої висоти кущів. Найбільшу середню висоту (6,09 м) мали рослини сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м та густоти 12 тис. шт. · га⁻¹. Виявлено тенденцію до зменшення кількості пагонів у кущі та їхньої висоти за збільшення густоти плантації. Кількість пагонів у кущі дворядних плантацій становила в межах від 4,8 до 6,9 шт. у сорту 'Тора' та від 5,0 до 8,0 шт. на один кущ у сорту 'Тернопільська'.

Максимальні показники продуктивності за два роки (41,7 т · га⁻¹ сухої біомаси) та приросту біомаси впродовж другого року (21,3 т · га⁻¹ сухої біомаси) зафіксовані в насадженнях сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м і густоти 15 тис. кущів на 1 га. У сорту 'Тернопільська' найвищу врожайність (30,5 т · га⁻¹) було зафіксовано за тієї ж схеми садіння і густоти на 1 га. За відстані між кулісами 2,5 м найвищу продуктивність дворядної біомаси також мав сорт 'Тора' – 34,0 т · га⁻¹. Максимальна продуктивність сорту 'Тернопільська' становила 23,5 т · га⁻¹, а мінімальна (17,5 т · га⁻¹) – за максимальної густоти садіння (18 тис. шт. · га⁻¹).

Ключові слова: біомаса; інтенсивність росту; продуктивність біомаси; густота стояння; сортові особливості; висота куща; приріст біомаси; діаметр пагона; схема садіння.

¹ Фучило Ярослав Дмитрович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри лісівництва та захисту лісу Малинського лісотехнічного коледжу. Головний науковий співробітник Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна. Тел.: +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

² Вокальчук Богдан Миколайович – аспірант Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України, вул. Клінічна, 25, м. Київ, 03141, Україна. Тел.: +38-067-605-91-41. E-mail: bv753m@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7509-4000>

Вступ. Обмежені ресурси традиційного палива та зростання попиту на енергію змушують активізувати пошук і використання відновлюваних джерел енергії. Одним із таких носіїв, що дає найкращі результати в умовах європейського клімату, є енергетична біомаса, отримана на плантаціях верби (*Salix* spp.) з коротким оборотом рубки. Причина полягає в тому, що більшість видів верб дуже інтенсивно ростуть у перші роки, легко розмножуються за допомогою живців і здатні рясно генерувати нові пагони після зрізання надземної частини рослини (Фучило, Сбитна, 2017).

Виробництво біомаси верби характеризується низькими витратами, а сама біомаса – високою теплотворною здатністю та незначними обсягами викидів речовин, що забруднюють атмосферу. Енергетичні плантації верби, як високопродуктивні багаторічні насадження, сприяють зменшенню попиту на деревину з природних лісів, поліпшують стан довкілля, відновлюють виснажені ґрунти, зменшують інтенсивність ерозійних процесів тощо. Під час удобрення таких насаджень можна утилізувати різні органічні відходи, включаючи осад стічних вод (Adegbi, Volk, White, Abrahamson, Briggs & Bickelhaupt, 2001; Labrecque & Teodorescu, 2001).

Одним із найперспективніших видів для вирощування на енергетичних плантаціях є верба прутподібна (*Salix viminalis* L.). Її сорти і гібриди найчастіше використовують з цією метою, тому саме за цим видом в Україні закріпилася назва «енергетична верба» (Афонін, Фучило, 2012; Фучило, Сінченко, Мельничук, 2016).

На сьогодні високу продуктивність біомаси для виробництва біопалива забезпечують нові сорти та гібриди енергетичної верби, отримані селекціонерами Швеції (*Willow Varietal Identification Guide*, 2012). Досвід учених цієї країни підтверджує, що, окрім удосконалення сортового складу, для максимального використання потенціалу енергії росту верб необхідно удосконалювати технологію вирощування, адаптуючи її до певних ґрунтово-кліматичних умов (*Ecophysiology of Short...*, 1992; Christersson, 1986; Mola-Yudego & Aronsson, 2008).

Важливим елементом технології вирощування енергетичних плантацій є також їхня початкова густина, яку необхідно враховувати в контексті збільшення заготівлі енергетичної біомаси. За результатами досліджень, зменшення густоти садіння рослин верби має негативний вплив на урожай біомаси (Goel & Behl, 1996). Інші дослідники вказують, що збільшення густоти садіння рослин до понад 20 тис. шт.·га⁻¹ не призводить до суттєвого зростання виходу біомаси і є недоцільним заходом (Bergkvist & Ledin, 1998). Результати здійснених досліджень в Україні підтвердили, що показники росту і продуктивності плантацій верби протягом першого трирічного циклу вирощування на вирубаних чорноземах у більшості дослідних варіантів виявилися вищими саме за початкової густоти 12-15, аніж за 18 тис. шт.·га⁻¹ (Фучило та ін., 2016).

Встановлено, що густина садіння також впливає на кількість пагонів в одному куці та їхні розміри (Kopp, Abrahamson, White, Burns & Nowak, 1997), а також на якісні характеристики біомаси, її структуру та хімічний склад (Bickelhaupt, 2001; Brereton, Ahmed, Sykes, Ray, Shield, Karp & Murphy, 2015).

На сьогодні в Україні не достатньо даних щодо впливу сортових особливостей, густоти і схеми садіння на продуктивність енергетичних плантацій верби на різних етапах їх вирощування та експлуатації. Саме тому вивчення цього питання є актуальним з погляду на необхідність планування обсягів отримання енергетичної біомаси.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – енергетичні плантації *Salix viminalis* в умовах Правобережного Лісостепу України. Предмет дослідження – вплив елементів технології створення і вирощування на продуктивність енергетичної біомаси насаджень сортів 'Тора' і 'Тернопільська' протягом двох років другого трирічного циклу вирощування.

Мета дослідження – оцінити продуктивність енергетичної біомаси двох сортів *Salix viminalis* за використання різних елементів технології створення і вирощування на енергетичних плантаціях.

Дослідження виконані впродовж 2018-2019 рр. на дослідному полі Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків НААН України у ДП ДГ «Саливківське» (с. Ксаверівка Друга Васильківського р-ну Київської обл.), яке розташоване в зоні нестійкого зволоження Правобережного Лісостепу України.

У березні 2018 р., до початку сокоруху, було здійснено зрізання надземної частини трирічних енергетичних плантацій сортів 'Тора' і 'Тернопільська', створених навесні 2015 р. дворядними кулісами з відстанню між рядами у кулісі 0,75 м та двома варіантами відстані між кулісами: 1,50 м (0,75-1,50-0,75 м) та 2,50 м (0,75-2,50-0,75 м). У обох випадках, вибравши відповідну відстань між живцями у ряду, були сформовані насадження з трьома варіантами густоти: 12, 15 та 18 тис. шт.·га⁻¹.

Впродовж трьох років на всіх варіантах досліді сформувались високопродуктивні насадження, середня висота яких у сорту 'Тора' становила від 5,24 до 6,04, у сорту 'Тернопільська' – від 4,14 до 5,57 м. Урожайність сухої біомаси становила, відповідно, 8,4-11,6 та 5,3-9,3 т·га⁻¹ за рік (Фучило та ін., 2018; Фучило, Сінченко, Вокальчук, 2018).

Після початку вегетації зі зрізаних пенек почала відростати рясна вербова поросль (рис. 1), дослідження біометричних показників якої виконували впродовж наступних двох років.

Дослідження за динамікою біометричних показників і продуктивністю біомаси здійснювали згідно положень апробованих методик (Доспехов, 1985; Фучило, 2011; Фучило та ін., 2018). Статистичний аналіз результатів досліджень виконували на персональному комп'ютері за прикладною програмою Microsoft Office Excel та «Statistika-6» (Ермантраут, Присяжнюк, Шевченко, 2007).



Рис. 1. Загальний вигляд порості верби прутоподібної станом на 30.04.2018 р.

Результати та обговорення. Впродовж першого року вегетації після зрізування трирічної біомаси спостерігався дуже інтенсивний ріст пагонів за висотою (рис. 2, табл. 1).

Найвищі рослини з усіх досліджуваних варіантів сформував сорт 'Тора' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м та густоти 12 тис. га⁻¹ (4,61 м). Зі збільшенням густоти до 15 та 18 тис. га⁻¹ середня висота рослин зменшилась, відповідно, до 4,45 та 4,09 м. Середня висота рослин сорту 'Тора' у варіанті зі схемою розміщення 0,75-2,50-0,75 м становила 4,21-4,45 м, залежно від густоти стояння рослин.

Найменшими з усіх варіантів у перший рік досліджень виявилися рослини сорту 'Тернопільська' за схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м та густоти 15 тис. га⁻¹ (2,97 м). Найвищі рослини цього сорту було спостережено за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м і густоти 12 тис. шт. га⁻¹ (3,54 м).

Впродовж другого року вегетації приріст рослин за висотою був помітно менш інтенсивним, але тенденція до зменшення висоти рослин за збільшення густоти садіння залишилася незмінною. Найбільшу

середню висоту (6,09 м) та найбільший середній приріст (1,48 м), як і впродовж першого року, мали рослини сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м у варіанті з густотою 12 тис. кущів на 1 га. За густоти рослин 15 та 18 тис. шт. га⁻¹ висота рослин становила, відповідно, 5,57 та 5,12 м, а середній приріст – 1,02 та 1,15 м.

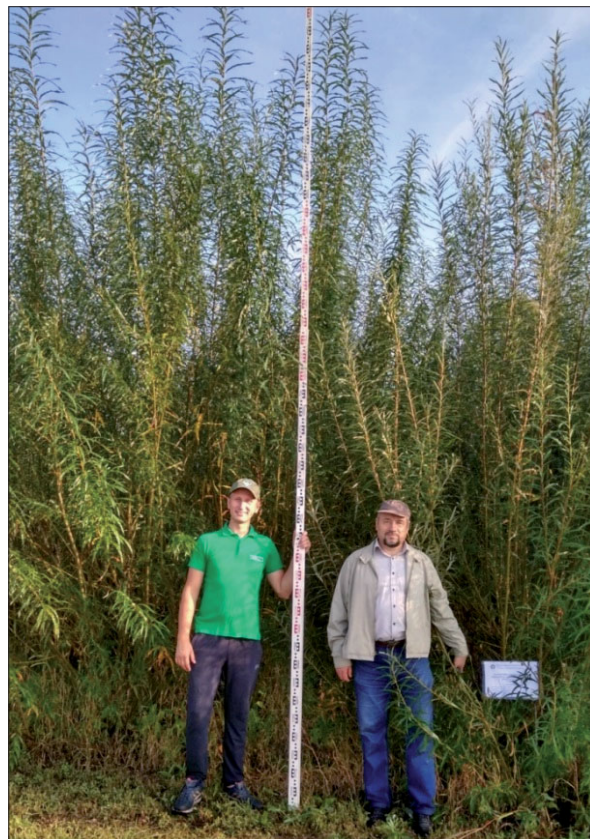


Рис. 2. Загальний вигляд дослідного об'єкту станом на 14.09.2018 р.

Таблиця 1

Середня висота кущів енергетичних плантацій *Salix viminalis* (м) протягом перших двох років другого трирічного циклу заготівлі біомаси залежно від сортових особливостей, схеми садіння та густоти насаджень

Рік	Схема садіння					
	0,75-1,50-0,75 м			0,75-2,50-0,75 м		
	Густота рослин, тис. шт. га ⁻¹					
	12	15	18	12	15	18
Сорт ‘Тора’						
2018	4,61	4,45	4,09	4,45	4,22	4,21
2019	6,09	5,57	5,12	5,6	5,24	5,01
Приріст, м	1,48	1,12	1,03	1,15	1,02	0,80
Сорт ‘Тернопільська’						
2018	3,54	3,50	3,41	3,23	2,97	3,19
2019	4,76	4,56	4,38	4,29	4,01	3,84
Приріст, м	1,22	1,05	0,92	1,07	1,04	0,65
Висота: НІР ₀₅ загальна за роками: 2018-0,21 м; 2019-0,20 м						

У верби сорту 'Тернопільська' більшу висоту встановлено за густоти садіння 12 тис. шт.га⁻¹ – 4,76 і 4,29 м відповідно. За схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м середня висота рослин у сорту 'Тора' становила від 5,01 до 5,60 м залежно від густоти стояння, а в сорту 'Тернопільська' – 3,84-4,29 м, що значно менше, ніж у варіанті за схеми садіння 0,75-150-0,75 м.

Встановлено, що найбільший вплив на середню висоту кущів мають сортові особливості виду (69,9%). Частка впливу густоти становить 13,0, схе-

ми садіння – 9,3, спільна дія цих трьох чинників – 0,5, а дія інших чинників – 7,2%.

Збільшення густоти садіння рослин негативно впливає на кількість пагонів у кущі. Найбільшу кількість пагонів у перший рік вегетації формували рослини сорту 'Тернопільська' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м – від 6,9 до 7,8 шт. пагонів на один кущ, залежно від густоти стояння. Найменша кущистість була виявлена у рослин сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м – від 4,8 до 5,4 шт. пагонів на один кущ (табл. 2).

Таблиця 2

Середня кількість пагонів у кущі одно-дворічних енергетичних плантацій *Salix viminalis* залежно від схеми садіння та густоти насаджень, шт.

Рік	Схема садіння					
	0,75-1,50-0,75 м			0,75-2,50-0,75 м		
	Густота рослин, тис. шт. га ^l					
	12	15	18	12	15	18
Сорт ‘Тора’						
2018	6,6	5,4	5,2	5,4	4,8	5,2
2019	6,9	5,8	5,4	5,7	5,0	4,8
Сорт ‘Тернопільська’						
2018	7,8	7,4	6,9	7,9	6,7	4,5
2019	8,0	7,5	7,0	8,4	6,9	5,0
НІР ₀₅ загальна за роками: 2018 – 0,48 шт.; 2019 – 0,29 шт.						

За схеми 0,75-1,50-0,75 м і густоти 12 тис. шт.га⁻¹ сорт 'Тора' формував 6,6 пагонів на один кущ, а за густоти 15 тис. шт.га⁻¹ та 18 тис. шт.га⁻¹ кількість пагонів була дуже подібною – відповідно 5,4 і 5,2 шт. на один кущ. За схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м рослини сорту 'Тора' також мали найвищий показник кущистості за меншої густоти стояння рослин – 5,4 шт. на один кущ. За густоти 15 та 18 тис. шт.га⁻¹ цей показник становив 4,8 і 4,5 шт. на один кущ відповідно.

На другий рік вегетації кількість пагонів у кущі дещо збільшилася внаслідок появи молодих пагонів. Найбільше їх було у рослин сорту 'Тернопільська' за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м – від 7,0 до 8,0 шт. на один кущ. Найменша кущистість виявлена у сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м (від 4,8 до 5,7 шт. на один кущ). За схеми садіння 0,75-1,50-0,75 у сорту 'Тора' формувалося від 5,4 до 6,9 пагонів на один кущ залежно від густоти стояння.

Встановлено, що на кількість пагонів у кущі найбільше впливають сортові особливості (40,9%) та густота стояння рослин (34,3%). Фактор схеми садіння мав вплив на рівні 10,7%.

На відміну від кількості пагонів у одному кущі, їх кількість на 1 га зростає за збільшення початкової густоти насаджень. При цьому помітно більшим цей показник виявився за схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м (рис. 3).

Найбільше пагонів на 1 га сформувалося на плантаціях сорту 'Тернопільська' за схеми 0,75-1,50-0,75 м – від 96,4 до 125,4 тис. шт.га⁻¹. За використання схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м у цього сорту показники були дещо меншими – від 90,0 до 103,5 тис. шт.га⁻¹ відповідно. Найменшу кількість пагонів на 1 га виявлено в сорту 'Тора' за схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м. Вона становила на рівні 83,2 та 72 тис. шт.га⁻¹ за густоти 12 і 15 тис. шт.га⁻¹. За іншої схеми садіння у клону 'Тора' сформувалося 68,4; 74,3 та 86,0 тис. пагонів на 1 га залежно від густоти стояння рослин. Частка впливу сортових особливостей на кількість пагонів на 1 га становила 52,6, схеми садіння – 17,2, густоти стояння – 10,4%. Крім того, сумісна дія цих факторів становила 9,0%.

Дослідженнями діаметрів найвищих пагонів у кущі (при їх основі) встановлено, що цей показник тісно корелює з висотою (рис. 4) і, як у випадку з висотою, спостережено тенденцію до зменшення діаметра пагонів зі збільшенням густоти садіння.

Найбільший середній діаметр пагонів (36,8 мм) зафіксовано у сорту 'Тора' за найменшої густоти (12 тис. шт.га⁻¹) і схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м, а найменший (20,3 мм) – у сорту 'Тернопільська' за густоти 18 тис. рослин на 1 га і схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м. У сорту 'Тернопільська' найбільший середній діаметр пагона становив 28,7 мм за найменшої густоти садіння (12 тис. рослин на 1 га) і схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м.

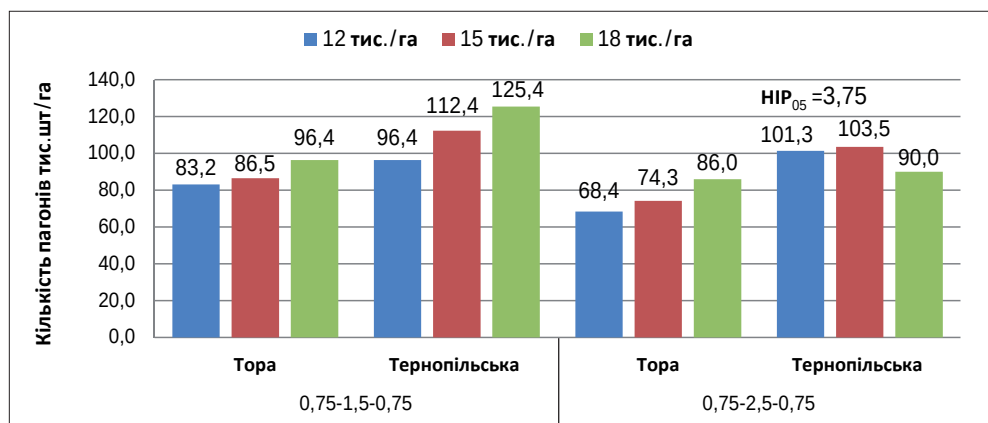


Рис. 3. Середня кількість пагонів на 1 га енергетичних плантацій верби другого циклу вирощування залежно від схеми садіння та густоти насаджень

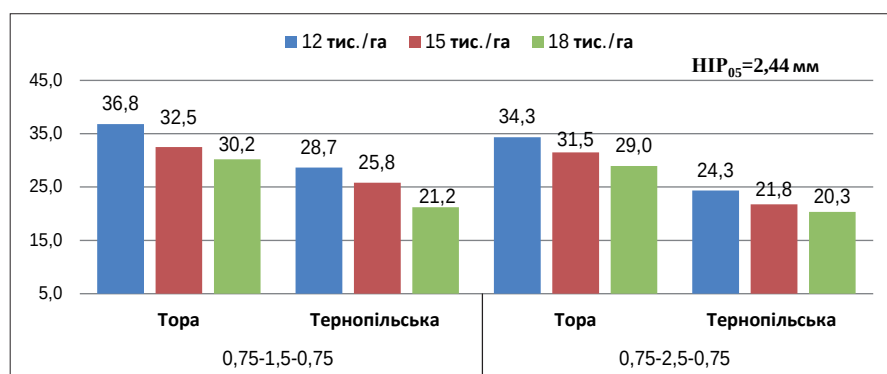


Рис. 4. Середній діаметр пагонів енергетичних плантацій верби другого року вегетації залежно від схеми садіння і густоти насаджень, мм

Дослідження урожайності плантації показали, що вже впродовж першого року вегетації після зрізування надземної частини кущів (2018 р.) спостережено значний приріст енергетичної біомаси (табл. 3). Найбільшу продуктивність (20,4 т·га⁻¹) мав сорт 'Тора' за варіанта з густотою 15 тис. кущів

на 1 га та схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м, а найменшу (8,7 т·га⁻¹) – сорт 'Тернопільська' за схеми садіння 0,75-2,50-0,75 м і густоти 18 тис. рослин на 1 га.

Як і біометричні характеристики рослин, так і показники врожайності обох сортів були більшими за використання схеми садіння 0,75-1,50-0,75 м.

Таблиця 3

Урожайність енергетичних плантацій *Salix viminalis* (т·га⁻¹) впродовж перших двох років другого трирічного циклу заготівлі біомаси залежно від сортових особливостей, схеми садіння та густоти насаджень

Рік	Схема садіння					
	0,75-1,50-0,75 м			0,75-2,50-0,75 м		
	Густота рослин, тис. шт. га ⁻¹					
	12	15	18	12	15	18
Сорт ‘Тора’						
2018	17,3	20,4	19,6	14,1	14,9	17,7
2019	37,2	41,7	38,5	34,0	31,6	32,4
Приріст	19,9	21,3	18,9	19,9	16,7	14,7
Сорт ‘Тернопільська’						
2018	14,2	15,2	14,1	13,1	9,4	8,7
2019	30,5	29,4	26,5	23,5	20,6	17,5
Приріст	16,3	14,2	12,4	10,4	11,2	8,8
NIP ₀₅ загальна за роками: 2018 – 1,23 т·га ⁻¹ ; 2019 – 1,36 т·га ⁻¹						

Впродовж 2019-го року (другого року вербової порості – на п'ятий рік існування насаджень), незважаючи на різке зменшення приросту за висо-тою, приріст біомаси виявився більшим, порівня-но з першим роком. Максимальні показники про-дуктивності ($41,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ сухої біомаси) та приросту біомаси за другий рік ($21,3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ сухої біомаси) за-фіксовані у насадженнях сорту 'Тора' за схеми са-діння $0,75 \times 1,50 \times 0,75 \text{ м}$ і густоти 15 тис. кущів на 1 га. За густоти 12 та 18 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$ урожайність сухої біомаси становила 37,2 та $38,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно. У сорту 'Тернопільська' найвища врожайність була за густоти 12 тис. кущів на 1 га – $30,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а за 15 і 18 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$ – $29,4$ та $26,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно. За другої схеми садіння також найвищу продуктивність дворічної біомаси мав сорт 'Тора' – $34,0 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Максимальна продуктивність сорту 'Тернопільська' становила $23,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а мінімальна ($17,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$) виявилася за максимальної густоти стояння рослин (18 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$).

Висновки. Сортові особливості та густота сто-яння рослин суттєво впливають на біометрич-ні показники *Salix viminalis*, а також на її урожай-ність впродовж перших двох років другого триріч-ного обороту вирощування.

Зі збільшенням густоти садіння у всіх варіантах досліді спостережено зменшення середньої висо-ти кущів. Найбільшу середню висоту ($6,09 \text{ м}$) мали рослини сорту 'Тора' за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75 \text{ м}$ та густоти 12 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$. Виявлено тенден-цію до зменшення кількості пагонів у кущі та їх-ньої висоти за збільшення густоти плантації. Кіль-кість пагонів у кущі дворічних плантацій становила в межах від 4,8 до 6,9 шт. у сорту 'Тора' та від 5,0 до 8,0 шт. на один куш у сорту 'Тернопільська'.

Максимальні показники продуктивності за два роки ($41,7 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ сухої біомаси) та приросту біома-си впродовж другого року ($21,3 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$ сухої біомаси) зафіксовано у насадженнях сорту 'Тора' за схеми садіння $0,75 \times 1,50 \times 0,75 \text{ м}$ і густоти 15 тис. кущів на 1 га. У сорту 'Тернопільська' найвищу врожайність ($30,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$) було встановлено за тієї ж схеми садін-ня і густоти на 1 га. За відстані між кулісами $2,5 \text{ м}$ найвищу продуктивність дворічної біомаси також мав сорт 'Тора' – $34,0 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$. Максимальна продук-тивність сорту 'Тернопільська' становила $23,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$, а мінімальна ($17,5 \text{ т} \cdot \text{га}^{-1}$) – за максимальної густоти садіння (18 тис. шт. $\cdot \text{га}^{-1}$).

Список літератури

Афонін, О.О., Фучило, Я.Д. (2012). Генетичний потенціал верби прутьоподібної (*Salix viminalis* L.) Середнього Подесення. *Науковий вісник НУБіП України*, 171 (1), 11-19. [Afonin, A.A., & Fuchylo, Ya. D. (2012). Genetic potential of basket willow (*Salix viminalis* L.) of middle stream of the Desna river. *Scientific Bulletin of National University of Life and Environ-mental Sciences of Ukraine of Ukraine*, 171 (1), 11-19 (in Ukrainian)]

Доспехов, Б.А. (1985). *Методика полевого опыта (с основами статистической обработки результатов исследований)*. Москва: Агропромиздат [Dospekhov, B.A. (1985). *Methodology of field experiment (with the basics of statistical processing of research results)*. Moscow: Agropromizdat (in Russian)]

Ермантраут, Е.Р., Присяжнюк, О.І., Шевченко, І.Л. (2007). *Статистичний аналіз агрономічних дослідних даних в пакеті Statistica 6.0*. Київ: ПоліграфКонсалтинг [Ermantraut, E.R., Prisyazhnyuk, O.I., & Shevchenko, I.L. (2007). *Statistical analysis of agronomic pre-historic data in the Statistica package 6.0*. Kyiv: PolygraphConsulting (in Ukrainian)]

Фучило, Я.Д. (2011). *Плантаційне лісовирощування: теорія, практика, перспективи*. Київ: Логос [Fuchylo, Ya. D. (2011). *Forest plantations: theory, prac-tice, perspectives*. Kyiv: Lohos (in Ukrainian)]

Фучило Я.Д., Сінченко В.М., Мельничук Г.А. (2016). Особливості росту дворічних енергетичних плантацій деяких сортів верби прутьоподібної в умовах Центрального Лісостепу. *Наукові праці Інституту біоенергетичних культур і цукрових буряків*, 24, 93-99. Київ: ФОП Корзун Д.Ю. [Fuchylo Y., Sinchenko V. & Melnychuk, H. (2016). Peculiarities of growth of two-year energy plantations of some varieties of willow in the conditions of the Central Forest-Steppe. *Scientific works of the Institute of Bioen-ergy Crops and Sugar Beets*. Kyiv: Korzun (in Ukrai-nian)]. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/zn-picb_2016_24_14

Фучило, Я.Д., Сбитна, М.В. (2017). *Верби України: біологія, екологія, використання*. Київ: Компрінт [Fuchylo, Ya.D., & Sbytina, M.V. (2017). *Willows of Ukraine: biology, ecology, use*. Kyiv: Komprint (in Ukrai-nian)]

Фучило, Я.Д., Сінченко, В.М., Ганженко, О.М., Гументик, М.Я., Пиркін, В.І., Присяжнюк, О.І. ... Ткаченко, А.М. (2018). *Методологія дослідження енергетичних плантацій верб і тополь*. Київ: Компрінт [Fuchylo, Y.D., Sinchenko, V.M., Han-zhenko, O.M., Humentyk, M.Y., Pyrkin, V.I., Prisyazh-niuk, O.I. ... Tkachenko, A.M. (2018). *The methodology of the study of willow and poplar energy plantations*. Kyiv: Komprint (in Ukrainian)]

Фучило, Я.Д., Сінченко, В.М., Вокальчук, Б.М. (2018). Ріст і розвиток енергетичних плантацій верби різної густоти за внесення азотних добрив на вилугуваних чорноземах Центрального Лісостепу. *Новітні агротехнології*, 1 (6). [Fuchy-lo, Y.D., Sinchenko, V.M., & Vokalchuk, B.M. (2018). Growth and development of energy plantations of willow of different density with the application of nitrogen ferti-lizers on leached chernozems of the Central Forest-Steppe. *The latest agricultural technologies*, 1 (6) (in Ukrainian)]. Retrieved from http://plant.gov.ua/sites/default/files/fuchylo_pdf

Adegbidi, H.G., Volk, T.A., White, E.H., Abraham-son, L.P., Briggs, R.D. & Bickelhaupt, D.H. (2001). Biomass and nutrient removal by willow clones in

- experimental bioenergy plantations in New York State. *Biomass Bioenergy*, 20, 399-411. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(01\)00009-5](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(01)00009-5)
- Bergkvist, P., & Ledin, S. (1998). Stem biomass yields at different planting designs and spacings in willow coppice systems. *Biomass and Bioenergy*, 14, 149-156. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(97\)10021-6](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(97)10021-6)
- Brereton, N.J. B., Ahmed, F., Sykes, D., Ray, M.J., Shield, I., Karp, A. & Murphy, R.J. (2015). X-ray micro-computed tomography in willow reveals tissue patterning of reaction wood and delay in programmed cell death. *BMC Plant Biol*, 15, 83. <https://doi.org/10.1186/s12870-015-0438-0>
- Christersson, L. (1986). High Technology Biomass Production by *Salix* clones on a Sandy Soil in Southern Sweden. *Tree Physiology*, 2, 261-277 <https://doi.org/10.1093/treephys/2.1-2-3.261>
- Ecophysiology of Short Rotation Forest Crops* (1992). In C.P.Mitchell, J.B. Ford-Robertson, T. Hinckley, & L. Sennerby-Forsse, (Eds), *Elsevier Applied Sciences*, (pp. 1-28). London and New York
- Goel, V.L., & Behl, H.M. (1996). Fuelwood quality of promising tree species for alkaline soil sites in relation to tree age. *Biomass and Bioenergy*, 10, 57-61. [https://doi.org/10.1016/0961-9534\(95\)00053-4](https://doi.org/10.1016/0961-9534(95)00053-4)
- Kopp, R.F., Abrahamson, L.P., White, E.H., Burns, K.F., & Nowak, C.A. (1997). Cutting cycle and spacing effects on biomass production by a willow clone in New York. *Biomass and Bioenergy*, 12, 313-319. [https://doi.org/10.1016/S0961-9534\(96\)00077-3](https://doi.org/10.1016/S0961-9534(96)00077-3)
- Labrecque, M., & Teodorescu, T.I. (2001). Influence of plantation site and wastewater sludge fertilization on the performance and foliar nutrient status of two willow species grown under SRIC in southern Quebec (Canada). *Forest Ecology and Management*, 150 (3), 223-239. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(00\)00567-3](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(00)00567-3)
- Mola Yudego, B., & Aronsson, P. (2008). Yield Models for Commercial Willow Biomass Plantations in Sweden. *Biomass & Bioenergy*, 32, 829-837. Retrieved from <https://www.researchgate.net/deref/http%3A%2F%2Fdx.doi.org%2F10.1016%2Fj.biombioe.2008.01.002>
- Willow Varietal Identification Guide* (2012). B. Caslin, J. Finnan, A. McCracken (Eds). Carlow, Ireland: Teagasc&AFBI

Influence of the technology of planting energy plantations of *Salix viminalis* L. on their growth and productivity after the first three-year turnover of biomass harvesting

Y. Fuchylo¹, B. Vokalchuk²

The influence of varietal peculiarities, scheme and planting density of cuttings on the growth and productivity of energy plantations of the basket willow (*Salix viminalis*) during two years of the second three-year turnover of biomass harvesting in the Central Forest-Steppe of Ukraine was evaluated. The object of the study were plantations of two varieties: 'Tora', and 'Ternopil'ska', created by double-row wings, with a row spacing of 0.75 m, with two planting schemes for cuttings: the distance between the wings is 1.5 m (0.75-1, 50-0.75 m) and 2.5 m (0.75-2.50-0.75 m). On both planting schemes, having chosen the appropriate distance between cuttings in a row, stands were formed with three density options: 12, 15, and 18 thousand pieces·ha⁻¹. After the plantings reached three years of age, their aboveground part was cut off. With the beginning of the fourth year of vegetation, young shoots appeared from the cut bushes, the results of the study of which for two years are presented in this article.

It has been studied out that with an increase in planting density, there is a tendency to a decrease in the height of the bushes. The height of annual shoots ranged from 2.97 to 4.61 m, depending on varietal characteristics and planting schemes. The tallest plants of all the variants were formed by the 'Tora' variety with a planting pattern of 0.75-1.50-0.75 m and a density of 12 thousand pieces·ha⁻¹ – 4.61 m. The smallest height (2.97 m) was observed in the variety 'Ternopil'ska' at a density of 15 thousand·ha⁻¹ and a planting pattern of 0.75-2.50-0.75 m.

After the second year of cultivation, the average plant height ranged from 3.84 to 6.09 m, depending on the variety and planting scheme. At the same time, there is a tendency to both a decrease in the number of shoots in a bush and their height with an increase in the density of plantations. The number of shoots per 1 bush ranged from 4.8 to 6.9 pcs. the variety 'Tora', and the variety 'Ternopil'ska' – from 5.0 to 8.0 pcs.

The maximum yield of two-year biomass (from 38.5 to 41.7 t·ha⁻¹) was found in the 'Tora' variety with a planting scheme of 0.75-1.50-0.75 m and a density

¹ Yaroslav Fuchylo – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Forestry and Forest Protection of Malyn Forestry College. Chief Scientist Institute of Bioenergy Crops and Sugar Beet, National Academy of Agrarian Sciences of Ukraine, 03141, Clinical str., 25, Kyiv city, Ukraine. Tel.: +38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net. ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

² Bohdan Vokalchuk – post-graduate student of the Institute of Bioenergy Cultures and Sugar Beet of the National Academy of Sciences of Ukraine, Clinical str., 25, Kiev, 03141, Ukraine. Tel.: +38-067-605-91-41. E-mail: bv753m@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7509-4000>

of 15 thousand $\cdot\text{ha}^{-1}$. With a planting scheme of 0.75-2.50-0.75 m, this indicator was in the range of 31.6-34.0 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$ of absolutely dry biomass. The 'Ternopil'ska' variety has a two-year biomass yield from 17.5 to 30.5 $\text{t}\cdot\text{ha}^{-1}$. At the same time, there is a tendency to a decrease in yield with an increase in the density of plantations.

Key words: biomass; varietal peculiarities; planting scheme; planting density; growth intensity; bush height; shoot diameter; biomass productivity.

Влияние технологии создания энергетических плантаций *Salix viminalis* L. на их рост и продуктивность после первого трехлетнего оборота заготовки биомассы

Я.Д. Фучило, Б.М. Вокальчук

Оценено влияние сортовых особенностей, схемы и густоты посадки черенков на рост и производительность энергетических плантаций *Salix viminalis* L. в течение двух лет второго трехлетнего оборота заготовки биомассы в условиях Правобережной Лесостепи Украины. Объектом исследования были плантации сортов 'Тора', и 'Тернопольская', созданные двухрядными кулисами, с расстоянием между рядами 0,75 м при

двух схемах посадки черенков: расстояние между кулисами составило 1,5 м (0,75-1,50-0,75 м) и 2,5 м (0,75-2,50-0,75 м). На обеих схемах посадки, выбрав соответствующее расстояние между черенками в ряду, были сформированы насаждения с тремя вариантами густоты: 12, 15 и 18 тыс. шт. $\cdot\text{га}^{-1}$. После достижения насаждениями трехлетнего возраста, их надземная часть была срезана. С началом четвертого года вегетации из срезанных кустов появились молодые побеги, результаты исследования биометрических показателей которых в течение двух лет приведены в данной работе. Установлено, что с увеличением густоты посадки наблюдается тенденция к уменьшению высоты кустов. Высота однолетних побегов составляла от 2,97 до 4,61 м в зависимости от сортовых особенностей и схем посадки. Самые высокие растения из всех вариантов сформировал сорт 'Тора' при схеме посадки 0,75-1,50-0,75 м и густоте 12 тыс. шт. $\cdot\text{га}^{-1}$ – 4,61 м. Наименьшая высота (2,97 м) наблюдалась у сорта 'Тернопольская' при густоте 15 тыс. шт. $\cdot\text{га}^{-1}$ и схеме посадки 0,75-2,50-0,75 м.

После второго года выращивания средняя высота растений составила от 3,84 до 6,09 м в зависимости от сорта и схемы посадки. При этом наблюдается тенденция как к уменьшению количества побегов в кусте, так и их высоты при увеличении густоты плантаций. Количество побегов на один куст составило от 4,8 до 6,9 шт. у сорта 'Тора', и от 5,0 до 8,0 шт. – у сорта 'Тернопольская'.

Максимальная урожайность двухлетней биомассы (от 38,5 до 41,7 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$) оказалась у сорта 'Тора' при схеме посадки 0,75-1,50-0,75 м и густоте 15 тыс. шт. $\cdot\text{га}^{-1}$. При схеме посадки 0,75-2,50-0,75 м этот показатель был в пределах 31,6-34,0 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$ абсолютно сухой биомассы. У сорта 'Тернопольская' урожайность двухлетней биомассы составила от 17,5 до 30,5 $\text{т}\cdot\text{га}^{-1}$. При этом наблюдается тенденция к уменьшению урожайности при увеличении густоты плантаций.

Ключевые слова: биомасса; сортовые особенности; схема посадки; густота посадки; интенсивность роста; высота куста; диаметр побега; продуктивность биомассы.

¹ Фучило Ярослав Дмитриевич – академик Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства и защиты леса Миланского лесотехнического колледжа. Главный научный сотрудник Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03141, Украина. Тел.: + 38-067-605-91-41. E-mail: fuchylo_yar@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-2669-5176>

² Вокальчук Богдан Николаевич – аспирант Института биоэнергетических культур и сахарной свеклы НААН Украины, ул. Клиническая, 25, г. Киев, 03141, Украина. Тел.: + 38-067-605-91-41. E-mail: bv753m@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7509-4000>

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/10.15421/412032>

Article received 2020.07.18

Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Petro Lakyda

lakyda@nubip.edu.ua

Heroyiv Oborony str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine

УДК 528.8 : 633.877.3

Оцінка точності визначення надземної фітомаси дистанційними методами

П. І. Лакида¹, В. М. Ловинська², Ю. В. Бучавий³

Надано результати оцінювання надземної фітомаси соснових деревостанів, отриманої за допомогою дистанційного зондування Землі (ДЗЗ). На основі мультиспектральних зображень супутника Sentinel-2 здійснено обробку спектральних характеристик із розрахунком вегетаційних індексів та біофізичних параметрів соснових деревостанів регіону Байрачного Степу України. Підґрунтям для побудови регресійних моделей залежності надземної фітомаси від отриманих спектральних характеристик використано результати польових досліджень. Найвищі кореляційні коефіцієнти фіксуються між показниками загальної і стовбурової фітомаси з вегетаційними індексами NDVI, TVI та біофізичними параметрами FARAP і FCOVER.

Для побудови моделей залежності надземної фітомаси соснових деревостанів використовували як одно-, так і двофакторні моделі, з яких найоптимальнішими виявились ті, що містили як предиктори NDVI окремо та за поєднання з FCOVER. Фактичні показники фітомаси сосняків на ТПП знаходились у межах від 27,6 до 287,6 т·га⁻¹. Прогнозовані значення загальної надземної фітомаси для моделі із залученням NDVI становили від 32,5 до 236,3 т·га⁻¹.

Здійснено картографування надземної фітомаси соснових деревостанів Байрачного Степу за допомогою мультиспектральних знімків Sentinel-2, а саме, отриманих спектральних характеристик їх похідних (вегетаційних індексів, біофізичних параметрів). Дослідження продемонструвало обнадійливі результати для впровадження лісового картування надземної фітомаси соснових насаджень у регіоні за допомогою ресурсів вільного доступу.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L.; Sentinel-2; мультиспектральні супутникові знімки; вегетаційні індекси; Байрачний Степ України.

¹ Лакида Петро Іванович – академік Лісівничої академії наук України, перший віце-президент ЛАН 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 Ловинська Вікторія Миколаївна – кандидат біологічних наук, доцент кафедри садово-паркового господарства. Дніпровський державний аграрно-економічний університет, вул. С. Єфремова, 25, м. Дніпро, 49060, Україна. Тел.: +38-067-729-63-29. E-mail: glub@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7359-9443>

³ Бучавий Юрій Володимирович – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та технологій захисту навколишнього середовища. Національний технічний університет «Дніпровська політехніка», вул. Д. Яворницького, 19, м. Дніпро, 49005, Україна. Тел.: +38-066-224-38-66. E-mail: buchavyu@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3282-2810>

Вступ. У зв'язку зі всесвітніми глобальним потеплінням і зміною клімату, для вчених усього світу пріоритетним завданням є розробка методів, за допомогою яких стало б можливим максимально точно оцінити просторове розміщення і динамічні зміни у лісових екосистемах (Chave, Andalo, Brown, & Cairns, 2005; Bonan, 2008). Дані щодо біомаси лісів необхідні під час здійснення фундаментальних досліджень вуглецевого циклу, а також для оцінювання потоків парникових газів у системі *ліс-атмосфера* (Dai et al., 2013; Canadell & Schulze, 2014; Niemelä et al., 2017; Li et al., 2017; Pohjola, Laturi, Lintunen, & Uusivuori, 2018). Моніторинг надземної біомаси лісів є необхідною умовою реалізації міжнародних угод з питань клімату, адже отримані результати мають сенс під час обґрунтування стратегічних рішень як на національному, так і регіональному рівнях.

Методи оцінювання біомаси лісів базуються на їх наземних і космічних вимірах. Кількісне оцінювання продуктивності лісових екосистем потребує комплексного системного підходу із залученням наземних досліджень фітомаси деревостанів, що є вкрай необхідним для забезпечення точності отриманих супутникових знімків (Chen, Ren, Zhang, Wang & Xi, 2018; Tanaka et al., 2015). Загалом, найефективнішим підходом для отримання актуальної та об'єктивної оцінки лісового покриття на великих територіях є використання даних дистанційного зондування Землі (ДЗЗ) на основі побудови емпіричних моделей, отриманих у результаті здійснення польових наземних досліджень (Field, Randerson, & Malmstrom, 1995; Jakubauskas & Price, 1997; Labrecque, Fournier, Luther, & Piercey, 2006; Forrester et al., 2017). Для детального дослідження фітомаси насаджень засобами ГІС-технологій зазвичай проводять розрахунки спектральних характеристик та біофізичних параметрів, отриманих у результаті дешифрування супутникових знімків (Forkuor et al., 2020). Картографування, здійснене на основі спектральних параметрів, може використовуватись для моніторингу стану лісів, визначення місць зрубування лісів, деградації лісів тощо (Domingo, Lamelas-Gracia, Montealegre-Gracia & de la Riva-Fernández, 2017).

Під час оцінювання фітомаси лісів методами ДЗЗ в оптико-електронному діапазоні, більшість методів спрямована на встановлення зв'язку між спектральними характеристиками відбитого або власного випромінювання деревостанів у різних довжинах хвиль (Drusch et al., 2012; Wittke, Karjalainen, Hyypä, & Puttonen, 2019). При цьому найдодільнішими каналами є червоний та ближній інфрачервоний діапазони (Chen et al., 2018). Більші значення фітопродукції мають вищу спектральну яскравість ближньої інфрачервоної зони, адже тут фіксується максимум відбиття (Nazari, Yasuoka, Ito & Dye, 2005).

Спектральний аналіз за участі супутникових зйомок є особливо складним для оцінювання нагромадження фітомаси хвойними лісами, для яких характерні значні коливання ефективності улов-

лювання світла за збереження структури намету і займаної асиміляційною поверхнею площі (Усольцев, 2010; Wittke et al., 2019).

Сосна звичайна є одним із найпоширеніших деревних лісотвірних видів у Європі і в Україні (Krakau, Liesebach, Aronen, Lelu-Walter & Schneck, 2013), а її частка у зоні Байрачного Степу становить чверть вкритих лісовою рослинністю ділянок.

Таким чином, розроблення нового підходу оцінювання поточного стану соснових лісонасаджень в умовах степової зони на основі аналізу даних мультиспектральних супутникових знімків є *актуальною проблемою*, розв'язання якої дасть змогу швидше отримувати точнішу інформацію щодо кількісних характеристик лісових ділянок, без проведення деструктивних заходів. Робота зорієнтована на вивчення питання можливості використання багатоспектральних космічних знімків для встановлення біопродуктивності соснових лісів у ще не дослідженому у цьому аспекті регіоні Байрачного Степу України.

Матеріали й методи. *Об'єкт дослідження* – соснові деревостани Байрачного Степу України. *Предмет дослідження* – відображення показників надземної фітомаси через спектральні індекси супутникових знімків. *Метою дослідження* було розроблення моделей оцінювання фітомаси соснових деревостанів Північного Степу України методами ДЗЗ.

Оцінювання надземної фітомаси соснових лісів (*Ph*) здійснено шляхом поєднання наземних і дистанційних методів досліджень. Польові дослідження здійснювали із використанням апробованої методики (Лакида, 2002; Лакида, Васишин, Лашенко, Терент'єв, 2011) на тимчасових пробних площах (ТПП) в умовах Байрачного Степу України (на прикладі Дніпропетровського регіону) (рис. 1).

Для розрахунку вегетаційних індексів та біофізичних показників рослин на досліджених територіях використовували набір мультиспектральних знімків із оптичного супутника Sentinel-2 <https://uk.wikipedia.org/wiki/Sentinel-2> за період 2015-2019 рр. Набір мультиспектральних знімків дослідженої території було отримано з Центру відкритого доступу Copernicus <https://scihub.copernicus.eu/> та з архіву Геологічної служби США <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Характеристика знімків наведена у табл. 1.

Для попередньої обробки знімків використовували програму SNAP із додатковими модулями з метою вирішення наступних завдань.

Sen2Cor – для проведення атмосферної корекції знімків та попередньої класифікації земної поверхні (другий рівень обробки даних 2А).

Sen2Three – для просторово-часового синтезу зображень на базі набору знімків з атмосферною корекцією, отриманих у різний час. У результаті обробки вхідних знімків за досліджені періоди отримано єдиний синтезований знімок за усередненими показниками та з усуненням некоректних пікселів, що виникли через хмарність, засвічування або тінь від навколишніх об'єктів.

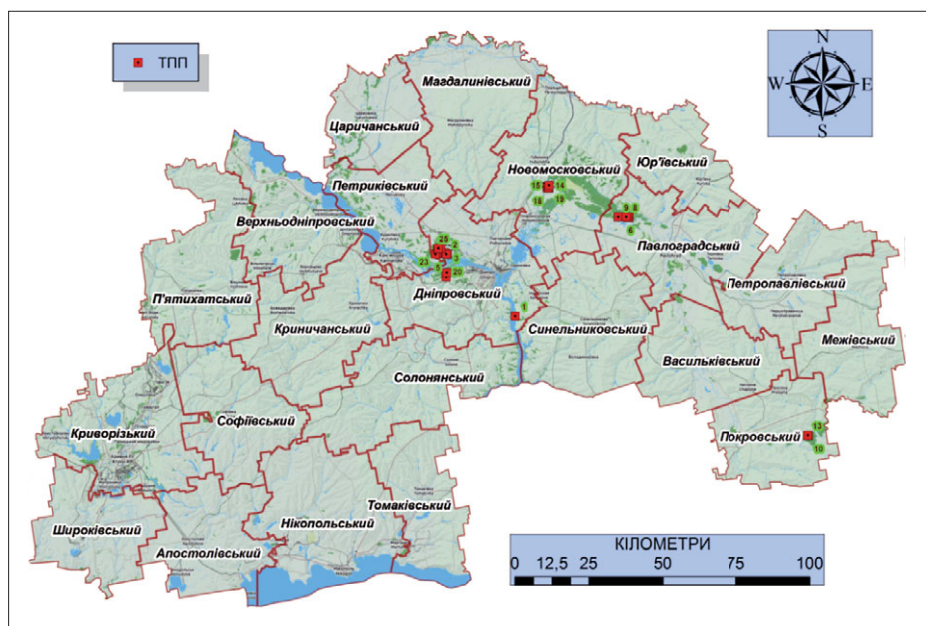


Рис. 1. Розміщення тимчасових пробних площ регіону досліджень

Таблиця 1

Характеристики аерофотознімків для визначення вегетаційних індексів

№	Дата знімку	ID (назва файлу)	Хмарність, %
1	2015/08/06	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_EPA__20150806T084942_20160827T015954_A000633_T36UXU_N02_04_01	2,96
2	2015/08/26	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_EPA__20150826T084947_20160930T133348_A000919_T36UXU_N02_04_02	0
3	2015/09/05	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_EPA__20150905T084946_20161012T095728_A001062_T36UXU_N02_04_01	7,89
5	2015/12/24	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_MTI__20151224T084711_20151224T104716_A002635_T36UXU_N02_01_01	0
6	2016/07/31	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160731T084835_20160731T123122_A005781_T36UXU_N02_04_01	0,8759
7	2016/07/21	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160721T084726_20160721T123307_A005638_T36UXU_N02_04_01	3,2259
8	2016/08/10	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160810T084714_20160810T122652_A005924_T36UXU_N02_04_01	0,4828
9	2016/08/30	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160830T084722_20160830T122619_A006210_T36UXU_N02_04_01	5,8707
10	2016/09/19	S2A_OPER_MSI_L1C_TL_SGS__20160919T084734_20160919T122648_A006496_T36UXU_N02_04_01	6,6226
11	2019/03/03	L1C_T36UXU_A010386_20190303T084011	0,00510
12	2019/03/18	L1C_T36UXU_A019509_20190318T083954	0,0311
13	2019/04/27	L1C_T36UXU_A020081_20190427T083603	0
14	2019/06/16	L1C_T36UXU_A020796_20190616T084207	1,2669
15	2019/06/26	L1C_T36UXU_A020939_20190626T083926	0,0875
16	2019/07/01	L1C_T36UXU_A012102_20190701T084549	1,0158
17	2019/08/10	L1C_T36UXU_A012674_20190810T084403	2,8681
18	2019/08/20	L1C_T36UXU_A012817_20190820T084332	6,3572
19	2019/08/30	L1C_T36UXU_A012960_20190830T084008	0
20	2019/11/23	L1C_T36UXU_A023084_20191123T084306	4,1563

Biophysical Processor – для визначення біофізичних характеристик рослин (вміст хлорофілу, вміст вологи, індекс площі листя, фракція адсорбованого випромінювання, фракція покриття) у вигляді шарів растрових зображень.

Результати та обговорення. На основі опрацьованих таксаційних даних з ТПП отримано результати із кількісної характеристики надземної фітомаси соснових деревостанів, діапазон значень якої знаходився у межах від 6,22 ($D_{1,3}=5$ см) до 287,5 ($D_{1,3}=22$ см) тга⁻¹. Середня величина розрахованого показника фітомаси становила $190,3 \pm 18,1$ тга⁻¹.

З метою оцінювання надземної фітомаси у соснових лісах Байрачного Степу на основі використання даних супутникових знімків *Sentinel-2* для пікселів зображень, в яких знаходились ТПП, розраховані наступні показники: *NDVI* (вегетаційний індекс фотосинтетично активної біомаси), *TVI* (трансформований вегетаційний індекс), *LAI* (індекс площі листової поверхні), *FAPAR* (фракція адсорбованого фотосинтетично активного випромінювання), *FCOVER* (частка рослинного покриття), *CAB* (вміст хлорофілу *a* і *b* в листі [хвої]) та *CW* (вміст води у кроні). Отримані спектральні величини підлягали статистичній обробці даних (табл. 2).

Таблиця 2

Статистичні показники вегетаційних індексів та біофізичних параметрів соснових насаджень Північного Степу

Показник	Значення			Статистики		
	<i>min</i>	<i>max</i>	$\bar{X}$	σ	<i>A</i>	<i>E</i>
<i>NDVI</i>	0,65	0,85	0,74	0,07	0,162	-1,460
<i>TVI</i>	1,07	1,16	1,11	0,03	0,139	-1,463
<i>LAI</i>	1,33	2,46	1,78	0,34	0,487	-0,983
<i>FAPAR</i>	0,43	0,70	0,54	0,08	0,440	-0,957
<i>CAB</i>	58,03	157,54	87,45	25,92	1,121	1,132
<i>CW</i>	0,03	0,06	0,05	0,01	0,396	-0,431
<i>FCOVER</i>	0,37	0,68	0,48	0,09	0,797	-0,370

Отже, розподіл отриманих величин у більшості випадків відповідає нормальному, з огляду на нижчі значення асиметрії та ексцесу, порівняно із критичними значеннями (Янцев, 2012). Виключення становлять показники асиметрії та ексцесу для вмісту хлорофілу *a* і *b*, а також значення ексцесу для *NDVI*, *TVI*, *LAI* і *FAPAR*. Від'ємний знак ексцесу усіх (крім *CAB*) спектральних характеристик

свідчить про плосковершинність кривої розподілу їх значень.

Співставлення результатів польових вимірювань з вегетаційними і біофізичними показниками мультиспектральних знімків супутника *Sentinel-2* для досліджуваних ТПП показало, що між ними прослідковуються різної сили кореляційні зв'язки (табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між компонентами надземної фітомаси соснових деревостанів та мультиспектральними показниками *Sentinel-2*

Фітомаса	<i>NDVI</i>	<i>TVI</i>	<i>LAI</i>	<i>FAPAR</i>	<i>CAB</i>	<i>CW</i>	<i>FCOVER</i>
<i>Ph</i>	0,83*	0,77*	0,83*	0,80*	0,78*	0,72*	0,79*
<i>Ph_{стов}</i>	0,82*	0,78*	0,84*	0,84*	0,80*	0,79*	0,81*
<i>Ph_{крони}</i>	0,22	0,13	0,13	0,03	0,10	0,13	0,10

* значення коефіцієнтів достовірні при $p < 0,05$

Спектральні характеристики мали сильнішу кореляцію з надземною фітомасою стовбурів (*Ph_{стов}*) та загальною фітомасою (*Ph*) соснових деревостанів. Найтіснішим зв'язок виявився для показника загальної фітомаси з *NDVI*, *LAI* та *FAPAR*. Проте варто відзначити наявність слабого взаємозв'язку наведених у роботі вегетаційних індексів із показниками компоненту крони (*Ph_{крони}*). Отримані дані

узгоджуються із результатами Foody et al. (2001), у публікації яких зазначається, що *NDVI* має слабкий взаємозв'язок із біомасою в контексті оцінювання лісової структури. Mganga & Lyaruu (2015), досліджуючи біомасу лісів Танзанії, також відзначають низький коефіцієнт взаємозв'язку між фотосинтетичною частиною фітомаси та *NDVI*, який досягає максимального значення 0,23. Низький рівень

кореляційних зв'язків між фотосинтетичною складовою біомаси та значеннями вегетаційних показників пояснюється, насамперед, геометрією намету, що, залежно від орієнтації та композиційної структури, може варіювати відповідно до спектрально-го профілю.

Наступним кроком стала побудова регресійних моделей залежностей надземної фітомаси (Ph) від показників спектральних характеристик. Як аналітичну форму отриманих результатів, використовували рівняння нелінійного (алометричного) типу, де вхідними аргументами слугували показники $NDVI$, LAI , $FAPAR$, TVI , $FCOVER$ (табл. 4).

Як видно із представлених даних, за допомогою побудованих регресійних моделей описується

близько 70% випадків. Найвищі показники коефіцієнта детермінації зафіксовано для залежності надземної фітомаси від індексу $NDVI$ окремо, а також за його поєднання з іншими предикторами ($NDVI + TVI$; $NDVI + FCOVER$). У таких моделях коефіцієнт детермінації загальної фітомаси сосняків сягає результату 0,71. Найнижча точність апроксимації встановлена у випадку побудови залежності надземної фітомаси сосняків від LAI .

Адекватність побудованих моделей встановлено в процесі їх перевірки на F -критерій Фішера. Отримані фактичні F -значення перевищували табличні величини як у випадку застосування однофакторних ($F_{\text{табл.}} = 9,33$), так і двофакторних ($F_{\text{табл.}} = 6,93$) моделей.

Таблиця 4

Моделі для оцінювання надземної фітомаси соснових деревостанів та їх статистична характеристика

Номер моделі	Вид рівняння	Коефіцієнт детермінації	F-критерій	
			$F_{\text{факт.}}$	$F_{\text{табл.}}$
1	$Ph = 563,620 \cdot NDVI^{1,251}$	0,70	30,72	9,33
2	$Ph = 240,241 \cdot LAI^{0,265}$	0,54	12,68	9,33
3	$Ph = 495,317 \cdot NDVI^{1,251} \cdot LAI^{1,098}$	0,64	7,13	6,93
4	$Ph = 550,474 \cdot NDVI^{1,140} \cdot FAPAR^{0,096}$	0,70	14,22	6,93
5	$Ph = 716,261 \cdot NDVI^{1,608} \cdot TVI^{-1,644}$	0,71	15,19	6,93
6	$Ph = 486,879 \cdot FCOVER^{0,554}$	0,64	23,67	9,33
7	$Ph = 556,648 \cdot NDVI^{1,936} \cdot FCOVER^{-0,350}$	0,71	14,49	6,93

Результати оцінювання показали, що встановлені регресійні моделі потенційно можуть бути використані для створення карти просторового розподілу надземної фітомаси соснових деревостанів, ґрунтуючись на отриманих засобами супутникової зйомки змінних, зокрема, $NDVI$.

Графічну інтерпретацію розрахунку фітомаси (на прикладі регресії №1, залежність від $NDVI$) сосняків відображено на рис. 2.

На представленому рисунку відображено неістотні відхилення змодельованих значень надземної фітомаси, порівняно із фактичними, що свідчить про достатньо точний опис моделлю емпіричних даних. Середня величина $NDVI$ для досліджуваних у регіоні соснових насаджень становить 0,42. За наведеними даними, акумулювання фітомаси сосняків у кількості від 150 до 250 т·га⁻¹ здійснюється за величини $NDVI$ у діапазоні від 0,4 до 0,5.

Отже, побудовані моделі може бути використано для оцінювання фітомаси соснових насаджень за даними Sentinel-2 для районів з подібними умовами.

Встановлена регресійна залежність стала предметом екстраполяції результатів оцінювання надземної фітомаси деревостанів сосни звичайної на територію досліджуваного регіону з побудовою відповідної карти. Для встановлення меж зазначеної території використано shape-files лісових під-

приємств Дніпропетровської області, а саме, кварталів і виділів Обухівського лісництва (<http://www.lisproekt.gov.ua/>).

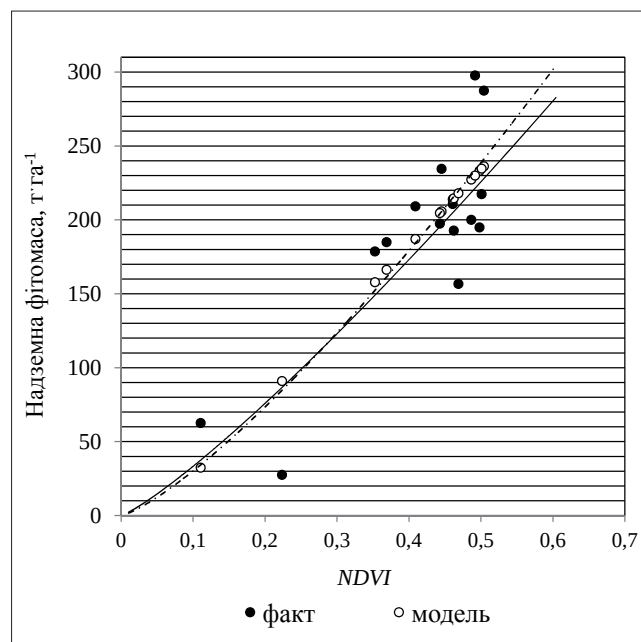


Рис. 2. Залежність фактичних і змодельованих значень надземної фітомаси сосняків від показника $NDVI$

Для визначення показників біомаси ділянки лісового масиву у структурі Дніпровського держлісгоспу Байрачного Степу (на прикладі Обухівського лісництва) здійснено зонально-статистичний аналіз його кварталів за допомогою інструменту Spatial Analyst Tools у програмі ESRI ArcGIS. Карту просторового розподілу надземної фітомаси сосни звичайної у межах Обухівського лісництва наведено на рис. 3.

За наведеними даними, значення надземної фітомаси соснових насаджень Обухівського лісництва знаходяться у діапазоні від 75 до 310 т/га⁻¹. При цьо-

му більша частина території насаджень сосни звичайної (61% площі) нагромаджують фітомасу у діапазоні від 100 до 200 т/га⁻¹. Сумарна величина надземної фітомаси сосняків в умовах Обухівського лісництва, розрахована на основі обробки геоінформаційних даних, становить 195782,40 т, у той час як отриманий показник фітомаси, визначений наземним способом, становить 210861,95 т, що на 7,2% більше, порівняно із даними ДЗЗ. Таким чином, отримані розбіжності оцінювання фітомаси сосняків прямим (наземним) і непрямим (із використанням ГІС-технологій) методами є неістотними.

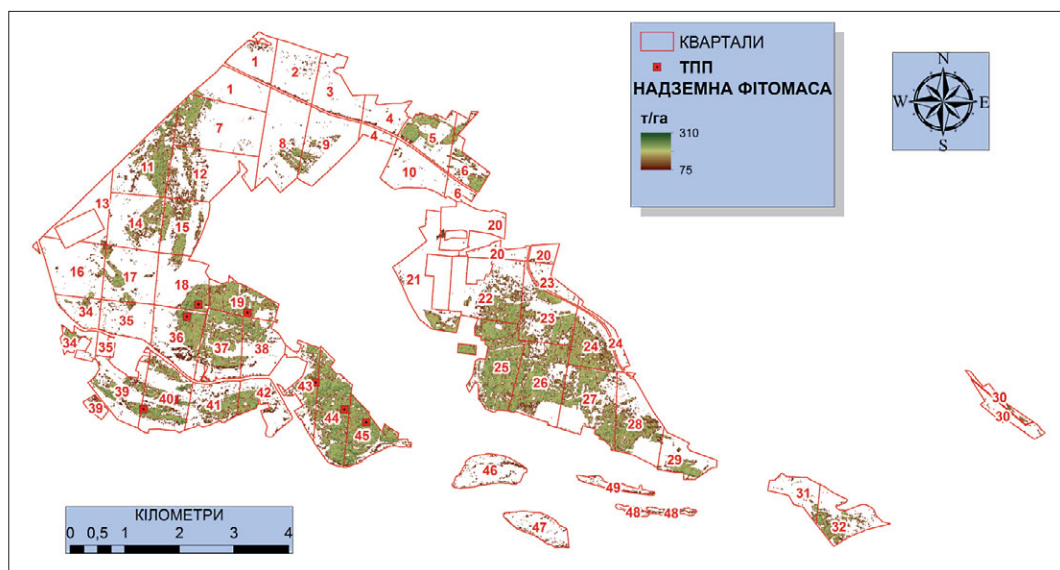


Рис. 3. Розподіл надземної фітомаси сосняків на території Обухівського лісництва

Висновки. Дані мультиспектральних знімків супутника Sentinel-2 мають тісний кореляційний зв'язок із величиною надземної фітомаси соснових деревостанів, отриманої наземним способом. Найтісніші кореляційні зв'язки встановлено між загальною надземною фітомасою сосни звичайної з вегетаційними індексами *NDVI* та *TVI*. Для отриманих біофізичних параметрів найвищі коефіцієнти кореляції спостережено для *FAPAR* та *FCOVER* із загальною надземною фітомасою та фітомасою стовбура.

Моделювання фітомаси сосняків за участю вегетаційних індексів, зокрема, *NDVI*, виявило високі результати їх перевірки на адекватність із отриманням достовірних коефіцієнтів детермінації та розрахованих *F*-значень.

Порівняльний аналіз продемонстрував наявність близьких фактичних і змодельованих значень надземної фітомаси залежно від *NDVI*, що дає змогу використовувати розроблену математичну модель на практиці.

Отримані результати демонструють перспективи запропонованого метода для оцінювання надземної фітомаси соснових насаджень на регіональному рівні, як ефективний засіб оперативного спостереження та управління лісовими ресурсами в умовах степової зони.

Список літератури

- Лакида, П.І. (2002). *Фітомаса лісів України*. Тернопіль: Збруч [Lakyda, P.I. (2002). *Live biomass of Ukrainian forests*. Ternopil: Zbruch (in Ukrainian)]
- Лакида, П.І., Васишин, Р.Д., Лашенко, А.Г., Терентьев, А.Ю. (2011). Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід України: довідник (нормативно-виробниче видання). Київ: Екоінформ [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)]
- Усольцев, В.А. (2010). *Фитомасса и первичная продукция лесов Евразии*. Екатеринбург: УрО РАН [Usoltsev, V.A. (2010). *Phytomass and primary production of forests of Eurasia*. Yekaterinburg: Ural Branch of the Russian Academy of Sciences (in Russian)]
- Янцев, А.В. (2012). *Выбор статистического критерия*. Симферополь: Таврический национальный университет [Yantsev, A.V. (2012). *Selection of statistical criteria*. Symferopol: Tavria National University (in Russian)]
- Bonan, G.B. (2008). Forests and climate change: forcings, feedbacks, and the climate benefits of

- forests. *Science*, 320, 1444-1449. <https://doi.org/10.1126/science.1155121>
- Canadell, J.G., & Schulze, E.D. (2014). Global potential of biospheric carbon management for climate mitigation. *Nat Commun*, 5, 5282-5294. <https://doi.org/10.1038/ncomms6282>
- Chave, J., Andalo, C., Brown, S., & Cairns, M.A. (2005). Tree allometry and improved estimation of carbon stocks and balance in tropical forests. *Oecologia*, 145, 87-99. <https://doi.org/10.1007/s00442-005-0100-x>
- Chen, L., Ren, C., Zhang, B., Wang, Z., & Xi, Y. (2018). Estimation of forest above-ground biomass by geographically weighted regression and machine learning with sentinel imagery. *Forests*, 9, 582-602. <https://doi.org/10.3390/f9100582>
- Dai, L., Jia, J., Yu, D., Lewis, B.J., Zhou, L., Zhou, W., Zhao, W., & Jiang, L. (2013). Effects of climate change on biomass carbon sequestration in old-growth forest ecosystems on Changbai Mountain in Northeast China. *Forest Ecology and Management*, 300, 106-116. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2012.06.046>
- Domingo, D., Lamelas-Gracia, M.T., Montealegre-Gracia, A.L., & de la Riva-Fernández, J. (2017). Comparison of regression models to estimate biomass losses and CO₂ emissions using low-density airborne laser scanning data in a burnt Aleppo pine forest. *European Journal of Remote Sensing*, 50, 384-396. <https://doi.org/10.1080/22797254.2017.1336067>
- Drusch, M., Bello, U.D., Carlier, S., Colin, O., Fernandez, V., Gascon, F.,... Bargellini, P. (2012). Sentinel-2: ESA's optical high-resolution mission for GMES operational services. *Remote Sensing of Environment*, 120, 25-36. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2011.11.026>
- Field, C.B., Randerson, J.T., & Malmstrom, C.M. (1995). Global net primary production: Combining ecology and remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 51, 74-88. [https://doi.org/10.1016/0034-4257\(94\)00066-V](https://doi.org/10.1016/0034-4257(94)00066-V)
- Foody, G.M., Cutler, M.E., McMorrow, J., Pelz, D., Tangki, H., Boyd, D.S., & Douglas, I. (2001). Mapping the biomass of Bornean tropical rain forest from remotely sensed data. *Global Ecology and Biogeography*, 10 (4), 379-387. <https://doi.org/10.1046/j.1466-822X.2001.00248.x>
- Forkuor, G., Benewinde Zougrana, J.-B., Dimobe, K., Ouattara, B., Vadrevu, K.P., & Tondoh, J.E. (2020). Above-ground biomass mapping in West African dryland forest using Sentinel-1 and 2 datasets – A case study. *Remote Sensing of Environment*, 236, 111496. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142737>
- Forrester, D.I., Tachauer, I.H., Annighoefer, P., Barbeito, I., Pretzsch, H., Peinado, R.,... Silesi, G.W. (2017). Generalized biomass and leaf area allometric equations for European tree species incorporating stand structure, tree age and climate. *Forest Ecological Management*, 396, 160-175. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2017.04.011>
- Hazarika, M.K., Yasuoka, Y., Ito, A., & Dye, D. (2005). Estimation of net primary productivity by integrating remote sensing data with an ecosystem model. *Remote Sensing of Environment*, 94 (3), 298-310. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2004.10.004>
- Jakubauskas, M.E., & Price, K.P. (1997). Empirical relationships between structural and spectral factors of Yellowstone lodgepole pine forests. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 1375-1381.
- Krakau, U.K., Liesebach, M., Aronen T., Lelu-Walter M.A., & Schneck V. (2013). Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.). In: Pâques L. (eds) Forest Tree Breeding in Europe. Managing Forest Ecosystems, 25. Springer, Dordrecht. https://doi.org/10.1007/978-94-007-6146-9_6
- Labrecque, S., Fournier, R.A., Luther, J.E., & Piercey, D. (2006). A comparison of four methods to map biomass from Landsat-TM and inventory data in western Newfoundland. *Forest Ecology and Management*, 226, 129-144. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2006.01.030>
- Li, P., Peng, Ch., Wang, M., Li, W., Zhao, P., Wang, P., Yang, Y., & Zhu, Q. (2017). Quantification of the response of global terrestrial net primary production to multifactor global change. *Ecological Indicators*, 76, 245-255. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecolind.2017.01.02>
- Lovynska, V. M. (2019). Evaluation standards of phytomass trunk components in pine stands of the Northern Steppe of Ukraine. *Bulletin of Poltava State Agrarian Academy*, 1, 11-17. <https://doi.org/10.31210/visnyk2019.01.01>
- Mganga, N.D., & Lyaruu, H. V. M. (2015). Applicability of satellite remote sensing in accounting above-ground carbon in Miombo Woodlands. *International Journal of Advanced Remote Sensing and GIS*, 4 (1). 1334-1343. <https://doi.org/10.23953/cloud.ijarsg.121>
- Niemelä, P., Kalliola, R., Kellomäki, S., Krug, J., Lehtikoinen, E., Roenkae, M.,... Tolvanen, H. (2015). Impacts of current and future climate change on terrestrial ecosystems. In book: *Assessment of Climate Change for the Baltic Sea Basin* (pp. 399-409). Berlin, Heidelberg: Springer.
- Pohjola, J., Laturi, J., Lintunen, J., & Uusivuori, J. (2018). Immediate and long-run impacts of a forest carbon policy – A market-level assessment with heterogeneous forest owners. *Journal of Forest Economics*, 32, 94-105. <https://doi.org/10.1016/j.jfe.2018.03.001>
- Tanaka, S., Takahashi, T., Nishizono, T., Kitahara, F., Saito, H., Iehara, T.,... Awaya, Y. (2015). Stand volume estimation using the k-NN technique combined with forest inventory data, satellite image data and additional feature variables. *Remote Sensing*, 7 (12), 378-394.
- Wittke, S., Yu, X., Karjalainen, M., Hyypä, J., & Puttonen, E. (2019). Comparison of two-dimensional

multitemporal Sentinel-2 data with three-dimensional remote sensing data sources for forest inventory parameter estimation over a boreal forest. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 76, 167-178.

Comparative analysis of the aboveground phytomass assessment of pine forest stands by ground and remote methods

P. Lakyda¹, V. Lovynska², Y. Buchavy³

One of the most efficient approaches to provide a current and objective assessment of forest cover over large areas is remote sensing data combining with an empirical models obtained from field ground research. For a detailed study of the phytomass of plantations by GIS technologies, calculations of spectral characteristics and biophysical parameters obtained as a result of decoding satellite images of monitoring objects are usually performed.

The object of study – pine stands of the ravine Steppe of Ukraine. The subject of research – bioproductivity of aboveground phytomass components of pine stands. The aim of the study to develop the models for pine stands phytomass assessing at the ravine Steppe of Ukraine by remote sensing.

The evaluation of aboveground phytomass pine forests was carried out by combining terrestrial and remote sensing methods. In order to estimate the aboveground biomass in the pine forests of the ravine Steppe based on the Sentinel-2 satellite imagery data for each pixel of images containing temporary sample plots (TSPs), the following indicators were calculated: NDVI, LAI, FAPAR, FCOVER, CAB and CW. In accordance with statistical analysis the distribution of spectral indices in most cases corresponds to normal, given the lower values of asymmetry and excess, compared with the critical values. Correlation analysis

revealed that the spectral characteristics obtained from satellite images had a stronger correlation with the aboveground phytomass of trunks and total phytomass, compared with the crown phytomass of pine wood stands.

With the help of the obtained geoinformation data, models of aboveground phytomass dependence on vegetation and biophysical parameters were designed with the help of which about 70 % of cases were subject to description. The NDVI, LAI, FAPAR, TVI, FCOVER indicators were used as input arguments. The equation of the dependence of the aboveground pine phytomass on the NDVI index is the most significant statistically from the designed equations. The lowest approximation accuracy is observed when the LAI index is included in the equation.

The comparison of the actual and simulated values of aboveground phytomass of pine stands obtained as a result of ground research revealed insignificant their deviation, which testifies to a rather accurate description of the empirical data model. The most intensive accumulation of pine phytomass at the amount from 150 to 250 t·ha⁻¹ is observed at NDVI values in the range from 0.4 to 0.5.

Based on the obtained data, the values of Scots pine aboveground phytomass were transformed into a forest area structure of the Dnieper state forestry of ravine Steppe (on the example of Obukhiv forestry) with the formation of a spatial distribution map of aboveground phytomass forestry. Values of aboveground phytomass pine plantations of Obukhiv forestry was estimated in the range from 75 to 310 t·ha⁻¹. At the same time, most of the Scots pine plantations territory (61 % of the area) has a phytomass in the range from 100 to 200 t·ha⁻¹.

It is estimated that the total value of aboveground phytomass of pines in Obukhov forestry, calculated on the basis of spatial data processing, is 195782.40 tons, while the obtained biomass, determined by ground estimation 210861.95 tons, which is 7.2% higher, compared with remote sensing data.

The obtained results demonstrate the prospects of the proposed method for the aboveground phytomass of pine plantations assessment at the regional level as an effective method of operational monitoring and management of forest resources in the Steppe zone.

Key words: *Pinus sylvestris* L.; Sentinel-2; satellite imagery data; vegetation indexes; ravine Steppe of Ukraine.

¹ Petro Lakyda – full Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, first vice president FAS of Ukraine, Professor, Doctor of Agricultural Sciences, Director of Education and Research Institute of Forestry and Landscape-Park Management, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Heroyiv Oborony str., 15, Kyiv, 03041, Ukraine. Tel.: 044-527-85-28; +38-067-462-80-43. E-mail: lakyda@nubip.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Viktoriia Lovynska – PhD of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Garden and Parks, Dniprovsk State Agrarian and Economic University, S. Yephremova str., 25, Dnipro, 49060, Ukraine. Tel.: +38-067-769-63-29; E-mail: glub@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7359-9443>

³ Yuriy Buchavy – PhD of Biological Sciences, Associate Professor of Department of Ecology and Technologies of Environmental Protection, Dnipro University of Technology, av. Dmytro Yavornytsky, 19, Dnipro, 49005, Ukraine. Tel.: +38-066-224-38-66. E-mail: buchavy@gmail.com ORCID:0000-0003-3282-2810

Оценка точности определения надземной фитомассы дистанционными методами

П. И. Лакида¹, В. Н. Ловинская², Ю. В. Бучавый³

Оценку надземной фитомассы сосновых лесов осуществлено путем объединения наземных и дистанционных методов исследований. На основе использования данных спутниковых снимков Sentinel-2 для точек изображений, в которых находились временные пробные площади (ВПП), рассчитаны следующие показатели: NDVI, LAI, FAPAR, FCOVER, CAB и CW. По статистическому анализу данных, распределение спектральных показателей в большинстве случаев соответствует нормальному, учитывая низкие значения асимметрии и эксцесса, по сравнению с критическими величинами. Корреляционный анализ данных выявил, что полученные по спутниковым снимкам спектральные характеристики имели более сильную корреляцию с надземной фитомассой стволов и общей фитомассой, по сравнению с фитомассой кроны сосновых древостоев.

С помощью полученных геоинформационных данных построены модели зависимости надземной

фитомассы от вегетационных и биофизических параметров, с помощью которых описанию подлежали около 70% случаев. В качестве вводных аргументов использовали показатели NDVI, LAI, FAPAR, TVI, FCOVER. Наиболее статистически значимым с построенных уравнений оказалось уравнение зависимости надземной фитомассы сосняков от индекса NDVI. Самая низкая точность аппроксимации наблюдается при включении в уравнение индекса LAI.

Сравнение полученных фактических и смоделированных значений надземной фитомассы сосновых древостоев показало несущественные их отклонения, что свидетельствует о достаточно точном описании модели эмпирических данных. Наиболее интенсивное аккумулятивное фитомассы сосняков в количестве от 150 до 250 т·га⁻¹ осуществляется при величине NDVI, значения которого находятся в диапазоне от 0,4 до 0,5.

Осуществлена трансформация рассчитанных значений надземной фитомассы древостоев сосны обыкновенной на участок лесного массива в структуре Днепровского лесхоза Байрачной Степи (на примере Обуховского лесничества) с формированием карты пространственного распределения надземной фитомассы в пределах лесничества. Значение надземной фитомассы сосновых насаждений Обуховского лесничества находятся в диапазоне от 75 до 310 т·га⁻¹. При этом большая часть территории насаждений сосны (61% площади) имеют фитомассу в диапазоне от 100 до 200 т·га⁻¹.

Суммарная величина наземной фитомассы сосняков в условиях Обуховского лесничества, рассчитанная на основе обработки геоинформационных данных, составляет 195782,40 т, в то время как полученный показатель фитомассы, определенный наземным способом – 210861,95 т, что на 7,2% больше по сравнению с данными ДЗЗ.

Полученные результаты демонстрируют перспективы предложенного метода для оценки надземной фитомассы сосновых насаждений на региональном уровне, как эффективный метод оперативного наблюдения и управления лесными ресурсами в условиях степной зоны.

Ключевые слова: *Pinus sylvestris* L.; Sentinel-2; мультиспектральные спутниковые снимки; вегетационные индексы; Байрачная Степь Украины.

¹ Лакида Петр Иванович – академик Лесной академии наук Украины, первый вице-президент ЛАН Украины, профессор, доктор сельскохозяйственных наук, директор учебно-научного института лесного и садово-паркового хозяйства НУБіП 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: lakida@nubip.edu.ua ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3639-2969>

² Ловинская Виктория Николаевна – кандидат биологических наук, доцент кафедры садово-паркового хозяйства, Днепровский государственный аграрно-экономический университет, ул. С. Ефремова, 25, г. Днепр, 49060, Украина. Тел.: +38-067-769-63-29; E-mail: glub@ukr.net ORCID: <http://orcid.org/0000-0002-7359-9443>

³ Бучавый Юрий Владимирович – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и технологий защиты окружающей среды. Национальный технический университет «Днепро-вская политехника», ул. Д. Яворницкого, 19, г. Днепр, 40005, Украина. Тел.: +38-066-224-38-66. E-mail: buchavyu@gmail.com ORCID: <http://orcid.org/0000-0003-3282-2810>

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/10.15421/412033>

Article received 2020.05.12

Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print

ISSN 2616-5015 online

@ ✉ Correspondence author

Anatoly Zhezhkun

desna-90@ukr.net

Ivana Bohuna str., 90, Novgorod-Siverskyi, 16000,
Ukraine

УДК 630*416.16 : 630*412

Всихання соснових деревостанів Східного Полісся: поширення, наслідки, заходи подолання

А. М. Жежкун¹, І. В. Порохняч²

Охарактеризовано та узагальнено закономірності поширення процесів всихання соснових деревостанів Східного Полісся України під впливом біотичних та абіотичних чинників. Встановлено переважання всихання сосняків у минулі роки внаслідок інфікування збудником *Heterobasidion annosum* ((Fries) Bref.). Після періодичних посушливих вегетаційних періодів 2015-2017 рр. виявлено всихання сосняків за верховим типом із масовим розмноженням стовбурових шкідників та поступовим збільшенням інтенсивності утворення групових, куртинних осередків із переходом до суцільного всихання.

Процеси всихання поступово поширювалися у соснових лісостанах з південно-західної до північно-східної частини Східного Полісся. Площі соснових деревостанів з осередками всихання щорічно становили 12,5-17,1 тис. га (6-8% від їхньої загальної площі). Встановлено збільшення чисельності *Ips acuminatus* Gyll. впродовж 2017-2018 рр. унаслідок збільшення щільності молодого покоління, у 10 та більше разів із продукцією до 100 шт. молодих імаго на 1 дм² площі стовбура заселених дерев сосни. Виявлено можливість розвитку трьох поколінь верхівкового короїду в рік за сприятливих умов.

Встановлено істотне зменшення (у три рази) чисельності короїдів з утворенням лише поодиноких і групових осередків у 2019 р. внаслідок несприятливих погодних умов для зимівлі комах і перевищення багаторічної норми опадів зі зниженням температури на початку вегетаційного періоду. Зниження щільності популяцій зумовлено відновленням водозабезпечення дерев сосни з одночасним підтриманням інтенсивного смоловиділення, що перешкоджало заселенню дерев. На початковому етапі заселення шкідником дуже ослаблених і всихаючих особин сосни дерева здатні короточасно виділяти значний обсяг живиці, який у 1,5 раза вищий, ніж у дерев I-II категорій санітарного стану. Однак, підтримувати таку інтенсивність смоловиділення впродовж тривалого періоду часу ослаблені дерева не в змозі.

¹ Жежкун Анатолій Миколайович – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, директор ДП «Новгород-Сіверська лісова науково-дослідна станція» Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, вул. Богуна, 90, м. Новгород-Сіверський Чернігівської обл., 16000, Україна. Тел.: 04658-3-16-23. E-mail: desna-90@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1431-8944>

² Порохняч Ігор Володимирович – кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник ДП «Новгород-Сіверська лісова науково-дослідна станція» Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, вул. Богуна, 90, м. Новгород-Сіверський Чернігівської обл., 16000, Україна. Тел.: 04658-3-16-23. E-mail: porohniaach.igor@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-8921>

Для зменшення та подолання наслідків усихання сосняків пропонується застосовувати комплекс лісогосподарських і захисних заходів: санітарні рубки, принаджування корисної орнітофауни та інших ентомофагів, внесення мінеральних добрив, застосування стовбурових ін'єкцій для цінних дерев.

Ключові слова: процеси відмирання дерев; стовбурові шкідники; категорії санітарного стану дерев; санітарні рубки.

Вступ. Відтворення продуктивних, біотично стійких деревостанів, що ефективно виконують корисні функції, є одним із найважливіших завдань лісогосподарської галузі держави. У цьому напрямі підтримання біотичної стійкості лісостанів є важливим індикатором сталого розвитку лісового господарства. Внаслідок певних порушень усталених зв'язків між компонентами лісових екосистем відбувається зниження біотичної стійкості лісів (Жежкун, 2018).

В останні роки у зв'язку зі змінами погодних умов відбувається ослаблення дерев, погіршення санітарного стану та всихання деревостанів (Бородавка та ін., 2016; Meshkova & Borysenko, 2018; Криницький, Крамарець, Мацях, 2019; Жежкун, Порохняч, 2019; Reyna, Martínez-Vilalta, Retana, 2019; Klein, 2020).

Внаслідок зміни погодних умов зростає вірогідність заселення ослаблених дерев, а також заготовленої і вчасно не вивезеної деревини, порубкових решток окремими поколіннями короїдів упродовж вегетаційного періоду. У соснових деревостанах поліської зони, порівняно з лісостеповою, відбувається триваліше висихання залишених на лісосіках круглих лісових матеріалів та порубкових решток, що є сприятливим для інтенсивного розмноження верхівкового короїда (*Ips acuminatus* Gyll.) та його поширення (Мешкова, 2019). Природні ентомофаги не встигають регулювати раптово збільшені популяції короїдів, що є причиною зростання кількості і розширення вже існуючих осередків відмирання дерев (Pernek, Kovač, Lacković, 2020).

Внаслідок всихання лісів зменшуються обсяги акумуляції вуглецю у деревині та збільшується виділення його в атмосферу у процесі розкладання рослинних решток (Швиденко та ін., 2014; Мороз, Никитюк, 2020).

З метою підвищення біотичної стійкості деревостанів до несприятливих кліматичних та антропогенних чинників пропонується створювати і формувати насадження мішаного складу і природного походження відповідно до типів лісу (Жежкун, 2017; Жежкун, Порохняч, 2019; Криницький, Крамарець, Мацях, 2019; Klein, 2020). Для попередження інвазій шкідливих комах і поширення хвороб у деревостанах потрібно вчасно здійснювати лісогосподарські заходи.

За останні роки проблема всихання деревостанів сосни звичайної є вельми актуальною у Східному Поліссі України, де сосняки поширені на площі понад 290 тис. га або на 66,4% вкритих лісовою рослинністю земель (Жежкун, 2014).

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – соснові деревостани, що зазнають всихання у Східному Поліссі України. Предмет дослідження – процеси всихання в ослаблених соснових деревостанах та ефективність заходів щодо припинення його поширення. Мета досліджень – вивчити процеси і наслідки всихання соснових деревостанів, визначити господарські заходи для підтримання їхньої біотичної стійкості.

Дослідження здійснювали у соснових деревостанах Поліської зони Лівобережної України у межах Київської, Чернігівської та Сумської областей. Для визначення обсягів всихання сосняків використовували статистичні матеріали відділів захисту лісів обласних управлінь лісового і мисливського господарства.

У соснових лісостанах з ознаками всихання дерев здійснювали рекогносцирувальні та детальні обстеження. У соснових лісових масивах закладали лісопатологічні маршрути, що охоплювали деревостани сосни звичайної різних вікових груп з осередками всихання дерев. Для визначення видового та кількісного складу імаго комах в осередках всихання сосняків встановлювали феромонні пастки. У деревостанах, на відстані 50-70 м в кожен бік від маршрутної лінії, впродовж вегетаційних періодів визначали розміри і площу локалізацій осередків всихання, тип всихання, термін утворення та поширення, ураження збудниками хвороб і заселення шкідливими комахами.

Детальні дослідження здійснювали на постійних (ППП) і тимчасових (ТПП) пробних площах, закладених за методичними вимогами (СОУ 02.02.-37-476, 2006). Пробні площі закладали в осередках всихання деревостанів та поміж ними. Категорію санітарного стану дерев визначали згідно з чинними вимогами (*Санітарні правила...*, 2019). За результатами обліків розраховували середню категорію (індекс) санітарного стану деревостану загалом. У дерев I-IV категорій санітарного стану визначали виділення живиці у двох повторностях, по вісім дерев у кожному варіанті дослідження. Популяційні показники комах, які заселяли дерева в осередках всихання, визначали палетковим методом на модельних деревах сосни звичайної (Падій, 1993). Як основну, під час внесення інсектициду Singenta Актара 25 W.G. у стовбури дерев сосни звичайної III категорії санітарного стану, взято методику стовбурових ін'єкцій за технологією Mauget (Mauget місто-інуєкція ..., 2007). Для вивчення видового складу та принаджування птахів-ентомофагів використовували методичні рекомендації (*Сборник технических указаний...*, 1964).

Результати та обговорення. Відмирання дерев відбувається у деревостані внаслідок природного добору переважно за низовим типом. У разі впливу несприятливих біотичних, абіотичних чи антропогенних чинників, до відпаду переходять не лише дерева з нижньої частини намету, але й дерева домінуючих (I-II) класів росту за Крафтом. За сильних поривів вітру майже щорічно відбуваються вітровали і вітроломи. Зокрема, у ДП «Новгород-Сіверський лісгосп» Чернігівського ОУЛМГ після катастрофічного вітровалу 2012 р. були здійснені суцільні та вибіркові санітарні рубки з вилученням понад 30 тис. м³ ліквідної деревини.

У разі масового розповсюдження шкідливих комах і хвороб відмирання дерев інтенсивно поширюється, набуває інколи інвазійного або епіфітотійного характеру, а відпад – інфекційного або патологічного спрямування. Хронічною хворобою в ослаблених соснових деревостанах регіону є коренева губка, збудником якої є *Heterobasidion annosum* ((Fries) Bref.). У дерев сосни звичайної, інфікованих кореневою губкою, погіршуються фізіологічні функції, змінюються зовнішні морфологічні ознаки (Гирс, 1982; Падій, 1993), інтенсивність виділення та вміст монотерпенів живиці (Усцький, 2019). У державних лісгосподарських підприємствах Чернігівського ОУЛМГ станом на 01.01.2012 р. площа соснових деревостанів, уражених кореневою губкою, становила 31,7 тис. га (Жежжун, 2017). У середньовікових і старших вікових груп соснових деревостанах, переважно чистих за складом, що були інфіковані кореневою губкою, поліпшення індексу їхнього стану досягали вибірковими санітарними рубками. У випадках інтенсивного поширення хвороби до ступеня розладнання сосняків, у минулі роки застосовували суцільні санітарні рубки із запровадженням наступного штучного відновлення на свіжих зрубках. За чинними вимогами (*Санітарні правила...*, 2019) розріджування соснових деревостанів до повноти не менше 0,1 істотно зменшило обсяги суцільних санітарних рубок. За нашими спостереженнями, за останні посушливі роки в регіоні досліджень обсяги всихання деревостанів від кореневої губки істотно зменшилися, але процеси всихання не припинилися.

Упродовж вегетаційного періоду 2015 р. виявлено перші осередки групового відмирання дерев сосни за верховим типом у соснових деревостанах ДП «Вищедубечанське ЛГ» Київського ОУЛМГ та ДП «Остерське ЛГ» Чернігівського ОУЛМГ. У наступні роки процеси всихання соснових деревостанів поширилися у регіоні в східному напрямку та охопили лісовий фонд усіх лісгосподарських підприємств, а осередки, внаслідок розширення, набували куртинного та суцільного типу. Відмирання дерев сосни у зоні тонкої кори стовбурів та гілок крони спричиняв *Ips acuminatus* Gyll., а в зоні грубої кори – *Ips sexdentatus* Boern.

Всихають переважно середньовікові і старших вікових груп низькоповнотні соснові деревостани штучного походження, чисті за складом і про-

сті за формою у всіх типах лісу. Після проведення суцільних рубок та обмеження кормової бази, короїди можуть заселяти молодняки. Початково поодинокі та групові осередки всихання виникали поблизу узлісь, у стінах лісу, вузьких смугах та низькоповнотних соснових лісостанах, а надалі розширювалися і проникали вглиб лісових масивів.

За статистичними даними Чернігівського ОУЛМГ, площа соснових деревостанів з осередками всихання упродовж 2017-2019 рр. становила 12,5-17,1 тис. га, або 6-8% від загальної площі соснових лісостанів (рис. 1).



Рис. 1. Обсяги соснових деревостанів, які зазнали всихання впродовж 2017-2019 рр.

Найбільша кількість нових осередків всихання у соснових деревостанах виникла у 2017 р. (58,5% від загальної кількості за 2017-2019 рр.). На лісопатологічних маршрутах встановлено переважання групового та поодинокого типів всихання сосняків. В утворених осередках всихання зафіксована концентрація чисельності верхівкового короїда з наступним заселенням суміжних дерев сосни, розширенням існуючих та формуванням нових осередків. Виявлено, що впродовж вегетаційного періоду 2017 р. завершило розвиток дві генерації верхівкового короїда: весняна (протягом травня-червня) та літня (протягом липня-серпня). Друга генерація за сприятливого сухого осіннього періоду дала початок личинкам третього покоління, які, однак, не завершили розвиток до настання холодів і надалі зимували поряд із молодими імаго під корою заселених дерев (Порохняч, 2018).

Поширення процесів усихання соснових деревостанів відбувалося на тлі зниження гідротермічного коефіцієнта за Г. Т. Селяниновим (ГТК = 0,2-0,7) у другій половині 2016 р. та упродовж вегетаційного періоду 2017 р. (Порохняч, 2019). За дефіциту атмосферних опадів на початку вегетаційного періоду, несприятливого водного балансу та підвищеного температурного режиму влітку відбувалося порушення перебігу фізіологічних процесів та ослаблення дерев. За аналізом модельних дерев

сосни звичайної встановлено, що щільність личинок молодого покоління верхівкового короїда перевищувала середні значення для виду у 10 разів і більше. Продукція, або кількість жуків молодого покоління, які успішно завершили розвиток і вилетіли з-під кори заселеного дерева впродовж 2017-2018 рр., в середньому становила від 40 до 60 екз./дм², досягаючи 100 екз./дм² (рис. 2). Деревина дерев, заселених верхівковим короїдом, на поперечному розрізі має ознаки посиніння внаслідок ураження офіостомовими грибами синяви, які переносять комахи.



Рис. 2. Відбитки ходів верхівкового короїда під корою заселеного дерева

У 2017 р. на 8,3 тис. га (66,6 % загальної площі) найбільш ушкоджених шкідливими комахами соснових насаджень Чернігівського ОУЛМГ були здійснені санітарні рубки з вилученням не лише сухостійних, але й свіжозаселених дерев сосни.

Погодні умови виявляють певний вплив на розвиток осередків шкідників (Падій, 1993). Так, у квітні-травні 2018 р. випало 10-30, а в серпні-вересні – 39-55% від багаторічної норми опадів. Проте впродовж червня-липня кількість опадів перевищувала понад удвічі середні багаторічні показники. Інтенсивність виникнення нових осередків всихання знизилася до 34%, але відбулося розширення майже на 25% минулорічних групових осередків. Обсяги осередків із суцільним типом всихання (площею понад 0,25 га) становили 2027 га та

збільшилися, порівняно з попереднім роком, у понад вісім разів. За такого стану обсяги суцільних санітарних рубок за 2018 р. істотно збільшилися, а загальний обсяг санітарних рубок зріс, порівняно з попереднім роком, на 2,0 тис. га або на 23,8%.

Упродовж 2018 р. щільність личинок молодого покоління верхівкового короїда на заселених деревах залишалася високою та відповідала етапу концентрації чисельності шкідника. Водночас, подібно до 2017 р., відбувався повний цикл розвитку двох поколінь популяцій верхівкового короїда. Більшість особин третьої генерації на різних стадіях розвитку залишалися на зимівлю під корою дерев сосни, заселених восени. На підставі аналізу модельних дерев встановлено, що після зимівлі 2018-2019 рр. смертність особин верхівкового короїда, які впали в діапаузу, становила майже 80% від їхньої загальної кількості.

У квітні-травні 2019 р. у регіоні визначено перевищення (до 58%) багаторічної норми опадів за зниженого температурного режиму (Порохняч, 2019). Тому свіжі осередки всихання, переважно групового типу, були виявлені лише наприкінці літа 2019 р., після закінчення розвитку лише однієї генерації верхівкового короїда. Початок вегетаційного періоду 2020 р. також був подібним за метеорологічними умовами до попереднього року та несприятливим для розвитку популяцій короїдів.

За результатами обстеження свіжозаселених модельних дерев сосни звичайної виявлено, що чисельність комах у зоні заселення (0,5-0,75 відносної висоти стовбура) і спроб заселення нижче зменшувалася внаслідок виділення смоли (живиці) та заливання нею материнських і личинкових ходів разом із імаго (Порохняч, 2019). Продукція верхівкового короїда на заселених деревах впродовж 2019-2020 рр. становила в середньому близько 30 шт./дм², що у 2-3 рази нижче, ніж у попередні роки.

Закладання активного експерименту з підсочування дерев сосни звичайної різного санітарного стану дало змогу отримати емпіричні результати (табл. 1).

Таблиця 1

Виділення живиці деревами сосни звичайної різного санітарного стану за результатами 3-прийомного підсочування

№ дослідів	Склад деревостану	Вік, років	Повнота	Індекс типу лісу	Маса живиці (г) у дерев сосни за категоріями санітарного стану			
					I	II	III	IV
1	10 Сз	54	0,5	B ₂ -дС	100,6	103,1	58,1	158,8
2	10 Сз	80	0,6	B ₂ -дС	212,1	93,2	205,3	254,1

У середньовікових і пристигаючих соснових деревостанах свіжого дубово-соснового субору повнотою 0,5-0,6 (кв. 24, 25 Слобідського дослідного лісництва ДП «Новгород-Сіверська лісова науково-дослідна станція») смолопродуктивність у липні-серпні 2019-2020 рр. дерев IV категорії санітарно-

го стану виявилась у 1,5 раза вищою, ніж дерев I-II категорій. За висхідним способом підсочування з прокладанням підновок за три прийоми найбільше живиці виділяли дерева сосни IV категорії санітарного стану у перший прийом (90,2%). Подібну тенденцію спостережено і в інших ослаблених де-

рев сосни. Тобто, під час поранення та заселення шкідливими комахами дуже ослаблені і всихаючі дерева здатні стрімко виділяти максимальну кількість живиці для збереження життєвих функцій. Водночас підтримувати таку інтенсивність смоловиділення впродовж тривалого періоду часу вони не в змозі.

У дерев сосни без ознак ослаблення виділення живиці, навпаки, було меншим – у перший і більшим – у наступні прийоми підсочування. Після першого прийому на підновлених карах дерев сосни без ознак ослаблення виділення живиці відбувається триваліший час, ніж на ослаблених деревах.

Залишення найбільш резистентних дерев забезпечуватиме збереження стійкості лісостанів, незалежно від їхнього цільового призначення. В лісах природно-заповідного фонду з обмеженням або заборонаю проведення лісогосподарських заходів всихання соснових деревостанів відбувається стихійно. У заповідних урочищах природно-заповідного фонду лісогосподарських підприємств Чернігівського ОУЛМГ площі соснових деревостанів з осередками всихання в останні роки постійно збільшуються: 2017 р. – 1,4, 2018 р. – 2,0, 2019 – 2,9 тис. га. У нелокалізованих діючих осередках всихання дерев сосни нами виявлено збільшення видового складу і чисельності птахів-ентомофагів, кількості мурашників і трапляння мурахожуків (*Thanasimus formicarius* L.). У феромонних пастках, які встановлювали для моніторингу чисельності короїдів у сосняках, що зазнавали всихання, окрім стовбурових шкідників, виявляли їх природних антагоністів – мурахожуків (до 4 шт. на пастку), які були приваблені концентрацією здобичі. Частота їхньої зустрічності у феромонних пастках становила 30% на початку, досягла 60% впродовж вегетаційного періоду 2019 р. та майже 100% – у середині 2020 року (рис. 3). Отримані дані відповідають загальноєкологічній закономірності, згідно з якою розмноження та збільшення чисельності популяції ентомофагів відбувається з певним запізненням відносно розвитку ксилофагів. Тобто, коли чисельність популяції короїда досягає максимуму, ентомофаги ще не в змозі охопити всю кормову базу короїдів, які продовжують ослаблювати деревостан.

Водночас у феромонних пастках зменшилася кількість виловлених жуків верхівкового короїда. Під час весняного масового льоту на піку спалаху розмноження у ДП «Добрянський лісгосп» з найбільшим ступенем поширення всихання кількість жуків сягала 370 шт. (в середньому 280 шт.) на 1 пастку за декаду, а у 2020 р. – не більше 250 шт. (в середньому 120 шт.) на пастку.

Збільшення обсягів всихання та зростання чисельності шкідливих комах і поширення збудників хвороб у соснових деревостанах заповідних урочищ природно-заповідного фонду підприємств сприяє їхньому розповсюдженню на прилеглі соснові деревостани.

Для подолання наслідків всихання дерева сосни, що заселені шкідливими комахами або інфіковані

хворобами, мають підлягати вилученню зі складу деревостану. Вчасне проведення санітарних рубок в осінньо-зимовий період, на який припадає період зимового спокою комах, є найефективнішим лісогосподарським заходом. Варто зазначити, що у випадку помилкового залишення свіжозаселених комахами дерев після проведення вибіркового санітарного рубку впродовж поточного року відбувається їх всихання, що створює необхідність у проведенні повторної рубки. За правильного призначення дерев у рубку та регулярного здійснення вибіркового санітарного рубку площі всихання і розладнання соснових деревостанів зменшуються, а їхній санітарний стан покращується.

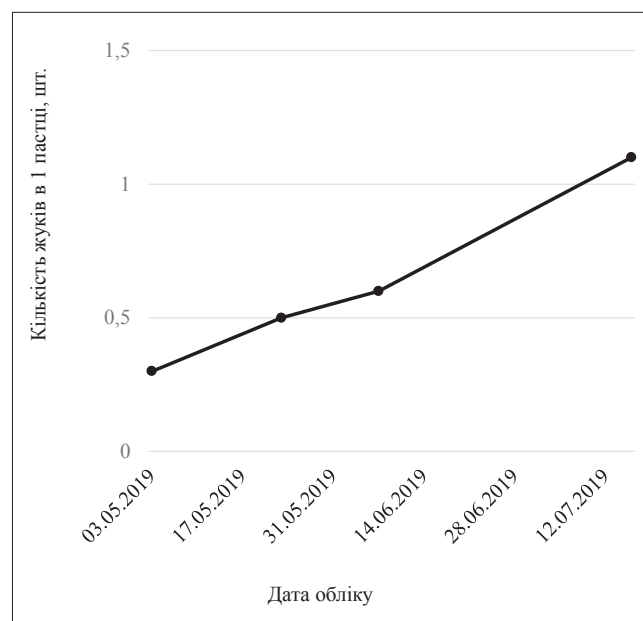


Рис. 3. Динаміка середньої кількості імаго мурахожука, виявлених у феромонних пастках у ДП «Корюківський лісгосп»

За певного збільшення обсягів вибіркового санітарного рубку у соснових деревостанах поліських лісогосподарських підприємств Чернігівського ОУЛМГ у 2019 р. (до 11,6 тис. га за рахунок вилучення осередків всихання минулих років) площі суцільних санітарних рубок зменшились у три рази. Після проведення вибіркового санітарного рубку покращується стан і відбувається певне оздоровлення соснових деревостанів. Однак, втручання та розрідження лісостанів призводить до спрощення видового складу, зменшення повноти, густоти, порушення усталених зв'язків між їхніми компонентами. Тому важливо відповідно до типу лісу формувати деревостани мішаного складу, складної будови, що унеможливуватиме зниження їхньої біотичної стійкості та поступове розладнання.

Зменшення інтенсивності поширення шкідливих комах відбувається після здійснення заходів щодо принадування корисних птахів. На лісопатологічних маршрутах у сосняках з осередками всихання визначали видовий склад птахів і заселеність вивішених нових штучних гніздівель

(Сборник технических указаний..., 1964). Зокрема, наприкінці травня 2019 р. на ділянках виявляли шпак (Sturnus vulgaris L.), зяблика (Fringilla coelebs L.), велику синицю (Parus major L.), мухоловку сіру (Muscicapa striata Pall.), мухоловку строкату (Ficedula hypoleuca Pall.) та ін. За нашими спостереженнями, штучні гніздівлі з отвором льотка 30 мм (синичники) заселяють, окрім синиці великої, особини мухоловки строкатої. Птахи заселяють лише якісно виготовлені гніздівлі, що не мають щілин і протягів. Виявлено, що нові синичники заселяють переважно мухоловки, а синиці закладають гнізда у старих дуплянках, потемнілих від часу. У соснових деревостанах із груповими осередками всихання дерев, заселених верхівковим короїдом, після заселення птахами-ентомофагами штучних гніздівель, не було виявлено поширення діючих та появи нових осередків всихання дерев.

З метою підвищення біотичної стійкості та попередження відмирання дерев цінних видів потрібно вносити добрива, запроваджувати заходи індивідуального захисту рослин. Так, у середньовіковому сосняку свіжого дубово-соснового субору (кв. 2, вид. 8 Брецького лісництва ДП «Корюківський лісгосп») з осередками всихання після внесення мінерального добрива «Нітроамофоска NPK 16:16:16» у межах площі живлення дуже ослаблених дерев останні зберігали і навіть поліпшували свій стан. Водночас інші ослаблені дерева, під які добрива не вносили, зазнавали всихання.

В інших дослідках, які передбачали внесення до провідної системи стовбурів дуже ослаблених дерев сосни звичайної розчину системного інсектициду Syngenta Актара 25 W.G., встановлено поліпшення їхнього стану (40% загальної кількості) та локалізацію поширення осередків «короїдного» всихання середньовікового соснового деревостану. Впродовж двох років (2019-2020 рр.) ін'єктовані 10 дерев у діючому куртинному осередку всихання (кв. 6, вид. 4 Брецького лісництва) зберігали життєві функції. Індекс їхнього стану поліпшився з III,0 до II,6. Водночас, поряд з ін'єктованими модельними деревами, за період спостережень виявлено відмерлі дерева сосни звичайної з ознаками заселення короїдами. Цей захід можливо застосовувати для найцінніших дерев і деревостанів сосни звичайної з ймовірним заселенням короїдами.

Висновки. Всихання соснових деревостанів у Східному Поліссі у минулі роки відбувалося переважно за ураження кореневою губкою та охоплювало понад 10% їхньої загальної площі. Унаслідок змін погодних умов упродовж 2015-2019 рр. відбувалося ослаблення соснових деревостанів і поширення стовбурових шкідників, переважно верхівкового та шестишубого короїдів. Внаслідок масового розмноження верхівкового короїда в осередках всихання, популяційні показники щільності його молодого покоління у 10 разів і більше перевищували середні видові значення, що зумовило стрімку концентрацію його чисельності. Продукція досягала

100 шт. жуків молодого покоління, що успішно завершило свій розвиток і вилетіло з-під кори на 1 дм² площі стовбура заселеного дерева. За сприятливих умов підтверджено можливість розвитку трьох поколінь верхівкового короїда впродовж року.

Після тривалих посух на початку та впродовж досліджуваних вегетаційних періодів збільшувалася кількість та інтенсивність утворення групових, куртинних і суцільних осередків всихання сосняків. Усихали переважно низькоповнотні соснові деревостани середнього і старшого віку штучного походження, чисті за складом і прості за формою в усіх типах лісу. Обсяги соснових деревостанів з осередками всихання щорічно становили 6-8 % від їхньої загальної площі.

Унаслідок несприятливих умов для зимівлі стовбурових шкідників та перевищення багаторічної норми опадів за зниженої температури на початку вегетаційного періоду 2019 р., чисельність популяцій короїдів істотно зменшилася з утворенням лише осередків поодинокого та групового типів. Відновлення водозабезпечення дерев сосни дало змогу підтримувати інтенсивне смоловиділення, достатнє для заливання живицею материнських і личинкових ходів разом із дорослими імаго.

За достатньої зволоженості дерева сосни I-II категорій санітарного стану здатні тривалий час підтримувати сталий рівень смолопродуктивності порівняно з ослабленими деревами. Тому важливо відтворювати стійкіші різновидові соснові деревостани природного походження, мішаного складу і складних за будовою. Проте всихаючі та дуже ослаблені дерева сосни звичайної, порівняно з деревами без ознак всихання, після пошкодження здатні до стрімкого виділення більших обсягів живиці, але не можуть підтримувати його впродовж тривалого часу.

Для зменшення та подолання наслідків всихання соснових деревостанів потрібно застосовувати комплекс лісгосподарських і захисних заходів. Для локалізації та попередження поширення шкідливих комах і хвороб потрібно вчасно проводити санітарні рубки. Збереження найцінніших дерев у всихаючих соснових деревостанах, пошкоджених стовбуровими шкідниками, забезпечується внесенням стовбурових ін'єкцій системних інсектицидів.

Список літератури

- Бородавка, В. О., Гетьманчук, А. І., Кичилук, О. В., Войтюк, В. П. (2016). Патологічні процеси у всихаючих соснових насадженнях Волинського Полісся. *Наук. вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України: Лісівництво та декоративне садівництво*, 238, 102-118 [Borodavka, V., Getmanchuk, A., Kychilyuk, O., & Voytyuk, V. (2016). Pathological processes of withering pine stands in Volyn Polissya. *Scientific bulletin of the National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine. Series: Forestry and decorative gardening*, 238, 102-118 (in Ukrainian)]

- Гирс, Г. И. (1982). *Физиология ослабленного дерева*. Новосибирск: Наука [Girs, G. I. (1982). *Physiology weakening the tree*. Novosibirsk: Science (in Russian)]
- Жежжун, А. М. (2018). Концептуальні засади та господарські заходи підтримання біологічної стійкості лісів. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *Основні проблеми й тенденції подальшого розвитку лісового господарства в Українських Карпатах*, 352-356. Івано-Франківськ, Україна: Український наук.-дослід. ін-т гірського лісівництва [Zhezhkun, A. M. (2018) Conceptual basis and business events to maintain biological sustainability of forests. In *Main problems and tendencies of further development of forestry in the Ukrainian Carpathians*, 352-356. Ivano-Frankivsk, Ukraine: Ukrainian Scientific-Research Institute of Mountain Forestry (in Ukrainian)]
- Жежжун, А. М. (2017). Проблеми функціонування лісових фітоценозів Східного Полісся та шляхи їх вирішення. Матеріали III міжнародної науково-практичної інтернет-конференції *«Актуальні проблеми озеленення населених міст: освіта, наука, виробництво, мистецтво формування ландшафтів»*, 51-53. Біла Церква, Україна: Білоцерківський національний аграрний університет України. [Zhezhkun, A. M. (2017). Problems of the function of forest phytocenoses of the Eastern Polissya and ways of their solution. In *Actual problems of landscaping of populated cities: education, science, production, art of landscaping*, 51-53. Bila Tserkva, Ukraine: Bila Tserkva national agrarian university (in Ukrainian)]
- Жежжун, А. М. (2014). Соснові деревостани Східного Полісся: структура, стан, продуктивність. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 124, 3-12. [Zhezhkun, A. M. (2014). Pine stands off Eastern Polissya: structure, state, productivity. *Forestry and Forest Melioration*, 124, 3-12 (in Ukrainian)]. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe
- Жежжун, А. М., Порохняч, І. В. (2019). Особливості всихання соснових деревостанів Чернігівської області. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *«Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення»*, 115-117. Київ, Україна: Планета-прінт. [Zhezhkun, A. M., & Porokhnyach, I. V. (2019). Features of drying out in pine stands of Chernihiv region of Ukraine. In *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward*, 115-117. Kyiv, Ukraine: Planeta-print (in Ukrainian)]
- Криницький, Г. Т., Крамарець, В. О., Мацяк, І. П. (2019). Лісівничо-екологічні засади збереження соснових лісів: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції *«Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення»*, 42-54. Київ, Україна: Планета-прінт [Krynitsky, G. T., Kramarets, V. O., & Matsiakh, I. P. (2019) Forestry and ecological principles of pine forests' protection. In *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward*, 42-54. Kyiv, Ukraine: Planeta-print (in Ukrainian)]
- Мешкова, В. Л. (2019). Усыхание сосновых лесов Украины с участием короедов: причины и тенденции. *Известия Санкт-Петербургской лесотехнической академии*, 228, 312-335. [Meshkova, V. L. (2019). Decline of pine forest in Ukraine with contribution from bark beetles: causes and trends. *Bulletin of the Sankt-Petersburg Forestry Academy*, 228, 312-335 (in Russian)]. <https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.312-335>
- Мороз, В. В., Никитюк, Ю. А. (2020). Зниження вуглецепоглиняльної здатності деревостанів Житомирського Полісся через загибель соснових насаджень. *Меліорація і водне господарство*, 1, 112-121. [Moroz, V. V., & Nykytiuk, Y. A. (2020). Reduction of carbon absorption capacity of forest stands in Zhytomyr Polissya due to the pine stands mortality. *Land reclamation and water management*, 1, 112-121 (in Ukrainian)] <https://doi.org/10.31073/mivg202001-216>
- Падій, М. М. (1993). *Лісова ентомологія*. Київ: Українська с.-г. академія [Padiy, M. M. (1993). *Forest entomology*. Kyiv: Ukrainian Agricultural Academy (in Ukrainian)]
- Порохняч, І. В. (2018). Особливості поширення верхівкового короїда в соснових деревостанах Східного Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 133, 136-141. [Porokhnyach, I. V. (2018). Features of spread *Ips acuminatus* Gyll. in Pine stands of Eastern Polissya. *Forestry and Forest Melioration*, 133, 136-141 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.136>
- Порохняч, І. В. (2019). Роль метеорологічних чинників у зменшенні продукції верхівкового короїда в соснових деревостанах Східного Полісся. *Лісівництво і агролісомеліорація*, 135, 184-192. [Porokhnyach, I. V. (2019). Role of meteorological factors in reducing the production of *Ips acuminatus* Gyll. in pine stands of Eastern Polissya. *Forestry and Forest Melioration*, 135, 184-192 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.184>
- Санітарні правила в лісах України* (1995). Затвердж. Постановою Кабінету Міністрів України № 555 від 27.07.1995 р. Київ. [Sanitary rules in the forests of Ukraine (1995). Approved by the resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine of 27.07.1995, № 555. Revision on 24.12.2019. Kyiv: Ukraine (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://www.drs.gov.ua/wp-content/uploads/2018/10/14175-22.10.18.pdf>
- Сборник технических указаний по лесозащите* (1964). Київ: Урожай [Collection of technical guidelines for forest protection (1964). Kyiv: Harvest (in Russian)]
- COV 02.02-37-476 (2006). *Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання*. Чинний від 01.05.2007. Київ: Мінагрополітики України [SOU 02.02.-37-476 (2006). *Trial plots of forest management. Method of laying*. (2006). Kyiv: Ministry of Agrarian Policy and Food of Ukraine (in Ukrainian)]
- Усцький, І. М. (2019). Зміни вмісту монотерпенів живиці сосни у зв'язку з ураженням кореневою

губкою (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.). *Лісівництво і агролісомеліорація*, 134, 147-153. [Ustskiy, I.M. (2019). Changes in the content of monoterpenes in the pines resin response to damage by *Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref. *Forestry and Forest Melioration*, 134, 147-153 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.147>.

Швиденко А.З., Лакида, П.І., Щепаченко Д.М., Василишин Р.М., Марчук, Ю.М. (2014). *Вуглець, клімат та землеуправління в Україні: лісовий сектор*. Корсунь-Шевченківський: ФОП Гавришенко В.М. [Shvidenko A., Lakyda P., Schepachenko, D., Vasylyshyn, R., & Marchuk, Yu. (2014). *Carbon, climate, and land-use in Ukraine: Forest sector*. Korsun-Shevchenkivskyi: Publisher V.M. Gavrishenko (in Ukrainian)]

Klein, T. (2020). *Forest vulnerability and tree mortality in the Mediterranean: Impacts and Opportunities*, EGU General Assembly 2020, Online, 4–8 May 2020, EGU2020-2522. <https://doi.org/10.5194/egusphere-egu2020-2522>

Mauget micro-injection reference manual for the identification of insects, disease and nutritional deficiencies in trees (2007). Mauget company.

Meshkova, V.L., & Borysenko, O.I. (2018). Prediction for bark beetles caused desiccation of pine stands. *Forestry and Forest Melioration*, 132, 155-161. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.155>

Pernek, M., Kovač, M., & Lacković, N. (2020). Testiranje biološke učinkovitosti feromona i klopki za ulov mediteranskog potkornjaka *Orthotomicus erosus* (Coleoptera, Curculionidae). *Šumarski list*, 7-8, 339-350. [Pernek, M., Kovač, M., & Lacković, N. (2020). Testing of biological effectiveness of pheromones and traps for catch of mediterranean bark beetle *Orthotomicus erosus* (Coleoptera, Curculionidae). *Journal of the Forestry Society of Croatia*, 7-8, 339-350 (in Croatian)]. <https://doi.org/10.31298/sl.144.7-8.1>

Reyna, T.A., Martinez-Vilalta, J., & Retana, J. (2019). Regeneration patterns in Mexican pine-oak forests. *Forest Ecosystems*, 6, 50. <https://doi.org/10.1186/s40663-019-0209-8>

Dieback of pine stands in Eastern Polissya: distribution, consequences, measures to overcome

A. Zhezhkun¹, I. Porohnyach²

The features of the spread of pine stands decline in the Eastern Polissya of Ukraine under biotic and abiotic factors impact are generalized and highlighted.

The works were carried out according to the generally accepted methods of forest pathological and forestry-taxation research on the forest pathological routes in pine stands with signs of tree decline and in foci of tree mortality, at the permanent and temporary plots in the dieback foci. To determine the species composition, population indices, and population density of stem insects in the dieback foci, periodic decadal assessments were carried out in the exposed pheromone traps and in different parts of the stem of model trees according to entomological research methods.

It is determined that the drying of pine trees in previous years was mainly due to damage of trees by the pathogen of the root rot *Heterobasidion annosum* (Fries) Bref. At the beginning of the growing season in 2015 the reconnaissance surveys revealed the spread of pathological drying of pine stands. After periodic prolonged droughts during the vegetation periods of 2015–2017, in the following years, the intensity of the group formation, curtain dieback foci increased with a tendency to continuous drying of pine stands. Mainly pines of middle-aged and older age, artificial origin, pure composition, simple form, less stand density in all types of forests dried. Dieback foci initially appeared near the forest edge, narrow strips and low-density pine stands, moving to other pines from the south-western to the north-eastern part of Eastern Polissya. Area of pine stands with dieback foci in the study region annually amounted to 12.5–17.1 thousand ha (6–8% of their total area). Based on detailed forest pathological inspection, it was found that tree weakening and the dieback of stands occurred due to the mass propagation of stem insects – *Ips acuminatus* Gyll. and *Ips sexdentatus* Boern. It was determined that the population density of the young generation of *Ips acuminatus* during 2017–2018 exceeded the average population indices by 10 or

¹ Anatoly Zhezhkun – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Director of the State Enterprise «Novgorod-Siverska Forest Research Station» Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.N. Vysotsky, 90 Ivana Bohuna str., Novgorod-Siverskyi, Chernihiv region, 16000, Ukraine. Tel.: +38-04658-316-19; E-mail: desna-90@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1431-8944>

² Ihor Porohnyach – PhD in Agricultural Sciences, Senior researcher of the State Enterprise «Novgorod-Siverska Forest Research Station» Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.N. Vysotsky, 90 Ivana Bohuna str., Novgorod-Siverskyi, Chernihiv region, 16000, Ukraine. Tel.: +38-04658-316-23; E-mail: porohniaach.igor@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-8921>

more times with production up to 100 juvenile beetles per dm² of populated stem area. The possibility of three generations of *Ips acuminatus* development per year under favorable conditions has been revealed.

Due to unfavorable weather conditions for wintering of stem insects and exceeding the long-term precipitation with a decrease in temperature at the beginning of the growing season in 2019 the density of bark beetle populations decreased significantly (2–3 times) with the formation of only single and group dieback foci. The number of insects decreased due to the restoration of water supply to pine trees, which made it possible to maintain sufficient resin release and flooding of mother and larval galleries with adult beetles. With sufficient moisture, pine trees of the 1st-2nd categories of health condition are able to maintain a stable level of resin productivity for a long time compared to weakened trees. Therefore, it is important to reproduce more resistant pine stands of mixed composition, natural origin, complex shape structure. For the first time, it has been found that very weakened and drying up pine trees are able to rapidly but briefly release more resin than more viable trees.

To reduce and overcome the effects of pine forests dieback, a set of forestry and protective measures should be applied: sanitary felling, attraction of birds and other entomophagous animals, application of mineral fertilizers, and stem injections of the most valuable trees.

Key words: tree decline; stem pests; categories of tree health condition; sanitary felling.

Усыхание сосновых древостоев Восточного Полесья: распространение, последствия, меры преодоления

А. Н. Жежкун¹, И. В. Порохняч²

Рассмотрены особенности распространения процессов усыхания сосновых древостоев Восточного Полесья Украины. Установлено, что в про-

шлые годы усыхание сосняков происходило преимущественно вследствие поражения деревьев возбудителем *Heterobasidion annosum* (Fries) Bref. После периодических длительных засух в течение вегетационных периодов 2015-2017 гг. увеличивалась интенсивность образования групповых, куртинных очагов с переходом к сплошному усыханию сосновых древостоев. Причиной усыхания явилось ежегодное массовое размножение вершинного (*Ips acuminatus* Gyll.) и шестизубчатого (*Ips sexdentatus* Boern.) короедов на площади 12,5-17,1 тыс. га (6-8% от общей площади исследуемого региона). Популяционные показатели плотности молодого поколения вершинного короеда за 2017-2018 гг. превышали средние популяционные показатели вида в 10 и более раз со значением продукции до 100 шт. молодых имаго на 1 дм² площади заселенного ствола. Установлена возможность развития трех поколений вершинного короеда в год при благоприятных условиях.

Вследствие неблагоприятных погодных условий для зимовки стволовых вредителей, превышения многолетней нормы осадков и неблагоприятного теплового режима в начале вегетационного периода 2019 г., плотность популяций короедов существенно уменьшилась (в 2-3 раза) с образованием лишь единичных и групповых очагов. При достаточной увлажненности почвы деревья сосны I-II категорий санитарного состояния способны длительное время поддерживать постоянный уровень смолопродуктивности, предотвращая повреждения короедами. Поэтому важно воспроизводить более устойчивые сосновые древостои смешанного состава, природного происхождения, сложного формового строения. Впервые определено, что очень ослабленные и усыхающие деревья сосны способны стремительно, но кратковременно выделять больший объем живицы, чем деревья без признаков ослабления.

Для уменьшения и ликвидации последствий усыхания сосновых древостоев следует применять комплекс лесохозяйственных и защитных мероприятий: санитарные рубки, привлечение птиц и других энтомофагов, внесение минеральных удобрений, стволовые инъекции для наиболее ценных деревьев.

Ключевые слова: процессы отмирания деревьев; стволовые вредители; категории санитарного состояния деревьев; санитарные рубки.

¹ Жежкун Анатолий Николаевич – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, директор ГП «Новгород-Северская лесная научно-исследовательская станция» Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Г.М. Высоцкого, ул. Богуна, 90, г. Новгород-Северский Черниговской обл., 16000, Украина. Тел.: 04658-3-16-23. E-mail: desna-90@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1431-8944>

² Порохняч Игорь Владимирович – кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник ГП «Новгород-Северская лесная научно-исследовательская станция» Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации имени Г.М. Высоцкого, ул. Богуна, 90, г. Новгород-Северский Черниговской обл., 16000, Украина. Тел.: 04658-3-16-23. E-mail: porohniaach.igor@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7739-8921>



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

<http://fasu.nltu.edu.ua>
<https://doi.org/10.15421/412034>
Article received 2020.04.19
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vasyl Mazepa

vasyl.mazepa@gmail.com
General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 639.111.11

Вплив ратичних на рослинність у вольєрах Західного Полісся України

В. Г. Мазепа¹, П. Б. Хоєцький², А. М. Яцина³

Наведено результати дослідження впливу ратичних на рослинність у різних за площею вольєрах Волинського обласного управління лісового та мисливського господарства. Облікові ділянки закладені у насадженнях, які до створення вольєрів та влаштування підгодівельних майданчиків належали до одного таксаційного виділу, що зумовлює їхню лісівничо-таксаційну подібність і дає змогу застосувати метод порівняльної екології.

Вплив ратичних на лісову рослинність вивчали у вольєрах і лісостанах Губинського, Карасинського та Муравицького лісництв, що входять до структури державних підприємств «Володимир-Волинське ЛМГ», «Маневицьке ЛГ» та «Ківерцівське ЛГ» відповідно. У дубових деревостанах Губинського лісництва, де облаштовано вольєр з розведення *Sus scrofa*, що функціонує з 2010 р., зареєстровано зменшення у два рази видового складу судинних рослин. У межах вольєру кількість життєздатного самосіву і підросту *Populus tremula* L. зменшилась у два, *Ulmus scabra* Mill. – у вісім, а *Sambucus nigra* L. – більш ніж у два рази.

У вольєрі Карасинського лісництва для розведення *Sus scrofa*, що функціонував впродовж 2004-2010 рр., станом на 2017 р. зареєстровано відновлення трав'яного вкриття. Коефіцієнт подібності трав у березово-сосновому деревостані вольєру та за його межами становить 61,5%.

У межах вольєра, де утримують *Bison bonasus*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, зонами інтенсивного впливу ратичних на рослинність є підгодівельні майданчики. На функціонуючих майданчиках не виявлено самосіву, підросту та підліску. Разом із кормами, якими підгодовують тварин, у лісове середовище потрапляє насіння сільськогосподарських культур і бур'янів. Встановлено, що з припиненням використання підгодівельних майданчиків, з трав'яного вкриття випадають зернові сільськогосподарські рослини та бур'яни і відновлюється лісова рослинність.

Ключові слова: трав'яне вкриття; підріст; підлісок; підгодівельний майданчик; *Sus scrofa*; *Bison bonasus*; *Cervus elaphus*.

Вступ. Рентабельне ведення мисливського господарства полягає у невиснажливому і раціональному використанні мисливських ресурсів на засадах наближеного до природи господарювання (Хоєцький, 2011). Однак, в Україні внаслідок порушення структури популяцій основних видів мис-

ливських тварин, інтенсивної господарської діяльності, що призвела до погіршення умов існування дичини, порушення правил полювання (браконьєрство), недостатньої кількості фахівців, чисельність мисливських звірів і птахів є незначною. Мисливські угіддя України потенційно багатші за угіддя євро-

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 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>

³ Яцина Андрій Мар'янович – директор ДП «Поліське ЛГ». Державне підприємство «Поліське лісове господарство», вул. Комарова, 38, смт. Маневичі, 44600, Україна. Тел.: +38-067-361-80-07. E-mail: poliske@lisvolyn.gov.ua

пейських країн, але ефективність мисливського господарства в країні значно поступається такій у Європі. У країнах Західної Європи поголів'я ратичних характеризується істотною чисельністю та щільністю (Хоєцький, Похалюк, 2014). Зокрема, у Словаччині, щороку добувають понад 90 тис. голів ратичних, в Австрії – 300-400 тис. особин, що становить 58 голів на 1000 га мисливських угідь (Делеган, Делеган, 2014; Лушак, Делеган, Гунчак, 2007).

В Україні чисельність ратичних незначна. У 2017 р. в мисливських угіддях країни обліковано понад 215 тис. голів. Зокрема, чисельність оленя лісового становила понад 12,5 тис. особин, добування – близько 300 голів. Незначна чисельність поголів'я ратичних в Україні та, зокрема, в угіддях Західного Полісся (понад 28 тис. голів), зумовлює необхідність запровадження заходів, спрямованих на збільшення популяцій мисливських видів. Одним із шляхів підвищення ефективності ведення мисливського господарства, збільшення чисельності мисливських звірів і птахів, є розведення диких тварин у вольєрних умовах (Forejtek, 1999; Zbanek, 2000; Pintiř, 2000, 2000a; Лисенко, 2008; Похалюк, 2016; Похалюк, 2017; Бугрин, Партика, Похалюк, 2018; Мазепа, Колісник, Хоєцький, 2019).

Станом на початок 2017 р. поголів'я ратичних на загороджених територіях в Україні становило понад 2,7 тис. особин. Вихід молодняка олене-подібних у розплідниках і фермах становив близько 1,2 тис. особин. Незначний приплід зумовлений відсутністю досвіду утримання ратичних у вольєрах. Умови утримання звірів у неволі повинні максимально сприяти реалізації репродуктивного по-

тенціалу маточного поголів'я за обов'язкового забезпечення еколого-гігієнічного та протиєпізоотичного захисту стада.

Життєдіяльність ратичних видів в умовах різних за площею загороджених територій призводить до зміни фізико-хімічних властивостей ґрунту і впливу на рослинність (Бондаренко, Білий, Ходзінський, 2007). Одним із недоліків вольєрного господарства є зменшення біологічного різноманіття на загородженій території (Бахур, 2012). У великих за площею вольєрах особливої уваги потребують місця викладки кормів і концентрації звірів – підгодівельні майданчики. Тому, з лісівничого погляду, актуальним є питання дослідження впливу життєдіяльності ратичних тварин на рослинність у вольєрних умовах.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт досліджень – рослинність у межах вольєрів в умовах Західного Полісся України. Предмет досліджень – вплив ратичних тварин на рослинність. Мета роботи – проаналізувати вплив ратичних на видовий склад трав'яного покриття, природне поновлення та санітарний стан деревостанів у різних за площею вольєрах Волинського обласного управління лісового і мисливського господарства.

Дослідження здійснювали у вольєрах, розташованих в угіддях Губинського лісництва ДП «Володимир-Волинське ЛМГ», Карасинського лісництва ДП «Маневицьке ЛГ» і Муравищанського лісництва ДП «Ківерцівське ЛГ» впродовж літнього періоду 2017 року. Лісівничо-таксаційну характеристику насаджень, в яких закладені пробні площі, наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика деревостанів на пробних площах

Кв.	Вид.	Склад деревостану	Індекс типу лісу	Вік деревостану, років	Повнота
Губинське лісництво					
30	13	3Дз2Дчр3Сз2Бр+Яле	С ₂ -гД	28	0,70
Карасинське лісництво					
7	25	9Сз1Бп	В ₃ -дС	79	0,73
Муравищанське лісництво					
38	7	7Сз3Бп	В ₃ -дС	46	0,77
39	1	9Сз1Бп	В ₃ -дС	53	0,77

Пробні площі закладені у насадженнях, які до створення вольєру та влаштування підгодівельного майданчика належали до одного таксаційного виділу, що зумовлює їх лісівничо-таксаційну подібність і відповідає умовам застосування методу порівняльної екології (Погребняк, 1993). На пробних площадках здійснювали суцільний облік дерев за породами, ступенями товщини і категоріями санітарного стану. Оцінювання дерев за категоріями стану здійснювали за загальноприйнятою шкалою: здорові (I), ослаблені (II), сильно ослабле-

ні (III), всихаючі (IV), свіжий сухостій (V), старий сухостій (VI) (Мазепа, Тереля, 2000).

У межах вольєру, підгодівельного майданчика, відповідно до загальноприйнятої методики (Вороб'єв, 1967), закладали через однакову відстань 25 пробних площадок розмірами 2 × 2 м. Для порівняльного аналізу за межами вольєра, підгодівельного майданчика здійснювали облік рослинності на 25-ти контрольних площадках. На пробних площадках визначали кількість самосіву та підросту деревно-чагарникових порід, а також ви-

довий склад, трапляння і проективне вкриття (%) трав'яних рослин. Ступінь проективного вкриття встановлювали для кожного виду рослин за шкалою Г.М. Висоцького (Вороб'єв, 1967). Уточнення назв видів рослин та їх визначення здійснювали за визначником вищих рослин України (Доброчаєва і др., 1987). Подібність трав'яного вкриття у вольєрі, на підгодівельному майданчику та за їх

межами розраховували за коефіцієнтом подібності Жаккара.

Результати досліджень. Вольєр у лісовому фонді Губинського лісництва (кв. 30, вид. 13, пл. 0,6 га) призначений для розведення дикої свині, який використовують з 2010 року. У межах вольєру ідентифіковано шість видів трав, а за межами – 17 видів (табл. 2).

Таблиця 2

**Видовий склад, трапляння і рясність трав'яного вкриття на пробних площах
(1, 3 – у межах вольєру, 2, 4 – за межами вольєру)**

Вид	Губинське л-во		Карасинське л-во	
	1	2	3	4
<i>Aegopodium podagraria</i> L.	–	96/5,5	–	–
<i>Pulmonaria officinalis</i> L.	–	88/4,6	–	–
<i>Asarum europaeum</i> L.	–	96/4,4	–	–
<i>Urtica dioica</i> L.	40/p	44/n	–	–
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	–	4/un	–	–
<i>Carex sylvatica</i> Huds.	–	28/n	–	–
<i>Geum urbanum</i> L.	–	20/n	–	–
<i>Stellaria holostea</i> L.	–	48/5,0	–	–
<i>Galeopsis tetrahit</i> L.	–	64/1,7	–	–
<i>Impatiens noli-tangere</i> L.	–	8/un	–	–
<i>Polygonatum multiflorum</i> (L.) All.	–	20/un	–	–
<i>Paris quadrifolia</i> L.	–	12/n	–	–
<i>Viola reichenbachiana</i> Jordan ex Boreau	–	32/n	–	–
<i>Pleurozium schreberi</i> (Brid.) Mitt.	–	40/1,3	69/7	31/8
<i>Mycelis muralis</i> (L.) Dumort.	–	4/un	–	–
<i>Achillea millefolium</i> L. p. p.	–	4/un	–	–
<i>Ajuga reptans</i> L.	12/n	4/un	–	–
<i>Cirsium avense</i> (L.) Scop.	8/n	–	–	–
<i>Hypericum perforatum</i> L.	20/n	–	–	–
<i>Avena sativa</i> L.	32/n	–	–	–
<i>Oxalis acetosella</i> L.	4/n	–	–	–
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	–	–	85/11	39/4
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	–	–	100/23	54/11
<i>Pteridium aquilinum</i> (L.) Kuhn	–	–	69/p	15/un
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	–	–	92/1	62/1,2
<i>Oxycoccus palustris</i> Pers.	–	–	–	8/un
<i>Ledum palustre</i> L.	–	–	23/2,2	23/1,7
<i>Carex brizoides</i> L.	–	–	15/un	8/un
<i>Robus caesius</i> L.	–	–	–	8/un
<i>Sphagnum palustre</i> L.	–	–	–	23/4
<i>Melampyrum pratense</i> L.	–	–	15/n	15/un
<i>Carex pilosa</i> Scop.	–	–	–	15/un
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull.	–	–	31/p	–

Примітка: чисельник – трапляння видів рослин (%), знаменник – рясність трав'яного вкриття (проективне вкриття у %), р – розкидані екземпляри у незначній кількості, n – поодинокі екземпляри, un – один-два екземпляри на пробних площадках

У вольєрі у незначній кількості зареєстрована *Urtica dioica*, траплялися поодинокі екземпляри п'яти видів рослин (*Hypericum perforatum*, *Avena sativa*, *Cirsium avense*, *Ajuga reptans*, *Oxalis acetosella*). Окремі з них (*Cirsium avense*, *Avena sativa*) потрапили на огорожену територію з кормами, якими здійснювали підгодівлю дикої свині. Істотне зменшення видів (майже у три рази) спричинене незначною площею вольєру (0,6 га) і тривалим використанням (протягом семи років) огороженої території. За межами вольєру найчастіше траплялися *Aegopodium podagraria*, *Asarum europaeum*, *Pulmonaria officinalis*, *Galeopsis tetrahit* та *Stellaria holostea*. Спільними видами, які поширені у вольєрі та контрольній площі, є *Urtica dioica* і *Ajuga reptans*. Індекс подібності між трав'яним вкриттям у вольєрі та за межами огороженої території незначний і становить 9,5%.

Вольєр у Карасинському лісництві (кв. 7, вид. 25, пл. 3,0 га) організований у 2004 р. для розведення диких свиней і функціонував до 2010 року.

У вольєрі виявлено дев'ять видів трав, за його межами – 12 видів. В умовах вольєру домінуючими видами є *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Calamagrostis epigeios*, *Pteridium aquilinum* і *Pleurozium schreberi*. За проективним вкриттям переважають *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis epigeios* і *Pleurozium schreberi*, їх загальна рясність становить 41%. За межами вольєра найчастіше трапляються *Vaccinium vitis-idaea*, *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis epigeios* і *Pleurozium schreberi*, а найбільше проективне вкриття зафіксовано у *Vaccinium myrtillus*, *Pleurozium schreberi*, *Sphagnum palustre* та *Calamagrostis epigeios*. Рясність їх становить 27%, а коефіцієнт подібності трав'яного вкриття – 61,5%.

У Муравищанському лісництві з 2010 р. функціонує вольєр площею 208 га. Тут утримують зубра, оленя лісового, дику свиню. У межах вольєра зонами інтенсивного впливу ратичних є підгодівельні майданчики. На підгодівельному майданчику (пробна площа № 5) зареєстровано сім видів трав, а за його межами (пробна площа № 6) – вісім (табл. 3).

Таблиця 3

**Видовий склад, траплення і рясність трав'яного вкриття на пробних площах
Муравищанського лісництва**

Види рослин	№ пробної площі			
	5	6	7	8
1	2	3	4	5
<i>Vaccinium myrtillus</i> L.	24/p	100/38	48/8	100/44
<i>Calamagrostis epigeios</i> (L.) Roth.	24/1	100/19	16/p	100/19
<i>Avena sativa</i> L.	72/7	–	–	–
<i>Calystegia sepium</i> L.	8/un	–	48/p	–
<i>Chenopodium album</i> L.	20/p	–	12/un	–
<i>Galium aparine</i> L.	4/un	–	20/n	–
<i>Oxalis acetosella</i> L.	4/un	–	16/n	–
<i>Trientalis europaea</i> L.	–	8/un	4/un	8/un
<i>Vaccinium vitis-idaea</i> L.	–	56/p	28/p	56/p
<i>Hylocomium splendens</i> (Hedm.) Schimp.	–	92/45	40/12	96/41
<i>Rubus saxatilis</i> L.	–	8/n	12/n	12/n
<i>Majanthemum bifolium</i> (L.) F. W. Smidt	–	4/un	–	4/un
<i>Melampyrum pratense</i> L.	–	8/n	12/n	12/n
<i>Festuca ovina</i> L.	–	–	72/4	–
<i>Rumex acetosa</i> L.	–	–	12/n	–
<i>Hieracium pilosella</i> L.	–	–	52/p	–
<i>Stellaria media</i> L.	–	–	28/p	–
<i>Veronica officinalis</i> L.	–	–	4/un	–
<i>Urtica dioica</i> L.	–	–	8/n	–
<i>Plantago major</i> L.	–	–	4/un	–
<i>Artemisia absinthium</i> L.	–	–	4/un	–
<i>Euphorbia cyparissias</i> L.	–	–	4/un	–
<i>Capsella bursa-pastoris</i> L.	–	–	8/un	–

1	2	3	4	5
<i>Taraxacum officinale</i> Wigg. aggr.	–	–	4/n	–
<i>Achillea millefolium</i> L. p. p.	–	–	4/un	–
<i>Potentilla argentea</i> L.	–	–	4/un	–
<i>Vaccinium uliginosum</i> L.	–	–	4/un	8/p
<i>Athyrium filix-femina</i> (L.) Roth	–	–	–	12/n
<i>Sphagnum palustre</i> L.	–	–	–	8/2
<i>Calluna vulgaris</i> (L.) Hull.	–	–	–	4/un
<i>Polytrichum commune</i> Hedw.	–	–	–	8/n

Примітка: чисельник – трапляння видів рослин (у %); знаменник – рясність трав'яного вкриття (проективне вкриття у %), p – розкидані екземпляри у невеликій кількості, n – поодинокі екземпляри, un – один-два екземпляри на пробну площадку

Проективне вкриття *Avena sativa* становить 7%, інші рослини, за винятком *Calamagrostis epigeios* (1%), трапляються поодинокими екземплярами. Також виявлено відмінність у видовому складі трав'яного вкриття. П'ять видів, які зареєстровані на підгодівельному майданчику, відсутні за його межами. З них, один вид культурної рослини (*Avena sativa*) та два види бур'янів (*Calysteria sepium*, *Chenopodium album*).

За межами підгодівельного майданчика у березово-сосновому деревостані найчастіше трапляються *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis epigeios*, а також *Hylocomium splendens* та *Vaccinium vitis-idaea*. У трав'яному вкритті у межах виділу характерне переважання *Hylocomium splendens* (проективне вкриття 45%), *Vaccinium myrtillus* (38%) і менше – *Calamagrostis epigeios* (19%). Коефіцієнт подібності незначний і становить 15,4%.

Істотною видовою різноманітністю трав характеризується другий підгодівельний майданчик (пробна площа №7), на якому припинили підгодівлю тварин у 2014 році. Тут зареєстровано 25 видів трав. Найчастіше трапляються *Festuca ovina*, *Hieracium pilosella*, *Vaccinium myrtillus* та *Calysteria sepium*. У проективному вкритті переважають *Hylocomium splendens* (12%) і *Vaccinium myrtillus* (8%). Коефіцієнт подібності трав'яного вкриття становить 26,7%. На підгодівельному майданчику відсутній *Avena sativa*, але продовжують проростати, як і на першому підгодівельному майданчику, бур'яни (*Calysteria sepium*, *Chenopodium album*).

Майже вдвічі менше видів виявлено у трав'яному вкритті за межами підгодівельного майданчика (пробна площа № 8). Найчастіше трапляються *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis epigeios*, *Hylocomium splendens*, менше – *Vaccinium vitis-idaea*. Однак, проективне вкриття деяких видів (*Vaccinium myrtillus*, *Hylocomium splendens*) за межами підгодівельного майданчика у 3-4 рази більше, ніж на майданчику. На підгодівельному майданчику близько 40% трав відносяться до лучних і бур'янів, не характерних для лісового середовища. Видовий склад трав на пробній площі № 8 характеризується

подібністю до трав'яного вкриття на пробній площі № 6, коефіцієнт подібності становить 61,5%.

У вольтері Губинського лісництва кількість видів підросту і підліску сосново-дубового насадження є меншою, ніж за його межами (табл. 4).

Зокрема, на огороженій території виявлено підріст *Populus tremula*, *Ulmus scabra* та *Sambucus nigra*, а за її межами – сім видів деревних і чотири види чагарникових рослин. За межами вольтера виявлено життєздатного самосіву і підросту *Populus tremula* у два рази, *Ulmus scabra* – у вісім разів, а *Sambucus nigra* – понад два рази більше, ніж у межах вольтера.

На огороженій території зареєстровано 13 деревних видів, а за межами – дев'ять. Категорія стану деяких видів (*Pinus sylvestris*, *Picea abies*) не змінилася, але їхня частка у складі деревостану незначна. У *Carpinus betulus* санітарний стан змінився від здорового (за межами вольтера) до сильно ослабленого (у вольтері). Зареєстрована зміна категорії стану в інших видів: *Salix caprea* (з 1,3 до 2,5), *Betula pendula* (з 1,2 до 2,2), *Populus tremula* (з 1,5 до 2,3), *Quercus robur* (з 2,0 до 2,7).

Виявлено також відмінність деревних видів за сортиментами. Зокрема, у *Prunus avium* напівділових сортиментів у вольтері не виявлено (лише дров'яні), а за межами напівділові сортименти становили 14,3% (дров'яні – 85,7%). Відсутні ділові сортименти у *Pinus sylvestris*, а частка напівділової деревини зменшилася майже утричі: з 48% (за межами вольтера) до 17% (у вольтері).

В угіддях Карасинського лісництва, через припинення використання вольтера, відмінність у видовому складі деревно-чагарникової рослинності виражена слабше. На території вольтера зареєстровано підріст трьох деревних видів (*Quercus robur*, *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*), а за його межами – шість (*Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*, *Populus tremula*, *Salix caprea*). На огороженій території та за її межами в підліску траплялася лише *Frangula alnus*. На функціонуючому підгодівельному майданчику Муравицького лісництва (пробна площа № 5) не виявлено підросту, а за його межами – наявний підріст

чотирьох деревних видів (*Pinus sylvestris*, *Quercus robur*, *Betula pendula*, *Sorbus aucuparia*). На майданчику, де підгодівлю припинили (пробна площа № 7), видовий склад підросту і підліску подібний до тако-

го на контрольній ділянці (пробна площа № 8). Характерною особливістю була наявність підстилки на всіх пробних площах, де вона у 3-5 разів товща (6,5-7,8 см), ніж на підгодівельних майданчиках.

Таблиця 4

**Кількість життєздатного самосіву та підросту деревно-чагарникових порід
під наметом деревостанів на пробних площах
(чисельник – трапляння, %; знаменник – чисельність, тис. шт.га⁻¹)**

Види рослин	Лісництво, номер пробної площі							
	Губинське		Карасинське		Муравищанське			
	1	2	3	4	5	6	7	8
<i>Pinus sylvestris</i> L.	–	–		16/0,8	–	8/0,4	16/1,2	68/1,0
<i>Quercus robur</i> L.	–	–	8/0,4	8/0,2	–	16/0,4	16/0,5	4/0,1
<i>Betula pendula</i> Roth.	–	–	–	16/0,4	–	4/0,1	12/0,3	4/0,1
<i>Sorbus aucuparia</i> L.	–	–	31/0,8	17/0,4	–	4/0,1	–	–
<i>Populus tremula</i> L.	4/0,1	8/0,2	32/2,3	16/0,6		–	–	–
<i>Salix caprea</i> L.	–	–	–	17/0,8		–	–	–
<i>Ulmus scabra</i> Mill.	8/0,2	48/1,6	–	–			–	–
<i>Acer pseudoplatanus</i> L.	–	4/0,2	–	–	–		–	–
<i>Acer platanoides</i> L.	–	4/0,2	–	–	–	–	–	–
<i>Picea abies</i> (L.) Karsten	–	4/0,1	–	–	–	–	–	–
<i>Tilia cordata</i> Mill.	–	4/0,1	–	–	–	–	–	–
<i>Carpinus betulus</i> L.	–	4/0,1	–	–	–	–	–	–
<i>Corylus avellana</i> L.	–	8/0,4	–	–	–	–	–	–
<i>Euonymus europaea</i> L.	–	4/0,1	–	–	–	–	–	–
<i>Frangula alnus</i> Mill.	–	–	62/3,4	25/3,1	–	72/3,4	24/0,9	61/3,0
<i>Sambucus nigra</i> L.	36/1,3	52/3,1	–	–	–	–	–	–
<i>Swida sanguinea</i> (L.) Opiz.	–	32/1,4	–	–	–	–	–	–
Трапляння (%) і товщина лісової підстилки (см)	–	–	–	–	36/2,0	100/6,5	60/1,4	100/7,8

Примітка: пробні площі: 1, 3 – у вольєрі, 2, 4 – за межами вольєра; 5, 7 – підгодівельний майданчик, 6, 8 – за межами підгодівельного майданчика

На підгодівельному майданчику (пробна площа № 7) зареєстровано три види деревних рослин (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*, *Quercus robur*), а за межами – лише два (*Pinus sylvestris*, *Betula pendula*). Категорії стану деревних видів практично не зазнали змін. Так, у *Pinus sylvestris* на підгодівельному майданчику категорія стану становила 2,4, а за межами – 2,3, у *Betula pendula* – на підгодівельному майданчику – 4,3, за межами – 4,2.

Висновки. У незначних за площею вольєрах і тривалому утриманні мисливських ратичних тварин видовий склад судинних тут зменшується у 2,8 рази порівняно із незагородженими територіями. У межах вольєра трапляються у незначній кількості. Коефіцієнт подібності між трав'яним вкриттям у вольєрі з розведення *Sus scrofa*, що функціонує з 2010 р., і контрольній площі незначний і становить 9,5%. Кількість видів у підрості і підліску

у дубових деревостанах на огороженій території менша, ніж за її межами. У межах вольєра кількість життєздатного самосіву і підросту *Populus tremula* зменшилась у два рази, *Ulmus scabra* – у вісім разів, а *Sambucus nigra* – більш ніж у два рази порівняно із незагородженими територіями.

На огороженій території зареєстровано незначну зміну категорії санітарного стану низки деревних видів – *Salix caprea*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Quercus robur*. Внаслідок впливу дикої свині, у межах вольєра санітарний стан дерев *Carpinus betulus* змінився до сильно ослабленого порівняно із здоровим станом за межами вольєру.

У вольєрах, які вилучені із користування, природне трав'яне вкриття відновлюється через 4-6 років. Коефіцієнт подібності трав на огороженій території та за її межами становить 61,5%. У березово-соснових деревостанах у межах діючо-

го підгодівельного майданчика не виявлено само-сіву, підросту та підліску. У складі рослинності на підгодівельному майданчику зареєстровано не характерні для лісостанів сільськогосподарські культури і бур'яни. Всього виявлено сім видів трав, у т.ч. культурну рослину (*Avena sativa*) та два види бур'янів (*Calysteria sepium*, *Chenopodium album*). З припиненням використання підгодівельного майданчика у трав'яному вкритті зникають сільськогосподарські рослини та бур'яни і відновлюється лісова рослинність.

Список літератури

- Бахур, О.В. (2012). Опыт ведения вольерного лесохозяйственного хозяйства «Шерешовское». *Труды Брянского гос. техн. ун-та*, 1, 69-71 [Bakhur, O. V. (2012). The experience of the open-air cage forestry «Shereshovskoye». *Proceedings of Bryansk State Technical University*, 1, 69-71 (in Russian)]. Retrieved from <https://cyberleninka.ru/article/n/opyt-vedeniya-voliernogo-lesoohotnichieho-hozyaystva-shereshovskoe>
- Бондаренко, В.Д., Білий, В.В., Ходзінський, В.П. (2007). Зміна фізико-хімічних властивостей ґрунту під впливом ріучої діяльності свині дикої. *Науковий вісник Надслучанського інституту: Проблеми Західного Полісся*, 1, 117-121 [Bondarenko, V.D., Biliy, V.V., & Khodzinsky, V.P. (2007). A change of physical and chemical powers to the soil before the inundation of the wild pigs. *Scientific Bulletin of the Nadsluchany Institute: Problems of Western Polissya*, 1, 117-121 (in Ukrainian)]
- Бугрин, Л.М., Партика, Т.В., Похалюк, О.М. (2018). Елементи технології створення пасовищ для оленя лісового в умовах вольерного розведення. *Науковий вісник НЛТУ України*, 28 (2), 37-40 [Bugrin, L.M., Partika, T.V., & Pohalyuk, O.M. (2018). Elements of technology for creating pastures for forest deer in aviary breeding. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University of Ukraine*, 28 (2), 37-40 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/40280205>
- Вороб'єв, Д.В. (1967). *Методика лесотипологических исследований*. Киев: Урожай [Vorobiov, D.V. (1967). *Methodology for forest typological research*. Kyiv: Harvest (in Russian)]
- Делеган, І.І., Делеган, І.В. (2014). Особливості організації ведення мисливського господарства у Словаччині. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24.8, 52-57 [Delegan, I.I., & Delegan, I.V. 2014). Features of the organization of hunting management in Slovakia. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24.8, 52-57 (in Ukrainian)]. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnltu_2014_24.8_10
- Доброчаева, Д.Н., Котов, М.И., Прокудин, Ю.Н., Барбарич, А.И., Чопик, В.И., Протопопова, В.В. ... Орнст, Э.Й. (1987). *Определитель высших растений Украины*. Киев: Наукова думка [Dobrochaeva, D.N., Kotov, M.I., Prokudin, Yu.N., Barbarich, A.I., Chopik, V.I., Protopopova, V.V. ... Ornst, E.Y. (1987). *Keys to higher plants of Ukraine*. Kyiv: Scientific thought (in Russian)].
- Лисенко, В.І. (2008). Перспективні шляхи нетрадиційного використання малоцінних сільськогосподарських угідь. *Екологічний вісник*, 3, 31-32 [Lysenko, V.I. (2008). Pathways for non-traditional use of low-value agricultural land. *Ecological Bulletin*, 3, 31-32 (in Ukrainian)]
- Лушчак, М., Делеган, І., Гунчак, М. (2007). З досвіду ведення мисливського господарства в Австрії. *Лісове та мисливське господарство: сучасний стан і перспективи розвитку: матеріали Міжнарод. наук.-практ. конф. (27-29.11.2007 р, м. Житомир)*, 2, 259-263 [Lushchak, M., Delegan, I., & Gunchak, M. (2007). To the notice of the Mislivsky government in Austria. In *Forestry and hunting: current status and prospects*, 2, 259-263. Zhytomyr: Ukraine: PE «Publishing House Volyn» (in Ukrainian)]
- Мазепа, В.Г., Колісник, Б.І., Хоєцький, П.Б. (2019). Трав'яне вкриття і запаси лучних кормів для утримання *Cervus elaphus* L. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 19, 154-162 [Mazepa, V.G., Kolisnik, B.I., & Khoetsky, P.B. (2019). Herbs including archery food supplies for *Cervus elaphus* L. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 19, 154-162 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.15421/411937>
- Мазепа, В.Г., Тереля, І.П. (2000). *Санітарний стан деревостанів та проект заходів щодо його поліпшення: методичні вказівки*. Львів: Укр. держ. лісотехн. ун-т [Mazepa, V.G., & Terelya I.P. (2000). Sanitary camp of woodworkers and project of visits to the school. Lviv: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian)]
- Погребняк, П.С. (1993). *Лісова екологія і типологія лісів*. Київ: Наукова думка [Pogrebnyak, P.S. (1993). *Forest ecology and typology of forests*. Kyiv: Scientific thought (in Ukrainian)]
- Похалюк, О.М. (2017). Значення вольерного розведення диких тварин у збереженні рідкісних видів звірів. *Тернопільські біологічні читання: матеріали наук.-практ. конф. (20-22 квітня 2017 р., Тернопіль)*, 227-341. [Pohalyuk, O.M. (2017). The value of free breeding of wild animals in the conservation of wild species of animals. In *Ternopil biological reading*, 227-341. Ternopil, Ukraine: Ternopil National Pedagogical University (in Ukrainian)]
- Похалюк, О.М. (2016). Шляхи покращення ведення мисливського господарства в умовах Західного Полісся. *Перспективи розвитку лісового та садово-паркового господарства: матеріали Всеукраїн. наук.-практ. конф. (14.12.2016 р., Умань)*, 166-167 [Pohalyuk, O.M. (2016). Ways to improve hunting management in the conditions of Western Polissya. In *Prospects for the development of Forestry and Horticulture*, 166-167. Uman, Ukraine: Uman National University of Horticulture (in Ukrainian)]
- Хоєцький, П.Б. (2011). *Концепція розвитку мисливського господарства Західного регіону України*. Львів: НЛТУ України [Khoetsky, P.B. (2011). *The concept of development of the hunting*

- economy of the Western region of Ukraine. Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian)]
- Хоцький, П. Б., Похалюк, О. М. (2014). Мисливське господарство країн Європи. *Науковий вісник НЛТУ України*, 24.8, 42-52 [Khoyetsky, P. B., & Pokhalyuk, O. M. (2014). Wildlife Management in European Countries. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, 24.8, 42-52 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2014/24_8/9.pdf
- Forejtecký, P. (1999). Chov černe zveru na Slovensku. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 47 (6), 6-8 [Forejtecký, P. (1999). Breeding black game in Slovakia. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 47 (6), 6-8 (in Czech)]
- Pintř, J. (2000a). Intenzivní chovy elenovitých v České republice. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik* 48 (1), 4-6 [Pintř, J. (2000a). Intensive breeding of cervids in the Czech Republic. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik* 48 (1), 4-6 (in Czech)] Retrieved from <https://www.myšlivost.cz/Casopis-Myšlivost/Myšlivost/2000/Leden---2000/Intenzivni-chovy-jelenovitých-v-Česke-republice>
- Pintř, J. (2000). Metody chovu v intenzivních chovech jelenovitých. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 48 (5), 14-15 [Pintř, J. (2000). Methods in intensive deer breeding *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 48 (5), 14-15 (in Czech)]. Retrieved from <https://www.myšlivost.cz/Casopis-Myšlivost/Myšlivost/2000/Kveten---2000/Metody-chovu-v-intenzivních-chovech-jelenovitých>
- Zbánek, S. (2000). Farmové chovy jelenovitých. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 48 (9), 14-15 [Zbánek, S. (2000). Farm breeding of deer. *Myšlivost. Stráž myšlivosti. Rocnik*, 48 (9), 14-15 (in Czech)]. Retrieved from <https://www.myšlivost.cz/Casopis-Myšlivost/Myšlivost/2000/Zari---2000/Farmove-chovy-jelenovitých>

Impacts of hoofed animals on vegetation in aviaries of the Western Polissya of Ukraine

V. Mazepa¹, P. Khoyetsky², A. Yatsyna³

The study results of hoofed animals impact on vegetation in aviaries of different size of the Volyn Regional Department of Forestry and Hunting are

- ¹ *Vasyl Mazepa* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, doctor of agricultural Sciences, Professor, Professor of chair of Forestry. National forestry University of Ukraine, Generala Chuprynky str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel: +38-097-788-45-10. E-mail: vasyl.mazepa@gmail.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2149-3409>
- ² *Pavlo Khoyetsky* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, doctor of agricultural Sciences, Professor, Professor of chair of Forestry. National forestry University of Ukraine, Generala Chuprynky str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel: +38-068-845-84-77. E-mail: hpb@ua.fm ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9726-953X>
- ³ *Andriy Yatsyna* – Director of the State Enterprise «Polish Forestry», SE «Polish Forestry», Komarova str., 38, village Manevychi, Volyn region, 44600, Ukraine. Tel: +38-067-361-80-07. E-mail: poliske@lisvolyn.gov.ua

presented. The reaserch sites are laid in forest stand, which belonged (before the construction of the aviary and the arrangement of the feeding area) to one taxonomic department that determines their forestry-taxonomic identity what allows to apply the method of comparative ecology.

The impact of hunting hoofed animals on forest vegetation was studied in aviaries and forest stands of Gubynsky, Karasynsky and Muravyshchansky forestry units, which are part of the structure of state enterprises «Volodymyr-Volynske forestry», «Manevytsia forestry» and «Kivertsy forestry», respectively. In oak stands of the aviary of Gubinsky forestry for breeding *Sus scrofa*, which has been operating since 2010, as of 2017, a twofold decrease in the species composition of vascular plants was observed.

Outside the enclosure, 2 times more viable self-seeding and undergrowth of *Populus tremula*, *Ulmus scabra* – 8 times, and *Sambucus nigra* – more than 2 times were recorded. The coefficient of similarity between the grass cover inside and outside the enclosure is insignificant – 9.5%. Within the enclosure, a slight change in the sanitary condition category of such tree species as *Salix caprea*, *Betula pendula*, *Populus tremula*, *Quercus robur* was registered. As a result of exposure of wild boar within the enclosure, the sanitary condition of *Carpinus betulus* trees has changed to significantly weakened compared to healthy outside the enclosure.

As of 2017, the grass cover restoration was registered in the aviary of Karasinsky forestry for breeding *Sus scrofa*, which operated from 2004 to 2010. In aviary conditions the dominant herbs are *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea*, *Calamagrostis epigeios*, *Pteridium aquilinum* and *Pleurozium schreberi*. The projective cover is dominated by *Vaccinium myrtillus*, *Calamagrostis epigeios* and *Pleurozium schreberi*, their total abundance is 41%. The coefficient of similarity of grasses in the pine-birch stand of the aviary and outside it is 61.5%.

Within the aviary of Muravyshchansky forestry, where *Bison bonasus*, *Cervuselaphus*, *Sus scrofa* are kept, the areas of intensive influence of hoofed animals on forest vegetation are feeding grounds. Self-seeding, undergrowth and undergrowth were not found in pine-birch stands within the existing feeding site. Crops and weeds that are not typical for forest stands have been found in the vegetation within the feeding site. A total of seven grass species were identified, including a cultivated plant (*Avena sativa*) and two weeds (*Calysteria sepium*, *Chenopodium album*).

Cultivated plants enter the forest environment together with the fodder they feed hoofed animals. It was found out that with the cessation of animal feeding, the composition of tree species and undergrowth species on the feeding site was restored and is identical to the vegetation outside it. Four years after the cessation of feeding of hunting animals, grain crops and weeds fall out of the grass cover of the former feeding ground and the forest environment

is restored. There are 25 species of herbs registered here. The most common are *Festuca ovina*, *Hieracium pilosella*, *Vaccinium myrtillus* and *Calystegia sepium*. *Hylocomium splendens* (12%) and *Vaccinium myrtillus* (8%) predominate in the projective cover. Coefficient of similarity of the grass cover is 26.7%. The sanitary condition of wood species on the functioning feeding site has not changed significantly.

Key words: grass cover; young growth; undergrowth; feeding ground; *Sus scrofa*; *Bison bonasus*; *Cervus elaphus*.

Влияние копытных на растительность в вольерах Западного Полесья Украины

В. Г. Мазепа¹, П. Б. Хоецкий², А. М. Яцина³

Приведены результаты исследования влияния копытных на видовой состав растительности в разных по площади вольерах Волынского областного управления лесного и охотничьего хозяйства. Учет-

ные участки заложены в насаждениях, которые до создания вольеров и устройства подкормочных площадок принадлежали к одному таксационному выделу, что предопределяет их лесоводственно-таксационную идентичность и позволяет применить метод сравнительной экологии.

Влияние копытных на лесную растительность изучали в вольерах и древостоях Губинского, Карасинского и Муравищанского лесничеств, входящих в структуру государственных предприятий «Владимир-Волыньское лесохозяйственное», «Маневичское лесное хозяйство» и «Киверцовское лесное хозяйство» соответственно. В дубовых древостоях Губинского л-ва, где обустроен вольер по разведению *Sus scrofa*, функционирующий с 2010 г., обнаружено уменьшение в два раза видового состава сосудистых растений. В пределах вольера количество жизнеспособного самосева и подроста *Populus tremula* L. уменьшилось в два раза, *Ulmus scabra* Mill. – в восемь раз, а *Sambucus nigra* L. – более чем в два раза.

В вольере Карасинского л-ва для разведения *Sus scrofa*, который функционировал на протяжении 2004-2010 гг., по состоянию на 2017 г. зарегистрировано восстановление травяного покрова. Коэффициент сходства трав в сосново-березовом древостое вольера и за ее пределами составляет 61,5%.

В пределах вольера, где содержат *Bison bonasus*, *Cervus elaphus*, *Sus scrofa*, зонами интенсивного воздействия копытных на растительность являются подкормочные площадки. На функционирующей площадке отсутствует самосев, подрост и подлесок. Установлено, что с прекращением использования подкормочной площадки с травяного покрова исчезают зерновые сельскохозяйственные растения и сорняки, восстанавливается лесная растительность.

Ключевые слова: травяной покров; подрост; подлесок; подкормочная площадка; *Sus scrofa*; *Bison bonasus*; *Cervus elaphus*.

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 Хоецкий Павел 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>

³ Яцина Андрей Марианович – директор ГП «Полесское ЛХ», государственное предприятие «Полесское лесное хозяйство», ул. Комарова, 38, пгт. Маневичи, Волинская обл., 44600, Украина. Тел.: +38-067-361-80-07. E-mail: poliske@lisvolyn.gov.ua

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/10.15421/412035>
Article received 2020.03.18
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Myroslava Soroka

myroslava_soroka@yahoo.com
General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 635.927

Особливості формування фітобіоти плоских зелених дахів екстенсивного типу у м. Львові

О.Є. Галевич¹, М.І. Сорока²

Досліджено таксономічний склад, біоекологічні та хорологічні характеристики культивованих видів рослин плоских зелених дахів екстенсивного типу. Виявлено структурні особливості флори культивованих видів, досліджено їх рівні морозо- і зимостійкості та USDA-районування, вивчено вертикальний розподіл типів зелених дахів. Для озеленення покрівель використовують п'ять основних типів – «Седумний килим», «Газонний дах», «Духмяні трави», «Злаковий сад» і «Сад на даху». Більшість втілених проектів виконано за технологією і з використанням субстратів, газонних сумішей і асортименту рослин німецької компанії «ZinCo GmbH». Виявлено також об'єкти колективної та приватної власності у малоповерховій забудові, де для озеленення дахів здійснено індивідуальні проекти, а асортимент рослин підібрано згідно проектних пропозицій. Найбільше озеленених дахів створено на будівлях заввишки 10-20 м (45% зелених дахів). Також популярним у місті є озеленення дахів висотних житлових будівель 10-ти і вищих поверхів (22%). Для озеленення плоских дахів використано 230 видів рослин та 105 їх культиварів. У спектрі життєвих форм домінують фанерофіти (129 видів; 44%) і гемікриптофіти (98; 33%). Більшість видів рослин, використаних для озеленення дахів, природно ростуть у Південно-Східній Азії – 56 видів (24%), Європі (50; 22%), Північній Америці (39; 17%) та Євразії (32; 14%); 11 видів (5%) мають гібридне походження.

Серед представників хвойних переважають карликові рослини з блакитним забарвленням хвої, серед листяних дерев і кущів – строкатолісті, облямовані та пурпурнолісті низькорослі форми. Газонні дахи виконані, переважно, посівом із травосумішей низькорослих злаків та мікроконюшини, однорічні рослини практично не використовуються.

Аналіз зимостійкості видів показав, що на зелених дахах найкраще зимують види з гірських районів Центральної і Східної Азії, де панує континентальний клімат. Натомість види з європейських гір мають нижчу зимостійкість. Розподіл видів за USDA-зонами показав, що найбільше використано видів п'ятої зони морозостійкості (96 видів; 33%), широко представлені також види четвертої (69; 23%) і третьої зон (61; 21%).

Ключові слова: озеленення покрівель; видовий склад; культивари; біоморфологічна структура; морозостійкість; USDA-зони.

¹ Галевич Оксана Євгенівна – аспірант кафедри ботаніки, деревинознавства та недревних ресурсів лісу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів 79057, Україна. Тел.: +38-032-239-27-11. E-mail: oksana.galevich2019@gmail.com

² Сорока Мирослава Іванівна – науковий керівник, академік Лісівничої академії наук України, доктор біологічних наук, професор. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, Львів 79057, Україна. Тел.: +38-032-239-27-11. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

Вступ. Озеленення експлуатованих покрівель є одним із видів інтродукції рослин, який потребує наукового підходу та ретельного підбору асортименту задля успішного функціонування зелених дахів – самостійного елементу урбоценозу, який покращує естетичні характеристики міського озеленення і виконує екологічну та економічну ролі. Зелені дахи, вкриті мохами й травами, з'явилися природним шляхом у Скандинавії, Ісландії, на островах Океанії, у Середній Азії та Африці. На сьогодні дослідження у напрямі озеленення дахів довели високу ефективність таких покрівельних технологій.

Останні мають багато переваг порівняно зі звичайними даховими матеріалами. Відомо, що забудовані території через значні площі водонепроникних поверхонь, які перешкоджають переведенню води у внутрішньогрунтовий стік, генерують значно більше опадової води, аніж території, вкриті рослинами. Звичайні дахи є водонепроникними, а тому їхнє озеленення – один із способів регулювання опадових стоків у місті (VanWoert et al., 2005; Villarreal & Bengtsson, 2005; Getter & Rowe, 2006; Teemusk & Mander, 2007; Simmons, Gardiner, Windhager & Tinsley, 2008; Nagase & Dunnett, 2012; Nardini, Andri & Crasso, 2012; Burszta-Adamiak, Łomotowski & Wiercik, 2014; Ткаченко, 2016; Ksit, & Pożegowiak, 2017), що значно економить енергоносії, витрачені на каналізацію та водовідведення (Liu & Minor, 2005; Мельничук, 2008; Castleton, Stovin, Beck & Davison, 2010; Feng, Meng & Zhang, 2010; Počrová, Vranay, & Vranayova, 2016). Одночасно зелені дахи сприяють пом'якшенню міського парникового ефекту (Köhler et al., 2002; Takebayashi & Moriyama, 2007; Wong & Lau, 2013; Berardi, Ghaffarian Hoseini & Ghaffarian Hoseini, 2014), дають змогу покращити мікроклімат будівель (Palomo & Barrio, 1998; Niachou, Papakonstantinou, Santamouris, Tsangrassoulis & Mihalakakou, 2001; Theodosiou, 2003; Wong, Chen, Ong, & Sia, 2003), зменшити шумове та хімічне забруднення (Van Renterghem & Botteldooren, 2011) та збільшити термін служби покрівельних матеріалів (Kosareo & Ries, 2007).

Актуальним на сьогодні є підбір легких субстратів для зелених дахів (VanWoert et al., 2005; Getter & Rowe, 2006; Rowe & Monterusso, 2006; Durhman, Rowe & Rugb, 2007) та асортименту рослин, придатних для озеленення покрівель (Thompson, 1998; Monterusso, Rowe & Rugb, 2005; Villarreal & Bengtsson, 2005; Köhler, 2006; Rowe, Monterusso & Rugb, 2006; Snodgrass & Snodgrass, 2006; Emilsson, 2008; Wolf & Lundholm, 2008; Getter & Rowe, 2009; Nagase & Dunnett, 2010; MacIvor & Lundholm, 2011; Susca, Gaffin & Dell'Osso, 2011; Nagase & Dunnett, 2012; Blanusa, Monteiro, Fantozzi, Vysini, Li, & Cameron, 2013; Дьяченко, Клименко, 2013; Coma, Pérez, Solé, Castell, & Cabeza, 2016), серед яких все частіше застосовують природні види (Butler, Butler & Orians, 2012; Benvenuti, 2014).

Доведено важливу роль зелених дахів у збільшенні біорізноманіття урбоценозів і формуванні своєрідних екосистем, де, окрім рослин, вижи-

вають і багато представників фауни (Kadas, 2005; Baumann, 2006; Brenneisen, 2006; Dunnett, 2006; Grant, 2006; Oberndorfer et al., 2007; Schindler, Griffith, & Jones, 2011; Benvenuti, 2014; Williams, Lundholm & Scott MacIvor, 2014; Sutton, 2015).

Мікроклімат дахів, як і макроклімат регіонів – величини широтно- і висотно детерміновані, проте на дахах мікроклімат має зовсім інші показники, аніж на поверхні землі (Liu & Minor, 2005). На життєвість рослин на дахах, окрім загальних кліматичних показників, мають значний вплив також висота будівлі, товщина і тип субстрату, добова амплітуда температур, вологість повітря, наявність поливу та зимового вкриття, а також тип покрівельного матеріалу, який зумовлює додаткове нагрівання влітку і охолодження – взимку. У зв'язку з цим, підбір рослин потребує використання чітких критеріїв придатності видів для озеленення дахів. На практиці ж він базується лише на рекомендаціях проектних компаній, а принципи і методи вибору рослин для конкретних типів дахів розроблені дуже слабо, оскільки це новий напрям ландшафтно-архітектури, який тільки напрацьовує теоретичну базу, і експериментальних даних щодо поведінки рослин на висотах, не притаманних їм у природі, дуже мало.

Також не існує єдиного показника, який однозначно визначив би достатнім рівнем достовірності успішності інтродукції рослинного виду на даху. Одним із таких критеріїв є морозостійкість видів, для показника якої використовують середні багаторічні значення мінімальних температур, які здатен витримати вид. Цю методику вперше запровадив американський дендролог А. Рендер (1949), виділивши для території США і Канади сім агрокліматичних зон. G. Krussmann (1995) виконав подібне зонування для Європи, а О.І. Колесников (1974) – для території колишнього СРСР.

Загальновизнаним на сьогодні є USDA-зонування світу на 13 зон морозостійкості, розроблене Міністерством сільського господарства США (United States Department of Agriculture, USDA), яке є підставою для інтродукції та акліматизації рослин, теоретичною підосновою для практики зеленого будівництва (Heinze, Schreiber, 1984; Find Plants by Hardiness Zone). Територія України вписується у п'яту, шосту і частково – у сьому зони, а територія м. Львова розташована у межах підзони 6а, яка характеризується діапазоном мінімальних температур від -20,6 до -23,3 °С. Проте відомо, що із просуванням на схід і зростанням континентальності клімату, у культурі виживають більш теплолюбні рослини, ніж це визначено USDA-зонуванням. Цей аспект було вирішено дослідити також і у випадку із озелененням дахів та встановити асортимент рослин, які декілька років виживають на існуючих зелених дахах у м. Львові.

Об'єкти та методика досліджень. Об'єкт дослідження – формування насаджень на плоских зелених дахах екстенсивного типу в умовах м. Львова. Предмет дослідження – систематична, біомор-

фологічна, екологічна і хорологічна структура культивованої флори плоских зелених дахів.

Мета досліджень полягала в аналітичному вивченні складу і структури культивованої флори зелених дахів м. Львова та здійсненні її еколого-флористичного аналізу.

Дослідження видового складу рослин плоских зелених дахів здійснювали впродовж 2016-2020 рр. методом облікових ділянок. Визначення видів рослин та їх культиварів виконували за допомогою спеціалізованих визначників (Деревья и кустарники..., 1949-1962; Доброчаева, Котов, Прокудин, 1987; Колесников, 1974; Кохно, 2001, 2002; Cheers, 2003). Латинські назви судинних рослин наведені за таксономічною електронною базою даних The Plant List. Життєві форми рослин виокремлено за С. Raunkiaer (1934), а типи озеленення дахів визначали за домінуючими біоморфами. Зони морозостійкості наведені за категоріями USDA-зонування Європи (Heinze, Schreiber, 1984; Find Plants by Hardiness Zone; Climatic zoning). До хорологічного аналізу було залучено лише види рослин, до біоморфологічного аналізу і USDA-зонування – всі визначені види і культивари.

Результати та обговорення. У м. Львові зелені дахи почали споруджувати з 2013 року. Переважна більшість серед них – це екстенсивні дахи з обмеженим доступом людей. Найпоширенішими у м. Львові є системи озеленення дахів німецької компанії «ZinCo GmbH», представником якої в Україні є «ZinCo Ukraine». Під час облаштування зелених дахів за цією технологією використовують субстрати із полегшених композитних матеріа-

лів, а асортимент рослин підбирають за стандартними критеріями (*Каталог стандартных решений ZinCo*). Натомість зелені дахи приватних будівель мають набагато ширший асортимент рослин, а у ролі субстратів тут використовують покращені, іноді – й універсальні ґрунтосуміші. Експерименти з видовим складом рослин тут часто завершуються однорічними посадками, оскільки особливі умови дахів будівель є найкращим рушієм природного добору видового складу, що добре помітно в процесі аналізу морозо- зимо- та посухостійкості використаних рослин.

Упродовж 2016-2020 рр. на території м. Львова було обстежено 18 об'єктів з експлуатованими плоскими покрівлями, на яких влаштовано озеленення екстенсивного типу або з мінімальним інтенсивним навантаженням. Серед усіх досліджених об'єктів у м. Львові виявлено п'ять типів озеленення дахів – «Седумний килим», «Газонний дах», «Духмяні трави», «Злаковий сад» і «Сад на даху». Найчастіше вони влаштовані на державних установах і багатоповерхових житлових будівлях. Садіння рослин здійснюють безпосередньо у субстрат різної товщини, інколи – у ґряди чи контейнери. У процесі досліджень видового складу рослин плоских зелених дахів встановлено, що в їхній композиції використано 230 видів рослин та 105 їх культиварів, а загалом 292 таксони (табл.).

Аналіз ценофлори культивованих на дахах видів засвідчив, що за життєвими формами переважають фанерофіти (129 видів; 44%), другу групу складають гемікриптофіти (98; 34%). Менше використано криптофітів (34; 12%), хамефітів (27; 9%), і практично не застосовано терофітів (5; 2%) (рис. 1).

Таблиця

Таксономічний склад рослин плоских зелених дахів екстенсивного типу

<i>Acanthus mollis</i> L.	<i>Juniperus horizontalis</i> Moench 'Blue Chip'
<i>Acer campestre</i> L.	<i>Juniperus procumbens</i> (Siebold ex Endl.) Miq. 'Nana'
<i>Acer palmatum</i> Thunb.	<i>Juniperus sabina</i> (Aiton) A. E. Murray 'Tamariscifolia'
<i>Acer platanoides</i> L. 'Crimson King'	<i>Juniperus sabina</i> (Aiton) A. E. Murray 'Femina'
<i>Acer rubrum</i> L.	<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg.
<i>Acer tataricum</i> subsp. <i>ginnala</i> (Maxim.) Wesm.	<i>Juniperus scopulorum</i> Sarg. 'Skyrocket'
<i>Aethionema grandiflorum</i> Boiss. & Hohen.	<i>Juniperus squamata</i> Buch.-Ham. ex D. Don 'Blue Carpet'
<i>Agrostis stolonifera</i> L.	<i>Juniperus squamata</i> Buch.-Ham. ex D. Don 'Blue Star'
<i>Agrostis stolonifera</i> L. 'Kromi'	<i>Juniperus virginiana</i> L.
<i>Agrostis capillaris</i> L. 'Highland'	<i>Kerria japonica</i> (L.) DC.
<i>Akebia quinata</i> (Houtt.) Decne	<i>Kniphofia uvaria</i> (L.) Oken
<i>Alchemilla mollis</i> (Buser) Rothm.	<i>Kolkwitzia amabilis</i> Graebn.
<i>Allium cristophii</i> Trautv.	<i>Lavandula angustifolia</i> Mill.
<i>Allium karataviense</i> Regel	<i>Leontopodium nivale</i> (Ten.) Huet ex Hand.-Mazz.
<i>Amelanchier canadensis</i> (L.) Medik.	<i>Leucanthemum vulgare</i> (Vaill.) Lam.
<i>Amelanchier lamarckii</i> F. G. Schroed.	<i>Leymus arenarius</i> (L.) Hochst.
<i>Amelanchier arborea</i> (F. Michx.) Fernald 'Robin Hil'	<i>Liatris spicata</i> (L.) Willd. 'Alba'
<i>Anaphalis triplinervis</i> (Sims) Sims ex C. B. Clarke	<i>Liatris spicata</i> (L.) Willd. 'Kobol'
'Sommerschnee'	

<i>Anemone pulsatilla</i> L.	<i>Ligustrum vulgare</i> L.
<i>Aquilegia vulgaris</i> L.	<i>Lolium perenne</i> L.
<i>Arabis caucasica</i> Willd.	<i>Lolium perenne</i> L. 'Bloomfield'
<i>Armeria maritima</i> (Mill.) Willd.	<i>Lonicera acuminata</i> Wall.
<i>Aronia melanocarpa</i> (Michx.) Elliott	<i>Lonicera ligustrina</i> var. <i>pileata</i> (Oliv.) Franch. 'Variegata'
<i>Artemisia stelleriana</i> Besser 'Boughton Silver'	<i>Lonicera x tellmanniana</i> Meisn.
<i>Astilbe rubra</i> Hook.f. & Thomson	<i>Luzula nivea</i> (Nathh.) DC.
<i>Azorella trifurcata</i> (Gaertn.) Pers.	<i>Lychnis coronata</i> Thunb.
<i>Begonia cucullata</i> Willd.	<i>Matricaria breviradiata</i> (Ledeb.) Rauschert
<i>Berberis</i> × <i>frikartii</i> C. K. Schneid. ex Vandel. 'Verrucandii'	<i>Miscanthus sinensis</i> Andersson
<i>Berberis thunbergii</i> DC.	<i>Nepeta</i> × <i>faaseni</i> Bergmans ex Stearn
<i>Berberis thunbergii</i> DC. 'Atropurpurea'	<i>Nothofagus antarctica</i> (G. Forst.) Oerst.
<i>Berberis thunbergii</i> DC. 'Atropurpurea Nana'	<i>Oenothera macrocarpa</i> Nutt.
<i>Berberis thunbergii</i> DC. 'Helmond Pillar'	<i>Oenothera missouriensis</i> Sims
<i>Berberis aquifolium</i> Pursh	<i>Origanum majorana</i> L.
<i>Bergenia crassifolia</i> (L.) Fritsch	<i>Origanum vulgare</i> L. 'Compacta'
<i>Betula pendula</i> Roth	<i>Pachysandra terminalis</i> Siebold & Zucc.
<i>Betula utilis</i> D. Don 'Doorenbos'	<i>Panicum virgatum</i> L.
<i>Buddleja alternifolia</i> Maxim.	<i>Panicum virgatum</i> L. 'Heavy Metal'
<i>Buddleja davidii</i> Franch.	<i>Parthenocissus quinquefolia</i> (L.) Planch.
<i>Buddleja davidii</i> Franch. 'Empire Blue'	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch.
<i>Buglossoides purpureo-aerulea</i> (L.) I. M. Johnst.	<i>Parthenocissus tricuspidata</i> (Siebold & Zucc.) Planch. 'Veitchii Robusta'
<i>Buxus sempervirens</i> L.	<i>Pennisetum alopecuroides</i> (L.) Spreng. 'Hameln'
<i>Calamagrostis epigejos</i> (L.) Roth	<i>Perovskia abrotanoides</i> Kar.
<i>Campsis radicans</i> (L.) Seem.	<i>Phedimus selskianus</i> (Regel & Maack) 't Hart 'Spirit'
<i>Carex montana</i> L.	<i>Philadelphus coronarius</i> L. 'Dame Blanche'
<i>Carex ornithopoda</i> Willd. 'Variegata'	<i>Phuopsis stylosa</i> (Trin.) Hook.f. ex B. D. Jacks 'Purpurea'
<i>Caryopteris incana</i> (Thunb. ex Houtt.) Miq.	<i>Physocarpus opulifolius</i> (L.) Maxim. 'Luteus'
<i>Catalpa bignonioides</i> Walt. 'Nana'	<i>Picea abies</i> (L.) H. Karst. 'Little Gem'
<i>Cerastium tomentosum</i> L.	<i>Picea glauca</i> (Moench) Voss. 'Conica'
<i>Chaenomeles japonica</i> (Thunb.) Lindl. ex Spach	<i>Picea omorika</i> (Pancic) Purk. 'Nana'
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. Murray bis) Parl.	<i>Pinus cembra</i> L.
<i>Chamaecyparis lawsoniana</i> (A. Murray bis) Parl. 'Minima Glauca'	<i>Pinus heldreichii</i> Christ
<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Siebold & Zucc.) Endl.	<i>Pinus heldreichii</i> Christ 'Compact Gem'
<i>Chamaecyparis pisifera</i> (Siebold & Zucc.) Endl. 'Boulevard'	<i>Pinus mugo</i> Turra 'Gnom'
<i>Chamaemelum nobile</i> (L.) All. 'Plena'	<i>Pinus mugo</i> Turra 'Mops'
<i>Clematis alpina</i> (L.) Mill.	<i>Pinus mugo</i> Turra 'Pumilio'
<i>Clematis tangutica</i> (Maxim.) Korsh.	<i>Pinus mugo</i> Turra 'Mughus'
<i>Clematis vitalba</i> L.	<i>Pinus nigra</i> J. F. Arnold
<i>Clematis jackmanii</i> T. Moore	<i>Pinus sylvestris</i> L.
<i>Clinopodium nepeta</i> (L.) Kuntze	<i>Pistorinia hispanica</i> (L.) DC.
<i>Cornus alba</i> L. 'Argenteo-marginata'	<i>Platycladus orientalis</i> (L.) Franco
<i>Cornus alba</i> L. 'Aurea'	<i>Poa pratensis</i> L.
<i>Cornus alba</i> L. 'Elegantissima'	<i>Poa pratensis</i> L. 'Broadway'
<i>Cornus alba</i> L. 'Sibirica'	<i>Poa pratensis</i> L. 'Evora'
<i>Cornus controversa</i> Hemsl.	<i>Poa pratensis</i> L. 'Sobra'

<i>Cornus kousa</i> F. Buerger ex Hanse	<i>Poa pratensis</i> L. 'Mercury'
<i>Cornus kousa</i> F. Buerger ex Hanse 'Milky Way'	<i>Polypodium vulgare</i> L.
<i>Cornus mas</i> L.	<i>Potentilla fruticosa</i> L.
<i>Cornus sanguinea</i> L.	<i>Prunus laurocerasus</i> L.
<i>Corylopsis pauciflora</i> Siebold & Zucc.	<i>Prunus nigra</i> Aiton
<i>Corylus colurna</i> L.	<i>Pyracantha coccinea</i> M. Roem.
<i>Cotinus coggygria</i> Scop. 'Royal Purple'	<i>Rhododendron catawbiense</i> Michx.
<i>Cotoneaster adpressus</i> Bois	<i>Ribes alpinum</i> L.
<i>Cotoneaster bullatus</i> Bois	<i>Ribes sanguineum</i> Pursh
<i>Cotoneaster dammeri</i> C.K. Schneid 'Coral Beauty'	<i>Rosa canina</i> L.
<i>Cotoneaster dammeri</i> C.K. Schneid 'Streibs Findling'	<i>Rosa multiflora</i> Thunb.
<i>Cotoneaster dammeri</i> C.K. Schneid 'Major'	<i>Rosa rugosa</i> Thunb.
<i>Cotoneaster divaricatus</i> Rehder & E.H. Wilson	<i>Rosa spinosissima</i> L.
<i>Cotoneaster horizontalis</i> Decne	<i>Rudbeckia hirta</i> L.
<i>Cotoneaster lucidus</i> Schltdl.	<i>Salvia sclarea</i> L.
<i>Cotoneaster microphyllus</i> Wall. ex Lindl.	<i>Salvia splendens</i> Sellow ex Schult.
<i>Crataegus coccinea</i> L.	<i>Santolina chamaecyparissus</i> L.
<i>Crocus tommasinianus</i> Herb.	<i>Schisandra chinensis</i> (Turcz.) Baill.
<i>Cymbalaria muralis</i> P. Gaertn., B. Mey. & Scherb.	<i>Sedum acre</i> L.
<i>Cytisus</i> × <i>kewensis</i> Bean	<i>Sedum acre</i> L. 'Aureum'
<i>Dasiphora fruticosa</i> (L.) Rydb. 'Alba'	<i>Sedum aizoon</i> L.
<i>Deschampsia cespitosa</i> (L.) P. Beauv.	<i>Sedum aizoon</i> L. 'Euphorbioides'
<i>Deutzia gracilis</i> Siebold & Zucc.	<i>Sedum album</i> L.
<i>Dianthus alpinus</i> L.	<i>Sedum album</i> L. 'Coral Carpet'
<i>Dianthus arenarius</i> L.	<i>Sedum alpestre</i> Vill.
<i>Dianthus gratianopolitanus</i> Vill.	<i>Sedum ewersii</i> Ledeb.
<i>Digitalis purpurea</i> L.	<i>Sedum forsterianum</i> Sm.
<i>Duchesnea indica</i> (Jacks.) Focke	<i>Sedum hidakanum</i> Tatew. ex Kawano
<i>Elaeagnus angustifolia</i> L.	<i>Sedum hispanicum</i> L.
<i>Elymus canadensis</i> L.	<i>Sedum hispanicum</i> L. 'Blue Carpet'
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Emerald 'n' Gold'	<i>Sedum hybridum</i> L.
<i>Euonymus fortunei</i> (Turcz.) Hand.-Mazz. 'Gracilis'	<i>Sedum kamtschaticum</i> Fisch.
<i>Euphorbia myrsinites</i> L.	<i>Sedum rupestre</i> L.
<i>Festuca amethystina</i> L.	<i>Sedum rupestre</i> L. 'Angelina'
<i>Festuca gautieri</i> (Hack.) K. Richt. 'Pic Carlit'	<i>Sedum rupestre</i> L. 'Blue Spruce'
<i>Festuca glauca</i> Vill.	<i>Sedum sexangulare</i> L.
<i>Festuca rubra</i> L.	<i>Sedum sarmentosum</i> Bunge
<i>Festuca rubra</i> L. 'Jasperina'	<i>Sedum sichotense</i> Vorosch.
<i>Festuca rubra</i> L. 'Mystic'	<i>Sedum spectabile</i> Boreau
<i>Festuca rubra</i> L. 'Rossinante'	<i>Sedum spectabile</i> Boreau 'Brilliant'
<i>Festuca rubra</i> L. 'Greenlight'	<i>Sedum spectabile</i> Boreau 'Herbstfreude'
<i>Festuca rubra</i> L. 'Casanova'	<i>Sedum spurium</i> M. Bieb.
<i>Festuca rubra</i> L. 'Raymond'	<i>Sedum spurium</i> M. Bieb. 'Roseum'
<i>Festuca rubra</i> L. 'Sergei'	<i>Sedum spurium</i> M. Bieb. 'Purpur Winter'
<i>Festuca rubra</i> L. 'Chancellor'	<i>Sorbus americana</i> Marshall
<i>Festuca rubra</i> L. 'Carousel'	<i>Sorbus aucuparia</i> L.
<i>Festuca rubra</i> L. 'Rufilla'	<i>Spiraea</i> × <i>arguta</i> Zabel

<i>Festuca rubra</i> L. 'Mustang'	<i>Spiraea</i> × <i>bumalda</i> Burv.
<i>Festuca trichophylla</i> (Ducros, ex Gaud.) K. Richt.	<i>Spiraea betulifolia</i> Pall.
<i>Festuca trichophylla</i> (Ducros, ex Gaud.) K. Richt. 'Bomado'	<i>Spiraea douglasii</i> Hook.
<i>Forsythia</i> × <i>intermedia</i> Zabel	<i>Spiraea japonica</i> Desv. 'Goldflame'
<i>Fragaria vesca</i> L.	<i>Spiraea thunbergii</i> Siebold ex Blume 'Ogon'
<i>Genista lydia</i> Boiss.	<i>Sporobolus heterolepis</i> (Gray) A. Gray
<i>Genista radiata</i> (L.) Scop.	<i>Stephanandra incisa</i> (Thunb.) Zabel 'Crispa'
<i>Genista tinctoria</i> L.	<i>Stipa calamagrostis</i> (L.) Wahlenb. 'Lemperg'
<i>Geranium dalmaticum</i> (Beck) Rech. f.	<i>Symphoricarpos</i> × <i>chenaultii</i> Rehder
<i>Geranium macrorrhizum</i> L. 'Spessart'	<i>Syringa oblata</i> Lindl.
<i>Geranium sanguineum</i> L.	<i>Syringa pubescens</i> Turcz.
<i>Gypsophila paniculata</i> L.	<i>Tamarix chinensis</i> Lour.
<i>Hedera helix</i> L.	<i>Taxus</i> × <i>media</i> Rehder
<i>Heuchera sanguinea</i> Engelm.	<i>Taxus baccata</i> L.
<i>Heuchera villosa</i> Michx.	<i>Taxus cuspidata</i> Siebold & Zucc. 'Nana'
<i>Hosta sieboldiana</i> (Hook.) Engl. 'Obscura'	<i>Teucrium chamaedrys</i> L.
<i>Hydrangea arborescens</i> L. 'Annabelle'	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Ericoides'
<i>Hydrangea paniculata</i> Siebold	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Globosa'
<i>Hydrangea petiolaris</i> Siebold & Zucc. 'Anomala'	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Hoseri'
<i>Hypericum polyphyllum</i> Boiss. & Balansa	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Holmstrup'
<i>Hyssopus officinalis</i> L.	<i>Thuja occidentalis</i> L. 'Smaragd'
<i>Ilex crenata</i> Thunb.	<i>Trifolium repens</i> L. 'Rivendel'
<i>Inula ensifolia</i> L.	<i>Trifolium repens</i> L. 'Pipolina'
<i>Iris</i> × <i>germanica</i> L.	<i>Trifolium repens</i> L. 'Liflex'
<i>Iris pumila</i> L.	<i>Tsuga canadensis</i> (L.) Carrière
<i>Iris barbatula</i> Noltie & K. Y. Guan	<i>Tulipa gesneriana</i> L.
<i>Jasminum nudiflorum</i> Lindl.	<i>Viburnum farreri</i> Stearn
<i>Juncus conglomeratus</i> L.	<i>Viburnum opulus</i> L.
<i>Juniperus</i> × <i>media</i> V.D. Dmitriev	<i>Vinca minor</i> L.
<i>Juniperus</i> × <i>pfitzeriana</i> (Späth) P.A. Schmidt	<i>Vitis californica</i> Benth. 'Roger's Red'
<i>Juniperus</i> × <i>pfitzeriana</i> (Späth) P.A. Schmidt 'Gold Coast'	<i>Waldsteinia ternata</i> (Stephan) Fritsch
<i>Juniperus chinensis</i> L.	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A. DC.
<i>Juniperus communis</i> L.	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A. DC. 'Nana Variegata'
<i>Juniperus communis</i> L. 'Repan'	<i>Weigela florida</i> (Bunge) A. DC. 'Red Prince'
<i>Juniperus horizontalis</i> Moench	<i>Yucca filamentosa</i> L. 'Variegata'

Хорологічна структура ценофлори культивованих видів свідчить, що за походженням тут найбільше рослин, природно поширених у Південно-Східній Азії (56 видів; 24%) та Європі (50; 22%). Для 11 видів (5%) гібридного походження ареали не визначено (рис. 2). Територія м. Львова за USDA-зонуванням належить до 6а підзони морозостійкості, тоді як в озелененні дахів найбільше використано видів п'ятої зони (96 видів; 33%) і практично не використано видів восьмої (5; 2%), дев'ятої (1; 1%) і десятої зон (2; 1%) (рис. 3).

Висотний розподіл зелених дахів засвідчив, що вони розташовані на висотах від 3 до 40 м. Най-

більше зелених дахів створено на будівлях заввишки 10-20 м (45%). Популярним є озеленення дахів висотних житлових будівель 10-ти і вище поверхів (22%) та гаражів до 5 м (11%) (рис. 4). Розподіл дахів за типами озеленення свідчить, що на будівлях до 5 м створюють, переважно, газонні дахи, у висотному діапазоні до 20 м використовують всі системи озеленення дахів, а на висоті 40 м і більше найчастіше використовують «Седумний килим» за участю злаків.

Аналіз зимостійкості видів показав, що на зелених дахах найкраще зимують види з континентальних гірських районів Центральної і Східної Азії,

натомість монтанні європейські види мають значно нижчу зимостійкість. На висотах понад 5 м регулярно підмерзають *Azorella trifurcata*, *Stephanandra incisa* 'Crispa', *Clematis jackmanii*, *Sedum album* 'Coral Carpet', *Sedum ewersii*, а влітку у випадку не належного поливу гинуть *Pachysandra terminalis*, *Picea glauca* 'Conica', *Leymus arenarius*.

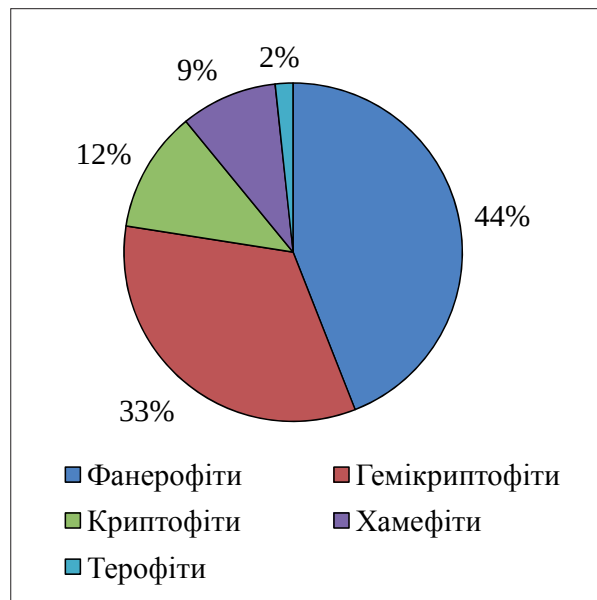


Рис. 1. Біоморфологічна структура культивованої флори зелених дахів

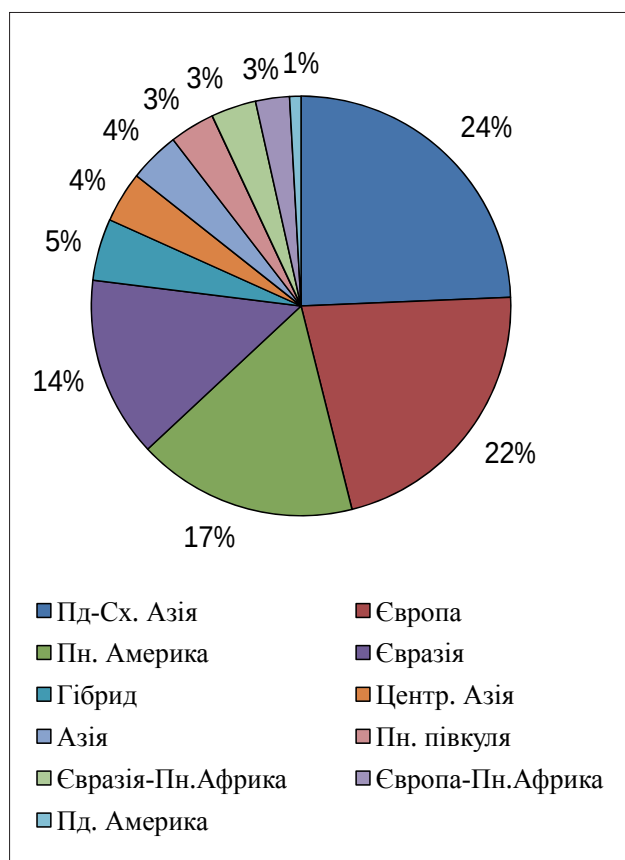


Рис. 2. Хорологічна структура культивованої флори зелених дахів

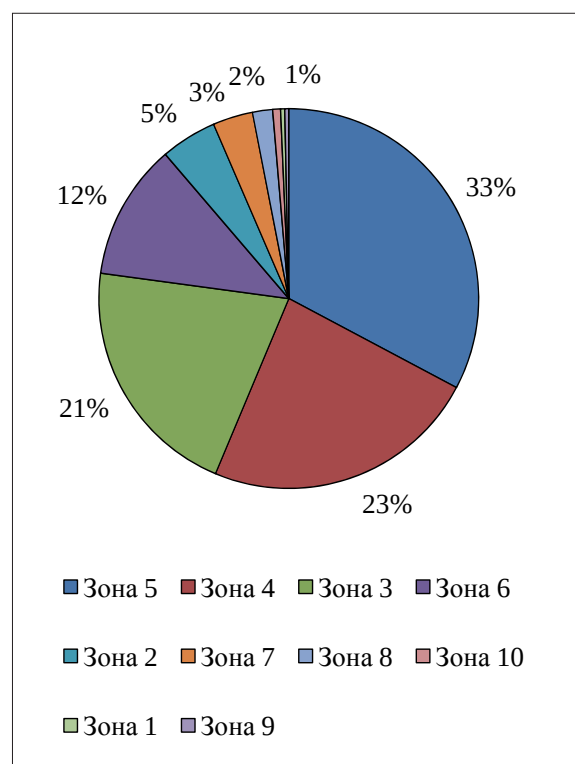


Рис. 3. Розподіл видів зелених дахів за USDA-зонами

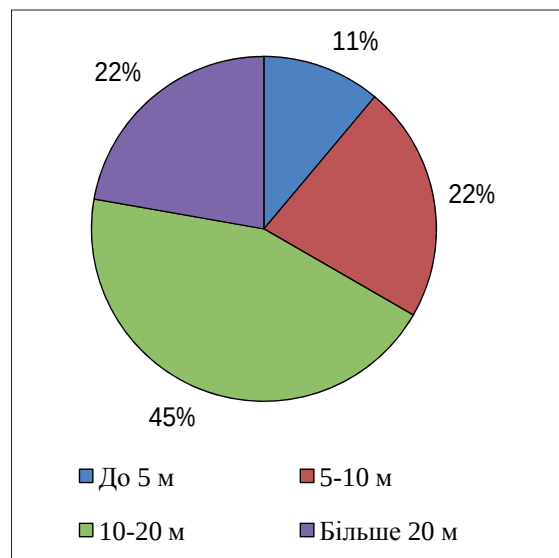


Рис. 4. Розподіл плоских зелених дахів за висотами будівель

Композиційний аналіз декоративних насаджень засвідчив, що найпоширенішим стилем озеленення дахів є пейзажний. Лише на двох дахах створено контейнерний сад модульного типу у регулярному стилі. Серед систем зелених дахів домінує «Седумний килим», який потребує мінімальної товщини субстрату та є найлегшим за масою. «Седумний килим» створено на дахах бібліотеки Українського католицького університету (УКУ), бізнес-центру «Легенда», кількох будівель на вул. Бортнянського, Козельницької, Княгині Ольги та зелених зупинках (рис. 5, 6).



Рис. 5. «Седумний килим», бібліотека УКУ (фото О. Галевич)

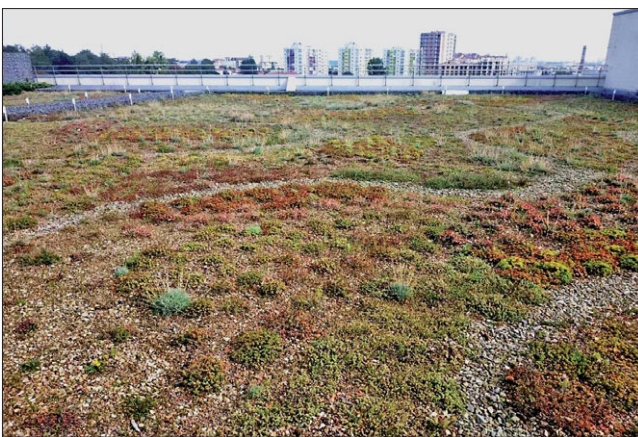


Рис. 6. «Седумний килим», бізнес-центр «Легенда» (фото О. Галевич)

Систему «Духмяні трави» у м. Львові застосовують найрідше, для неї використовують як грядкові, так і контейнерні посадки. Це композиції у середземноморському стилі з використанням ефіроносних трав і напівкущиків з родин *Lamiaceae*, *Geraniaceae* і *Ariaceae* – *Clinopodium nepeta*, *Geranium dalmaticum*, *G. macrorrhizum* ‘Spessart’, *Hyssopus officinalis*, *Lavandula angustifolia*,

Nepeta × *faassenii*, *Origanum majorana*, *O. vulgare*, *Perovskia abrotanoides*, *Santolina chamaecyparissus*, *Waldsteinia ternata*, які створюють субтропічний колорит. Вони створені на дахах будівель на вул. Бортнянського і Володимира Великого.

Систему озеленення «Газонний дах» найчастіше використовують на підземних паркінгах чи перекриттях технічних будівель. Останнім часом їх влаштовують також на дахах надземних паркінгів, як, наприклад, на вул. Княгині Ольги та Ожешко, або на висотних будівлях (фабрика «Трембіта»), де влаштовують відпочинкові зони. Газонні дахи часто поєднують з дитячими і спортивними майданчиками. У такому випадку дах є інтенсивного типу, але заміщення полімерними матеріалами і гумою основної частини майданчика дає змогу газонам залишатися неексплуатованими. Для газонних дахів найчастіше використовують суміші низькорослих злаків «Ліліпут», «Канада Грін» і «Гном», або використовують рулонний газон, вирощений із тих же низькорослих трав. Це, зазвичай, *Festuca rubra* та її культивари ‘Jasperina’, ‘Mystic’, ‘Rossinante’, ‘Greenlight’, ‘Casanova’ та ‘Raymond’ з домішкою інших низькорослих злаків – *Festuca trichophylla*, *Lolium perenne* ‘Bloomfield’, *Poa pratensis* ‘Broadway’, ‘Evora’, ‘Sobra’ і ‘Mercury’. На дахах напівінтенсивного типу у газонну суміш підсівають сучасні мікрсорти – *Trifolium repens* ‘Rivendel’, ‘Pipolina’, ‘Liflex’ та ін.

Фрагментарно на дахах формують композиції із високорослих злаків, утворюючи «Злаковий сад», наприклад, на будівлях УКУ, вул. Кульпарківська, Бортнянського, Личаківська та Моршинська. У таких посадках домінують *Miscanthus sinensis*, *Pennisetum alopecuroides*, *Calamagrostis epigejos*, *Elymus canadensis*, *Festuca amethystina*, *Panicum virgatum* ‘Heavy Metal’, *Stipa calamagrostis* ‘Lemperg’ (рис. 7).

Найефектнішим і вартісним прийомом озеленення дахів є «Сад на даху», який можна створити лише на потужному шарі субстрату. Цілі композиції або окремі елементи такого саду можна побачити на будівлях УКУ та будівлях по вул. Бортнянського, Личаківської, Моршинської, Княгині Ольги (рис. 8).



Рис. 7. Фрагменти «Злакового саду» на будівлі УКУ (фото О. Галевич)

Часто на дахах гаражів створюють дитячі майданчики і спортивні зони, поєднані із газонами, композиціями з дерев і кущів, а також контейнерними посадками дерев. Це створює прецедент поєднання екстенсивної та інтенсивної зон на одному даху, суттєво ускладнює як конструкцію такого даху, так і композиційну побудову озеленення, зумовлює підбір специфічного асортименту рослин (рис. 9).



Рис. 8. «Сад на даху» на будівлі УКУ (фото О. Галевич)

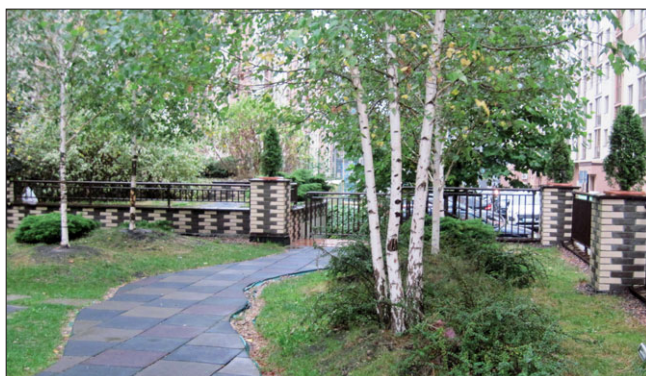


Рис. 9. «Сад на даху» по вул. Княгині Ольги (фото М. Сороки)

Висновки. Незважаючи на те, що озеленення плоских дахів м. Львова тільки починає розвиватися, тут представлені практично всі відомі системи озеленення, запропоновані німецькою компанією «ZinCo Ukraine», за винятком «Квітучої луки» та «Альпінарію». У процесі досліджень видового складу рослин встановлено, що у рослинних композиціях плоских зелених дахів використано 230 видів рослин та 105 їхніх культиварів. Серед представників хвойних переважають карликові рослини з блакитним забарвленням хвої, серед листяних дерев і кущів – строкатолісті, облямівані та пурпурнолісті низькорослі форми. За життєвими формами на дахах переважають фанерофіти (129 видів; 44%), гемікриптофіти (98; 34%), криптофіти (34; 12%). Розподіл видів зелених дахів за USDA-зонами показав, що найбільше використано видів п'ятої (96 видів; 33%), четвертої (69; 23%)

та третьої (61; 21%) зон морозостійкості, серед них переважають види, природно поширені у Південно-Східній Азії, Європі та Північній Америці. Аналіз зимостійкості рослинних видів показав, що на зелених дахах найкраще зимують види з гірських районів Центральної і Східної Азії, натомість види з європейських гір мають нижчу зимостійкість.

Висотний розподіл зелених дахів засвідчив, що найбільше озеленено дахів на будівлях заввишки 10-20 м (45%). На технічних будівлях до 5 м заввишки створюють, переважно, газонні дахи, на будівлях до 20 м використовують усі системи озеленення дахів, а на висоті 40 і більше метрів найчастіше використовують «Седумний килим».

Список літератури

- Деревья и кустарники СССР (1949-1962). Том 1-6. Москва-Ленинград: Изд-во АН СССР [Trees and bushes of the USSR (1949-1962). Vol. 1-6. Moscow-Leningrad: Publishing House of the USSR Academy of Sciences (in Russian)].
- Доброчаева, Д. Н., Котов, М. И., Прокудин, Ю. Н. (1987). *Определитель высших растений Украины*. Киев: Наукова думка [Dobrochayeva, D. N., Kotoy, M. I., & Prokudyn, Yu. N. (1987). *Guide to higher plants of Ukraine*. Kyiv: Scientific thought (in Russian)]
- Дьяченко, А. Д., Клименко, А. В. (2013). Перспективный ассортимент растений для использования на крышах подземных сооружений. *Научный вестник НЛТУ Украины*, 23.5, 219-225 [Dyachenko, A. D., & Klimenko, A. V. (2013). Promising range of plants to be used on the roofs of underground structures. *Scientific Bulletin of UNFU*, 23.5, 219-225 (in Russian)]
- Каталог Стандартных Решений ZinCo [Catalog of standard ZinCo solutions. Design guide (in Russian)]. Retrieved from: http://zincocatalogue.mystrikingly.com/#gallery_2-16/
- Колесников, А. И. (1974). *Декоративная дендрология*. Москва: Лесная промышленность [Kolesnikov, A. I. (1974). *Decorative dendrology*. Moscow: Forestry industry (in Russian)]
- Кохно, М. А. (2001). *Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Голонасінні*. Київ: Фітосоціоцентр [Kokhno, M. A. (2001). *Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and shrubs. Gymnosperms*. Kyiv: Phytosocial Center (in Ukrainian)]
- Кохно, М. А. (2002). *Дендрофлора України. Дикорослі й культивовані дерева і кущі. Покритонасінні*. Київ: Фітосоціоцентр [Kokhno, M. A. (2002). *Dendroflora of Ukraine. Wild and cultivated trees and shrubs. Angiosperms*. Kyiv: Phytosocial Center (in Ukrainian)]
- Мельничук, І. В. (2008). Про напрями енергозбереження у житловому фонді. *Економічний простір*, 12 (2), 164-170. [Melnichuk, I. V. (2008). On the directions of energy saving in the housing stock. *Economic space*, 12 (2), 164-170 (in Ukrainian)]

- Ткаченко, Т.М. (2016). Зелені покрівлі як ресурс дощової води в сучасному урбоценозі. *Проблеми водопостачання, водовідведення та гідравліки*, 27, 364-369. [Tkachenko, T.M. (2016). Green roofs as a resource of rainwater in the modern urbocoenosis. *Problems of water supply, drainage and hydraulics*, 27, 364-369. (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://library.knuba.edu.ua/books/zbirniki/17/201627.pdf>
- Baumann, N. (2006). Ground-nesting birds on green roofs in Switzerland: preliminary observations. *Urban habitats*, 4 (1), 37-50. Retrieved from http://www.urbanhabitats.org/v04n01/birds_abs.html
- Benvenuti, S. (2014). Wildflower green roofs for urban landscaping, ecological sustainability and biodiversity. *Landscape and Urban Planning*, 124, 151-161. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2014.01.004>
- Berardi, U., Ghaffarian Hoseini, A.H., & Ghaffarian Hoseini, A. (2014). State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy*, 115, 411-428. <http://dx.doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>
- Blanusa, T., Monteiro, M.M.V., Fantozzi, F., Vysini, E., Li, Y., & Cameron, R.W. (2013). Alternatives to Sedum on green roofs: Can broad leaf perennial plants offer better 'cooling service'? *Building and Environment*, 59, 99-106. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.08.011>
- Brenneisen, S. (2006). Space for urban wildlife: designing green roofs as habitats in Switzerland. *Urban habitats*, 4, 27-36. Retrieved from http://www.urbanhabitats.org/v04n01/wildlife_abs.html
- Burszta-Adamiak E., Lomotovski J., & Wiercik P. (2014). Green roofs as solutions improving rainwater management in cities. *Ecological Engineering*, 39, 26-32. <https://doi.org/10.12912/2081139X.47>
- Butler, C., Butler, E., & Orians, C.M. (2012). Native plant enthusiasm reaches new heights: Perceptions, evidence, and the future of green roofs. *Urban forestry & urban greening*, 11 (1), 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2011.11.002>
- Castleton, H.F., Stovin, V., Beck, S.B., & Davison, J.B. (2010). Green roofs; building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and buildings*, 42 (10), 1582-1591. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2010.05.004>
- Cheers, G. (2003). *Botanica. Das ABC der Pflanzen*. Köln: Könnemann.
- Climatic zoning. Winter hardiness zones. Retrieved from: <http://www.diy.ru/post/2969/>.
- Coma, J., Pérez, G., Solé, C., Castell, A., & Cabeza, L.F. (2016). Thermal assessment of extensive green roofs as passive tool for energy savings in buildings. *Renewable energy*, 85, 1106-1115. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2015.07.074>
- Dunnett, N. (2006). Green roofs for biodiversity: reconciling aesthetics with ecology. *Proceedings of the 4th Annual Greening Rooftops for Sustainable Communities, Boston*, 11-12. <https://doi.org/10.1641/B571005>
- Durhman, A.K., Rowe, D.B., & Rugh, C.L. (2007). Effect of substrate depth on initial growth, coverage, and survival of 25 succulent green roof plant taxa. *HortScience*, 42 (3), 588-595. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.42.3.588>
- Emilsson, T. (2008). Vegetation development on extensive vegetated green roofs: Influence of substrate composition, establishment method and species mix. *Ecological engineering*, 33 (3-4), 265-277. <http://dx.doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.05.005>
- Feng, C., Meng, Q., & Zhang, Y. (2010). Theoretical and experimental analysis of the energy balance of extensive green roofs. *Energy and buildings*, 42 (6), 959-965. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2009.12.014>
- Find Plants by Hardiness Zone. Retrieved from: <https://www.gardenia.net/plants/hardiness-zones/>
- Getter, K.L., & Rowe, D.B. (2006). The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41 (5), 1276-1285. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.41.5.1276>
- Getter, K.L., & Rowe, D.B. (2009). Substrate depth influences Sedum plant community on a green roof. *HortScience*, 44 (2), 401-407. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.44.2.401>
- Grant, G. (2006). Extensive green roofs in London. *Urban habitats*, 4 (1), 51-65. Retrieved from http://www.urbanhabitats.org/v04n01/london_abs.html
- Heinze, W., & Schreiber, D. (1984). A new mapping of the hardiness zones for woody plants in Central Europe. *Messages from the German Dendrological Society*, 75, 11-56.
- Kadas, G. (2005). Green roofs for biodiversity—designing green roofs to meet targets of BAP (Biodiversity Action Plan) species. *Organisers/Veranstalter*, 177.
- Köhler, M. (2006). Long-term vegetation research on two extensive green roofs in Berlin. *Urban habitats*, 4 (1), 3-26. Retrieved from http://www.urbanhabitats.org/v04n01/berlin_abs.html
- Köhler, M., Schmidt, M., Grimme, F.W., Laar, M., de Assunção Paiva, V.L., & Tavares, S. (2002). Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. *Environmental management and health*, 13 (4), 382-391. <https://doi.org/10.1108/09566160210439297>
- Kosareo, L., & Ries, R. (2007). Comparative environmental life cycle assessment of green roofs. *Building and environment*, 42 (7), 2606-2613. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.019>
- Krussmann, G. (1995). *Manual of Cultivated Conifers*. Portland, Oregon: Timber Press.
- Ksit, B., & Pożegowiak, A. (2017). The concept of a rainwater harvesting solution as an aspect of ecological design. *Building Review*, 88, 59-61.
- Liu, K., Minor, J. (2005). Performance evaluation of an extensive green roof. In *Greening rooftops for sustainable communities* (pp. 1-11). Washington, DC.
- MacIvor, J.S., & Lundholm, J. (2011). Performance evaluation of native plants suited to extensive green roof conditions in a maritime climate. *Ecological*

- Engineering*, 37(3), 407-417. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2010.10.004>
- Monterusso, M.A., Rowe, D.B., & Rugh, C.L. (2005). Establishment and persistence of *Sedum* spp. and native taxa for green roof applications. *Hort-Science*, 40 (2), 391-396. <https://doi.org/10.21273/HORTSCI.40.2.391>
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2010). Drought tolerance in different vegetation types for extensive green roofs: effects of watering and diversity. *Landscape and urban planning*, 97 (4), 318-327. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2010.07.005>
- Nagase, A., & Dunnett, N. (2012). Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and urban planning*, 104 (3-4), 356-363. <https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2011.11.001>
- Nardini, A., Andri, S., & Crasso, M. (2012). Influence of substrate depth and vegetation type on temperature and water runoff mitigation by extensive green roofs: shrubs versus herbaceous plants. *Urban Ecosystems*, 15 (3), 697-708. <https://doi.org/10.1007/s11252-011-0220-5>
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., & Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy Build*, 33, 719-729. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(01\)00062-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(01)00062-7)
- Oberndorfer, E., Lundholm, J., Bass, B., Coffman, R.R., Doshi, H., Dunnett, N., & Rowe, B. (2007). Green roofs as urban ecosystems: ecological structures, functions, and services. *BioScience*, 57 (10), 823-833. <https://doi.org/10.1641/B571005>
- Palomo, E., & Barrio, D. (1998). Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy Build*, 27, 179-193. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(97\)00029-7](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(97)00029-7)
- Poórová, Z., Vranay, F., & Vranayová, Z. (2016). Green roof as a saving technology and creator of microclimate. *Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва*, 844, 311-315. http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2016_844_49
- Raunkiaer, C. (1934). *The life forms of plants and statistical plant geography*. Oxford: Clarendon Press.
- Render, A. (1949). *Manual of cultivated trees and shrubs hardy in North America*. New York, NY.
- Rowe, D.B., Monterusso, M.A., & Rugh, C.L. (2006). Assessment of heat-expanded slate and fertility requirements in green roof substrates. *Horttechnology*, 16, 471-477. <https://doi.org/10.21273/HORTTECH.16.3.0471>
- Schindler, B.Y., Griffith, A.B., & Jones, K.N. (2011). Factors influencing arthropod diversity on green roofs. *Cities and the Environment (CATE)*, 4 (1), 5. Retrieved from <https://digitalcommons.lmu.edu/cate/vol4/iss1/5/>
- Simmons, M.T., Gardiner, B., Windhager, S., & Tinsley, J. (2008). Green roofs are not created equal: the hydrologic and thermal performance of six different extensive green roofs and reflective and non-reflective roofs in a sub-tropical climate. *Urban Ecosystems*, 11 (4), 339-348. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0069-4>
- Snodgrass, E.C., & Snodgrass, L.L. (2006). *Green roof plants: a resource and planting guide*. Portland, OR: Timber Press.
- Susca, T., Gaffin, S.R., & Dell'Osso, G.R. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159 (8-9), 2119-2126. <https://doi.org/10.1016/j.envpol.2011.03.007>
- Sutton, R.K. (2015). *Green Roof Ecosystems*. Cham: Springer.
- Takebayashi, H., & Moriyama, M. (2007). Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and environment*, 42 (8), 2971-2979. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.06.017>
- Teemusk, A., & Mander, Ü. (2007) Rainwater runoff quantity and quality performance from a greenroof: the effects of short-term events. *Ecological Engineering*, 30 (3), 271-277. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2007.01.009>
- The Plant List*. Retrieved from: <http://www.theplantlist.org>
- Theodosiou, T.G. (2003) Summer period analysis of the performance of a planted roof as a passive cooling technique. *Energy Build*, 35, 909-907. [https://doi.org/10.1016/S0378-7788\(03\)00023-9](https://doi.org/10.1016/S0378-7788(03)00023-9)
- Thompson, J.W. (1998). Grass-roofs movement. *Landscape architecture*, 88 (5), 46-51.
- Van Renterghem, T., & Botteldooren, D. (2011). In-situ measurements of sound propagating over extensive green roofs. *Building and environment*, 46 (3), 729-738. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2010.10.006>
- VanWoert, N.D., Rowe, D.B., Andresen, J.A., Rugh, C.L., Fernandez, R.T., & Xiao, L. (2005). Green roof stormwater retention: effects of roof surface, slope, and media depth. *Journal of environmental quality*, 34 (3), 1036-1044. <https://doi.org/10.2134/jeq2004.0364>
- Villarreal, E.L., & Bengtsson, L. (2005). Response of a *Sedum* green-roof to individual rain events. *Ecological Engineering*, 25 (1), 1-7. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2004.11.008>
- Williams, N.S., Lundholm, J., & Scott MacIvor, J. (2014). Do green roofs help urban biodiversity conservation? *Journal of applied ecology*, 51 (6), 1643-1649. <https://doi.org/10.1111/1365-2664.12333>
- Wolf, D., & Lundholm, J.T. (2008). Water uptake in green roof microcosms: effects of plant species and water availability. *Ecological Engineering*, 33 (2), 179-186. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2008.02.008>
- Wong, J.K.W., & Lau, L.S.K. (2013). From the 'urban heat island' to the 'green island'? A preliminary investigation into the potential of retrofitting green

roofs in Mongkok district of Hong Kong. *Habitat International*, 39, 25-35. <https://doi.org/10.1016/j.habitatint.2012.10.005>

Wong, N.H., Chen, Y., Ong, C.L., & Sia, A. (2003). Investigation of thermal benefits of rooftop garden in the tropical environment. *Building and environment*, 38 (2), 261-270. [https://doi.org/10.1016/S0360-1323\(02\)00066-5](https://doi.org/10.1016/S0360-1323(02)00066-5)

Peculiarities of forming of phytobiota formation of the flat green roofs of extensive type in the city of Lviv

O. Galevych¹, M. Soroka²

The taxonomic composition, bioecological and chorological characteristics of cultural plant species of flat green roofs of extensive type in the city of Lviv were investigated. The structural features of the flora of cultivated species were identified, the levels of their frost-resistance and winter hardiness and USDA-zoning, and the vertical distribution of green roofs types were studied. It was found that five design types are used for greening roofs in Lviv – “Sedum carpet”, “Rooftop lawn”, “Fragrant herbs”, “Cereals garden” and “Garden on the roof”. Most of the implemented projects were carried out according to technology and using substrates, lawn mixtures and a list of plants from the German company “ZinCo GmbH”. The exceptions are objects of collective and private property in low-rise buildings, where individual projects were implemented for roof greening, and the list of plants was selected according to project proposals.

Most green roofs are created on buildings with a height of 10-20 m (45% green roofs). Also, popular is greening of high-rise 10-storey and higher apartment buildings (22% green roofs). It was found that 230 species of plants and 105 of their cultivars were used for greening flat roofs. The spectrum of viable forms is dominated by phanerophytes (129 species, 44%) and hemicryptophytes (98 species, 33%). Most plant species grow naturally in Southeast Asia – 56 species (24%), Europe (50 species, 22%), North America (39, 17%), and Eurasia (32,14%). 11 species (5%) are of hybrid origin.

Among coniferous cultivars, dwarf and blue-colored conifers predominate – *Chamaecyparis lawsoniana* ‘Minima Glauca’, *Juniperus horizontalis* ‘Blue Chip’, *J. procumbens* ‘Nana’, *J. squamata* ‘Blue Carpet’, *Picea glauca* ‘Conica’, *P. omorika* ‘Nana’, *Pinus heldreichii* ‘Compact Gem’, *P. mugo* ‘Gnom’, *P.m.* ‘Mops’, *Taxus cuspidata* ‘Nana’, *Thuja occidentalis* ‘Globosa’, *Th. o.* ‘Hoseri’. Variegated-leaved plants are often used (*Cornus alba* ‘Elegantissima’, *Lonicera ligustrina* var. *pileata* ‘Variegata’, *Euonymus fortunei* ‘Emerald ‘n’ Gold’, *Weigela florida* ‘Nana Variegata’), limbate (*Cornus alba* ‘Argenteo-marginata’) and purple-leaved forms (*Acer platanoides* ‘Crimson King’, *Berberis thunbergii* ‘Atropurpurea’, *B. th.* ‘Atropurpurea Nana’, *Cotinus coggygria* ‘Royal Purple’, *Phuopsis stylosa* ‘Purpurea’). Annual plants are practically not used in roof greening, with the exception of *Begonia cucullata*, *Liatris spicata* ‘Alba’, *L. s.* ‘Kobol’, *Matricaria breviradiata*, *Salvia splendens*, which are annually planted in the “pockets” of compositions to create a color accent. Of uncommon species and new varieties of plants on green roofs the following species are found: *Azorella trifurcata*, *Betula utilis* ‘Doorenbos’, *Caryopteris incana*, *Cornus kousa* ‘Milky Way’, *Cytisus* × *kewensis*, *Kniphofia uvaria*, *Leontopodium nivale*, *Nothofagus antarctica*, *Vitis californica* ‘Roger’s Red’. Rooftop lawns are made mainly by sowing with grass mixtures of low-growth cereals and micro-clover that do not require frequent mowing (Lilliputian, Canada Green and Gnome) or using a roll lawn.

The territory of Lviv belongs to the 6 USDA-zone; however, the roof greening uses species regionalized for other USDA-zones. It is shown that the majority of species planted on flat roofs belong to the 5 USDA-zone (96 species, 33%); species of the 4 zone (69 species, 23%) and 3 zone (61 species, 21%) are also widely represented. Almost never are used species of zones 8 (5 species, 2%), 9 (1 species, 1%), and 10 (2 species, 1%). The analysis of winter hardiness of the species showed that species from the mountainous regions of Central and East Asia, where the continental climate dominates, pass the winter on green roofs best. But species from European mountains have lower winter hardiness. It was found that cultivars also have lower winter hardiness than the species from which they were derived.

For high-quality, durable, ecologically and economically feasible greening of flat roofs in Lviv, it is essential to select winter- and frost-resistant plant species that belong to higher USDA-zones than the territory of the city of Lviv, as well as to use plant species from the mountains of Central and East Asia. It is necessary to take into account the height of the building, which creates a vertical zonation of vegetation.

Key words: roof greening; species composition; cultivars; biomorphological structure; frost resistance; USDA-zones.

¹ Oksana Galevych – graduate student at the Department of Botany. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynska str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-032-239-27-11. E-mail: oksana.galevich2019@gmail.com

² Myroslava Soroka – scientific director, full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Biological Sciences, Professor at the Department of Botany. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynska str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-032-239-27-11. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

Особенности формирования фитобиоты плоских зеленых крыш экстенсивного типа в г. Львове

О. Е. Галевич¹, М. И. Сорока²

Исследованы таксономический состав, биоэкологические и хорологические характеристики культивируемых видов растений плоских зеленых крыш экстенсивного типа. Выявлены структурные особенности флоры культивируемых видов, исследованы их уровни морозо- и зимостойкости, изучено вертикальное распределение типов зеленых крыш. Для озеленения крыш в г. Львове используют пять основных типов: «Седумный ковер», «Газонная крыша», «Душистые травы», «Злаковый сад» и «Сад на крыше». Большинство воплощенных проектов выполнены по технологии и с использованием субстратов, газонных смесей и ассортимента растений немецкой компании «ZinCo GmbH».

Выявлены объекты коллективной и частной собственности в малоэтажной застройке, где для озе-

ленения крыш выполнены индивидуальные проекты, а ассортимент растений подобран согласно проектным предложениям. Наибольшее количество зеленых крыш создано на зданиях высотой 10-20 м (45% зеленых крыш). Также популярным в городе является озеленение крыш высотных жилых зданий 10-ти и более этажей (22%). Для озеленения плоских крыш использовано 230 видов растений и 105 их культиваров. В спектре жизненных форм доминируют фанерофиты (129 видов; 44%) и гемикриптофиты (98; 33%). Большинство видов растений естественно растут в Юго-Восточной Азии – 56 видов (24%), Европе (50; 22%), Северной Америке (39; 17%) и Евразии (32; 14%); 11 видов (5%) имеют гибридное происхождение.

Среди представителей хвойных преобладают карликовые растения с голубой окраской хвои, среди лиственных деревьев и кустарников – пестролистные, окаймленные и пурпурнолистные низкорослые формы. Газонные крыши выполнены преимущественно посевом из травосмесей низкорослых злаков и микроклевера, однолетние растения практически не используются. Анализ зимостойкости видов показал, что на зеленых крышах лучше зимуют виды из горных районов Центральной и Восточной Азии, где господствует континентальный климат. Виды из европейских гор имеют низкую зимостойкость. Распределение видов по USDA-зонам показало, что больше всего использовано видов пятой зоны морозостойкости (96 видов, 33%), широко представлены также виды четвертой (69; 23%) и третьей зон (61; 21%).

Ключевые слова: озеленение крыш; видовой состав; культивары; биоморфологическая структура; морозостойкость; USDA-зоны.

¹ Галевич Оксана Евгеньевна – аспирант кафедры ботаники, древесиноведения и недревесных ресурсов леса. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, Львов 79057, Украина. Тел.: +38-032-239-27-11. E-mail: oksana.galevich2019@gmail.com

² Сорока Мирослава Ивановна – научный руководитель, академик Лесной академии наук Украины, доктор биологических наук, профессор. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, Львов 79057, Украина. Тел.: +38-032-239-27-11. E-mail: myroslava_soroka@yahoo.com ORCID <https://orcid.org/0000-0002-1037-6904>

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/10.15421/412036>
Article received 2020.05.18
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vitaliy Soloviy
vitsoloviy@yahoo.com

General Chuprynka str., 134 apt. 55 Lviv,
Lviv region, 11643, Ukraine

УДК 504:33

Еколого-соціо-економічний аналіз управління міськими територіями в умовах зміни клімату: на прикладі міст обласного значення України

В.І. Соловій¹, І.А. Дубовіч²

Зміна клімату на території України швидко прогресує, втім національна екологічна політика наразі не відповідає нагальності кліматичних викликів. У цьому контексті особливої актуальності набуває роль міст, як середовищ уразливості до зміни клімату, втім, також і джерела потенційних рішень. На основі аналізу 78 планів міст обласного значення України, які є учасниками Глобальної Угоди мерів щодо клімату та енергії, наведено критичний міждисциплінарний аналіз виконання містами своїх зобов'язань і цілей щодо зменшення викидів, ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату, а також парадигм, у рамках яких розгортається екологічна політика щодо зміни клімату на місцевому рівні. Виявлено, що більшість міст працюють у рамках парадигми слабкої сталості, застосовують підходи, які не відповідають особливостям викликів зміни клімату, і не виконують поставлених цілей. Поширений суто формалістичний підхід до використання шаблонів для планування, декларативне ставлення до питань адаптації та фрагментарна звітність. Перевага надається вузькому спектру рішень, а супутні вигоди заходів переважно не розглядаються. Водночас, наявні позитивні тенденції, такі як виникнення нішевих інновацій, розбудова мереж та нагромадження досвіду в окремих секторах. Розроблено методiku оцінювання ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату та з її допомогою здійснено оцінку трьох міст обласного значення – Львова, Харкова та Одеси. На основі здійсненого аналізу та результатів оцінювання, запропоновано рекомендації щодо переходу від слабкої до трансформаційної парадигми сталості, як передумови ефективного управління міськими територіями в умовах зміни клімату.

Ключові слова: сталий розвиток міста; ефективне управління; екологічна економіка; Паризька угода; адаптація до зміни клімату.

¹ Соловій Віталій Ігорович – науковий співробітник, науково-дослідна частина, Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-239-27-78. E-mail: vitsoloviy@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4216-3735>

² 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>

Вступ. Впродовж минулих десятиліть спостережено швидке прогресування зміни клімату на території України. Вона виявляється через зміну сили, частоти й тривалості стихійних лих, а також збільшення витрат на ліквідацію її наслідків. Іншими поширеними проявами зміни клімату є тепловий стрес, паводки, зростання кількості інфекційних захворювань та алергій (Бойченко, Карамушка, Тищенко, Мохнач, 2017). Посилюються ризики для нормального функціонування енергетичних систем, транспорту та водопостачання міст, що може спричинити збитки для населення і бізнесу (Шевченко та ін., 2015). Внаслідок зміни клімату, в Україні може бути частково чи повністю затоплено 34 міста, 40 тис. будинків та 662 екологічно-небезпечні об'єкти, що може призвести не лише до економічних наслідків, але й безповоротних втрат, загрози для життя населення і техногенної небезпеки (Голубцов, Біатов, Селіверстов, Садогурська, 2019). У багатьох містах України спостерігається підвищення середньорічної температури на 0.7-1.0°C, збільшення частоти хвиль тепла порівняно з кліматичною нормою попередніх десятиліть (Шевченко, Сніжко, 2020). Поряд з глобальними проявами та сценаріями, розглянуті тенденції та виклики актуалізують питання про вразливість міських територій України до зміни клімату і заходи, які необхідно впроваджувати у цьому контексті.

Основними нормативно-правовими актами щодо реалізації екологічної політики у сфері зміни клімату в Україні є Закон України «Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату» (ВРУ, 1996), Закон України «Про ратифікацію Паризької угоди» (ВРУ, 2016), Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Очікуваного національно визначеного внеску України до проекту нової глобальної кліматичної угоди» (КМУ, 2015) та Закон України про «Основні засади (стратегію) національної екологічної політики до 2030 року» (ВРУ, 2019). Розпорядження Кабінету Міністрів України «Концепція реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030

року» (від 7 грудня 2016 року) визначає правові підстави «для розроблення проектів законів та інших нормативно-правових актів для різних складових державної політики у сфері зміни клімату» (КМУ, 2016). Також розроблено план заходів щодо втілення Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 р. (КМУ, 2017), яким передбачається «підготовка та виконання пілотних проектів з розроблення і реалізації місцевих планів з адаптації до зміни клімату». Відповідальність за їх виконання встановлена за місцевими органами виконавчої влади та органами місцевого самоврядування. Втім, жодних інших деталей щодо ролі місцевих органів влади у формуванні національної екологічної політики у сфері зміни клімату не наведено.

Проактивну позицію щодо участі міст у діях щодо зміни клімату демонструє громадянське суспільство. В Україні діє декілька мереж та ініціатив, які працюють у цьому напрямі: серед них, Асоціація «Енергоефективних міст України», Українська кліматична мережа, Коаліція «Енергетичний перехід» Екодія та 350.org. Також було втілено та втілюється декілька проектів, спрямованих на актуалізацію ролі міст і місцевих органів влади у діях щодо зміни клімату, зокрема «LOC-CLIM-ACT: місцеві дії щодо впливу кліматичних змін» (Балабух, 2013) і «Сталі енерго-позитивні та безвуглецеві громади» (*Sustainable energy positive and zero carbon communities*) (НЕЦУ, 2019). Одна з ключових сторін в діях щодо зміни клімату представлена місцевими органами влади, які вже тривалий час долучаються до глобальних дій щодо зміни клімату. Втім, результати їхньої діяльності у цьому напрямі є недостатньо вивченими, що зумовлює *актуальність* дослідження.

Методи та матеріали. *Теоретичні рамки.* Для ідентифікації підходів, які застосовуються містами України в умовах зміни клімату, пропонується розглянути чотири парадигми сталості кризь призм світоглядно-етичного (1), теоретико-методологічного (2) та емпіричного (3) рівнів аналізу (РА) (табл. 1).

Таблиця 1

Парадигми сталого розвитку міст в умовах зміни клімату

РА	Категорія	Парадигма			
		Слабка	Сильна	Критична	Трансформаційна
1	2	3	4	5	6
1	Причина зміни клімату	викиди парникових газів, забруднення	вихід за екологічні межі, зростання	експлуатація, соціальна нерівність	наративи домінування та відчуження від природи
	Мета щодо зміни клімату	регулювання вуглецевого циклу	стійкість кліматичної системи	кліматична справедливість	сприяння клімату, який сумісний з життям
	Стратегії змін	інтерналізація, оптимізація, інновації	управління, обмеження, системні зміни	викриття, відстоювання, протидія, діалог	взаємодія, спільне навчання, рефлексія, критичний плюралізм
	Сутність міста	місто як прихисток від природи	місто як система	місто як простір змагання	місто як середовище співжиття

1	2	3	4	5	6
2	Наукові школи	неокласична економіка, економіка довкілля	екологічна економіка першої генерації	політична екологія, соціальна екологічна економіка	наука сталості та екологічна економіка другої генерації
	Економічні стратегії	капіталізм, неолібералізм, зелене зростання	обмежені ринки, економіка стійкого стану	локалізація, пост-розвиток, пост-зростання	локалізовані та пов'язані економічні системи
	Підхід до зміни клімату	фрагментарний захист, конкуренція	скоординовані дії та диктатура науки	локалізовані дії та низові мережі	міжнародна конкуперация
	Концепції міст	розумне / вуглецево-нейтральне місто	кліматично стійке / позитивне місто	кліматично справедливе місто	біофілійне місто, регенеративне місто
3	Фінансування	централізоване	розподілене	спільнокошт	гібридне
	Інструменти	вуглецевий податок, торгівля викидами	міжнародні мережі та угоди, стратегії	низовий активізм, співучасть	адаптивне управління, постійне навчання
	Рішення	негативні викиди, очисні споруди, чисті технології	зелено-блакитна інфраструктура, сталі будівлі	міські сади, протести, продовольча незалежність	місцеві експерименти, ревайлдинг, великі зелені зони в центрі міст

Примітка. Розроблено автором на основі аналізу літератури (Klaassen & Opschoor, 1991; Bugliarello, 2006; Agyeman, 2008; Zagonari, 2019; Jong et al., 2015; Du Plessis & Brandon, 2015; James, 2017; Rose & Cachelin, 2018; O'Brien, 2016; Hermwille, 2016; Thornton et al., 2019; Boda & Faran, 2018; Cohen, 2017; Nightingale et al., 2020; Fedele, 2019; Harrison et al., 2019; Abson et al., 2017)

Особливістю слабкої сталості є їх редукціонізм, спрощення дійсності задля досягнення практичних цілей, використання єдиного мірила добра та домінантних ідеологій неолібералізму, опанування природи та об'єктивізації життя. Парадигма сильної сталості виникла як реакція на виклики, до яких призвело домінування слабкої сталості (Pelenc & Ballet, 2015). Її прихильникам притаманне використання формалістичних підходів та прагнення подолати кліматичні виклики за допомогою ефективного управління і менеджменту (Spash, 2020). Критична сталість враховує обмеження двох інших парадигм, роблячи наголос не лише на сталості і стійкості екосистем, але й на питаннях політичного вибору, справедливості та нерівності. Втім, критична сталість переважно не пропонує ні відповідей щодо ефективного менеджменту, ні рішень щодо власне переходу від несталого до сталого суспільства (Rose & Cachelin, 2018). Враховуючи прогалини цих парадигм, відбувається формування трансформаційної сталості, яка інтегрує попередні напрацювання та розглядає питання, які в рамках інших парадигм переважно не ставляться, зокрема щодо дій в умовах глибинної непевності та конкурентних систем цінностей. Вона базується на рефлексивному, інклюзивному та адаптивному підході. Розглянута класифікація дає змогу вирізнити відмінності та подібності між різними практиками, які ми спостерігаємо на «поверхні», а також розглянути притаманні їм особливості і недоліки в контексті пошуку ефективних рішень щодо зміни клімату.

Відбір планів для аналізу. На основі попереднього аналізу було з'ясовано, що всі діючі плани міст щодо зміни клімату в Україні втілюються у рамках Глобальної Угоди мерів щодо клімату та енергії (Global Covenant of Mayors for Climate and Energy) (далі – Угода мерів). Участь в Угоді мерів передбачає зобов'язання зменшення викидів принаймні на 20% до 2020 р. та на 30% – до 2030 р. порівняно з базовим роком. У рамках цієї угоди від України є 248 міст-підписантів. Для аналізу було вибрано міста обласного значення (рис. 1), оскільки вони мають особливо значний вплив на зміну клімату і потенціал для дій. Карту сформовано авторами на основі планів міст, розміщених в базі Угоди мерів із застосуванням сервісу Google Maps.

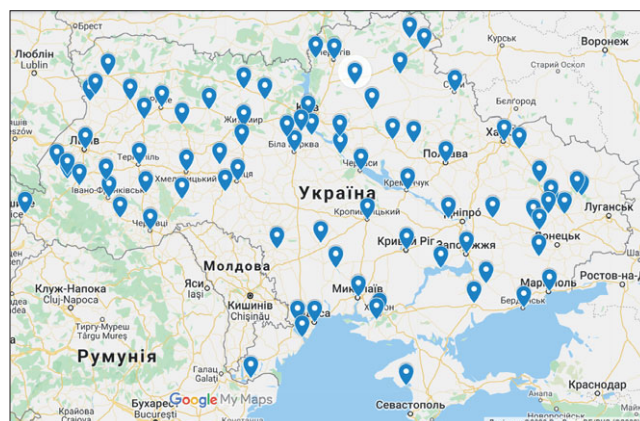


Рис. 1. Міста обласного значення України, підписанти Угоди мерів

Зважаючи на офіційні зауваги з боку Угоди мерів до затверджених містами планів, з бази даних було виключено сім міст, що дало змогу сформувати базу даних з 78 планів¹.

Методи дослідження. Враховуючи міждисциплінарність та комплексність проблематики зміни клімату, було поєднано кілька методів у рамках еколого-соціо-економічного аналізу планів і звітності, зокрема інституційний аналіз, критичний контент аналіз та SWOT-аналіз документів. Статистичний аналіз здійснювали на основі показників викидів парникових газів у базовому році, цілей щодо зменшення викидів на 2020/2024–2025/2050 рр., представлення компоненти адаптації, запланованого та використаного бюджету, вартості зменшення викидів CO₂ на одну тонну у плановому та звітному періоді. На основі аналізу поширених ме-

тодик (Grafakos et al, 2020; Guyadeen, Thistlethwaite & Henstra, 2019; Olazabal et al., 2019) авторами також розроблено Індекс ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату та методику його розрахунку, які було застосовано на прикладі трьох обласних центрів.

Індекс містить три сфери та десять груп критеріїв, розраховується наступним чином:

$$I = CA(P+M) + CO(P+M) + CB(P+M).$$

I – Індекс ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату;

CA – результат оцінки за сферою аналізу;

CO – результат оцінки за сферою управління;

CB – результат оцінки за сферою впровадження;

P+M – Пом'якшення + Адаптація.

Шкала та методика оцінювання представлена у табл. 2 і 3.

Таблиця 2

Шкала оцінювання Індексу ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату

Рівень	Бали	Опис
A	80-100	Лідерство у діях щодо зміни клімату. Діє узгоджена система управління, яка ефективно інтегрує інтереси різних сторін і координацію на різних рівнях. Спостерігається вчасне виконання поставлених цілей, злагоджена звітність і комунікація.
B	60-79	Узгодженість елементів системи та розуміння значущих взаємозв'язків, втім, наявні прогалини в окремих аспектах, або потрібно поглиблювати врахування окремих унікальних для зміни клімату вимог щодо управління у розрізі низки груп.
C	40-59	Базова, втім, ефективна система управління, яка враховує ключові аспекти адаптації та пом'якшення. Спостерігається регулярна звітність, часткове досягнення цілей і чітка координація. Водночас, на цьому рівні досягнення не варто очікувати амбітних дій чи інноваційних заходів.
D	20-39	Передбачає наявність окремих заходів і досягнень у сфері зміни клімату; відсутні систематичне бачення, чітка позиція та процеси, або ж існують суттєві прогалини у звітності чи відсутні дії щодо пом'якшення та / або адаптації.
D-	10-19	Спостерігається визнання реальності змін клімату та їх значущості для міста, втім, система управління як така відсутня, відбувається обговорення поточної ситуації та пошук можливості розпочати дії у потрібному напрямі. Наявні окремі приклади заходів.
-	0-9	Відсутні дії щодо зміни клімату та визнання значущості кліматичних викликів.

Результати та обговорення. Аналіз планів і звітності міст обласного значення. На основі аналізу виявлено, що цілі щодо зменшення викидів парникових газів мають 156 з 460 міст (33.91%), зокрема 85 з 189 (44.97%) міст обласного значення України. В контексті прийнятих цілей (рис. 2) бачимо, що 54 міста (69%) прийняли цілі щодо скорочення викидів до 2020 року, 7 (9%) – до 2024 або 2025 років та 30 (38%) – до 2030 року (деякі міста прийняли цілі на два періоди водночас), 27 міст (35%) зобов'язалися інтегрувати оцінки вразливос-

ті до зміни клімату та впроваджувати заходи щодо адаптації.

Аналіз даних дає змогу простежити суттєві відмінності в цілях, які змінюються від мінімальних, що передбачають зменшення викидів парникових газів на 20% до 2020 року та 30% до 2030 року, до амбітних цілей щодо зменшення викидів парникових газів – на 52.5% до 2030 року.

Міста з цілями, визначеними до 2020 р., планували досягти загального зменшення викидів, порівняно з базовими роками, на 24.3%, міста з цілями щодо 2024-2025 рр. – на 26%, з цілями на 2030 р. – на 44.8%, зокрема, завдяки амбітним цілям невеликої групи міст з великими обсягами викидів. Загальна сума очікуваних зменшень викидів у рамках затверджених проектів становить 18 302 907 тонн CO₂ до 2030 та складає 16% від суми викидів ба-

¹ Повний перелік наявний у сформованій авторами базі даних дослідження, яка є у вільному доступі: <https://docs.google.com/spreadsheets/d/1YmOciJMqMdAs9LT5YwIhnWlfpQbT7c1nIN/CXvaawy/edit?usp=sharing>

зового року. Загальна очікувана вартість проектів складає 203 946 436 тис грн., зокрема такий загальний обсяг може пояснюватись першочерговою орієнтацією на зовнішнє фінансування. Міста, термін

дії цілей яких завершився у 2020 р., запланували проекти щодо зменшення викидів на 15.38% від базового року, з цілями до 2024-2025 рр. – на 26.64%, а до 2030 р. – на 18.25%.

Таблиця 3

Методика оцінювання Індексу ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату

					Критерії та бали				
Підгрупа	Пом'якшення	Адаптація	Сума						
	50	50	100	2 (D-)	4 (D)	6 (C)	8 (B)	10 (A)	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Аналітична складова	Розуміння	5	5	10	Визнання реальності зміни клімату	Розуміння процесу та наслідків зміни клімату	Розуміння локального та глобального впливу ЗК	Розуміння рушіїв зміни клімату, зв'язків між ними та потреб у змінах	Холістичне розуміння зміни клімату, впливів та можливостей
	Вразливість	5	5	10	Усвідомлення вразливості до зміни клімату	Кількісний або якісний аналіз ризиків чи вразливості	Кількісний або якісний аналіз ризиків і вразливості в розрізі принаймні двох факторів	Кількісний та якісний аналіз ризиків і вразливості в розрізі груп, міри, охоплення та ймовірності	Цілісний, вичерпний і регулярний аналіз ризиків та уразливості, ранжування, індикатори
	Інвентаризація	5	5	10	Пошук можливостей провести інвентаризацію	Вказано викиди за базовий рік за кількома секторами	Кадастр охоплює всі ключові сектори або визнає значущі обмеження	C+ розрахунок викидів як споживання, так і виробництва. Відкрита методологія, моніторинг	B+ визнано усі обмеження, упущення та припущення, міждисциплінарний аналіз впливів на клімат
Організаційне забезпечення	Бачення та цілі	5	5	10	Діє процес, спрямований на формування бачення і цілей	Принаймні одна кількісна та одна якісна ціль	Декілька ключових якісних і кількісних цілей та концептуальні рамки для дій	C+ науково-обґрунтовані цілі і зобов'язання на найвищому рівні	B+ взаємно інтегровані і комплексні цілі, нехесуспішні цілі сталого розвитку
	Координація	5	5	10	Базова організаційна структура	D- описано вертикальну та горизонтальну інтеграцію	D+ офіційний план і зв'язки з іншими документами	C+ цілісний та інтегрований план дій щодо зміни клімату	B+ адаптивна і злагоджена багаторівнева система управління та дієві мережі
	Участь	5	5	10	Інші сторони можуть брати участь за бажанням	Ініціатива залучення ключових сторін	Ініціатива залучення усіх значущих сторін	C+ залучення збалансоване в контексті етапів, міри, способів та інтересів сторін	B+ враховано взаємозв'язки між сторонами та інтереси всіх сторін, діють стійкі партнерства

Продовж. табл. 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Впровадження	Ресурсність	5	5	10	Ресурси на фінансування дій щодо ЗК не виділяються	Фрагментарне фінансування окремих проектів ЗК	Фінансування з чітким бюджетом, рамками, структурою та індикаторами	Враховано потреби в фінансових і нефінансових ресурсах	С + багатокритеріальна система прийняття рішень, супутні вигоди інтегровано
	Досягнення	5	5	10	Відсутність будь-яких досягнень	Досягнення в рамках окремих проектів	Реалізовано принаймні 30% запланованих заходів та досягнуто 30% по 30% цілей	Реалізовано 40% запланованих заходів, досягнуто 40% по 40% цілей, обґрунтування упущень	Виконання 60% запланованих заходів та 60% цілей на 60%, обґрунтування
	Звітність	5	5	10	Звітність відсутня	Звітність фрагментарна, несистемна і нерегулярна	Принаймні один прозорий і легітимний звіт за два роки	Регулярна звітність за усіма ключовими показниками, видно прогрес	С+ підсумки щодо досягнення цілей в агрегованому та неагрегованому форматі, аналіз причин і коригувальні дії
	Комунікація	5	5	10	Комунікація відсутня	Окремі брошури чи семінари	Доступ до ключової інформації онлайн та у фізичному форматі	Діє окремий план, стратегія чи настанови, які описують ключові заходи щодо комунікації	С+ комунікація враховує потреби сторін і забезпечує доступність інформації

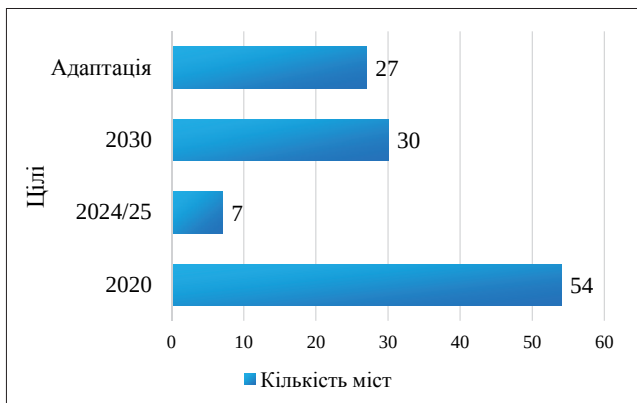


Рис. 2. Цілі міст обласного значення України щодо зменшення викидів парникових газів до відповідного року та адаптації до зміни клімату в рамках Угоди мерів

За результатами попередніх років, серед міст, які прийняли лише цілі щодо скорочення викидів до 2020 року, 17 міст з 40 прозвітували про досягнуті результати. Серед них 12 звітів містили інформацію, яка дає підставу зробити висновки щодо досягнення поставлених цілей, а деякі звіти містили часткову інформацію. Загальні скорочення викидів парникових газів у рамках групи, яка подала узгоджені звіти та прийняла зобов'язання лише до 2020 р., склали

37.52% від запланованих. Загальні скорочення викидів усіх міст із зобов'язаннями лише до 2020 р. становили 3.51% від запланованих скорочень. Водночас, щодо міст із зобов'язаннями лише до 2020 р. відсутня належна інформація у 60.2% випадках щодо 96.49% загальних очікуваних скорочень викидів парникових газів, що дає підставу стверджувати про неефективність поточних систем звітності. Обсяги зменшення викидів і частку використання запланованих коштів на основі звітів з узгодженою інформацією представлено на рис. 3 (розраховано авторами на основі планів та звітів 15 міст).

Отже, є відмінності як у використанні коштів, так і в зменшенні викидів парникових газів у рамках використаних коштів. Зокрема, є приклади майже цілковитого виконання плану (м. Чернівці), суттєвого зменшення викидів за неповного використання коштів (м. Коростень), а також використання значної частини коштів за дуже обмеженого скорочення викидів парникових газів. У контексті аналізу виконання планів до 2020 р. за структурою скорочення викидів парникових газів можна зазначити, що в той час, коли найбільші очікування стосувалися промисловості (63%), найвагомніше скорочення викидів відбулося в житловому секторі (58%) (рис. 4).

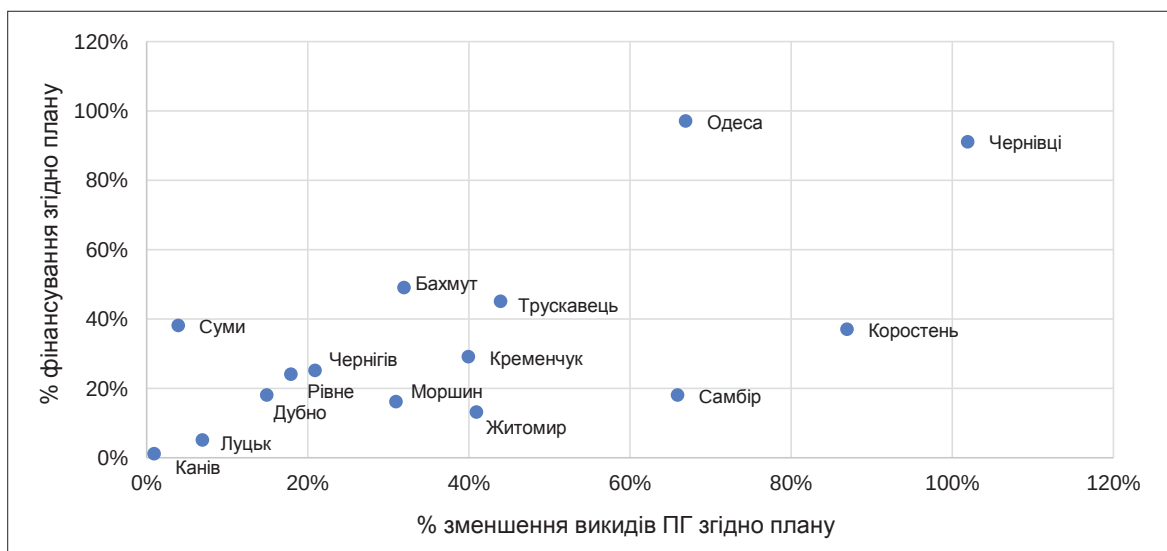


Рис. 3. Виконання планів щодо зменшення викидів парникових газів та фінансування відносно базового року за звітами з узгодженою інформацією

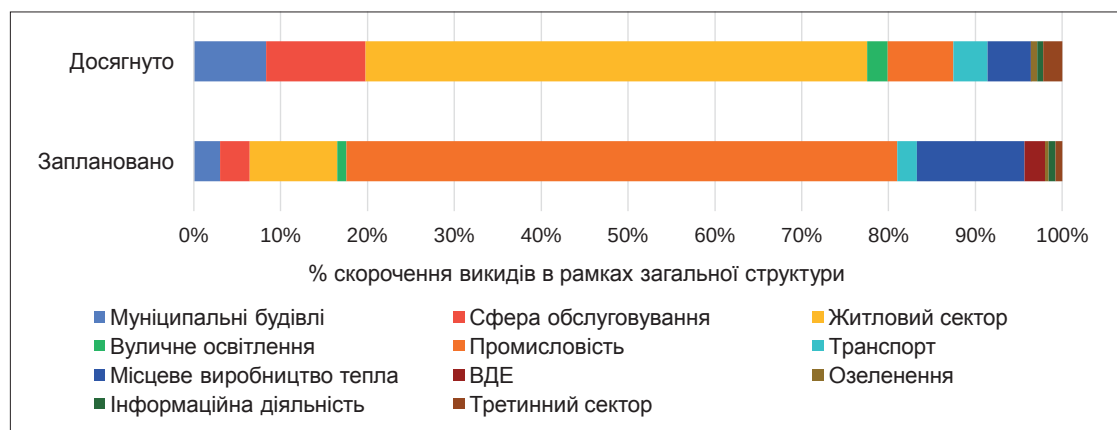


Рис. 4. Структури запланованих і досягнутих скорочень викидів парникових газів, агреговані за усіма містами, які прийняли цілі скорочення викидів до 2020 р. згідно з наявними звітами міст у розрізі секторів

Такі відмінності насамперед пов'язані з відсутністю звітів з боку міст, які орієнтувались на скорочення в промисловості, що частково коригується, якщо врахувати цілі тільки тих міст, які надали звіти (рис. 5). Згідно з розрахунками вартості ско-

рочення викидів за планом та досягнутими скороченнями викидів парникових газів на основі повної інформації (рис. 6), яка наявна для десяти міст, є суттєві відмінності між планами та результатами загалом і в межах окремих секторів.

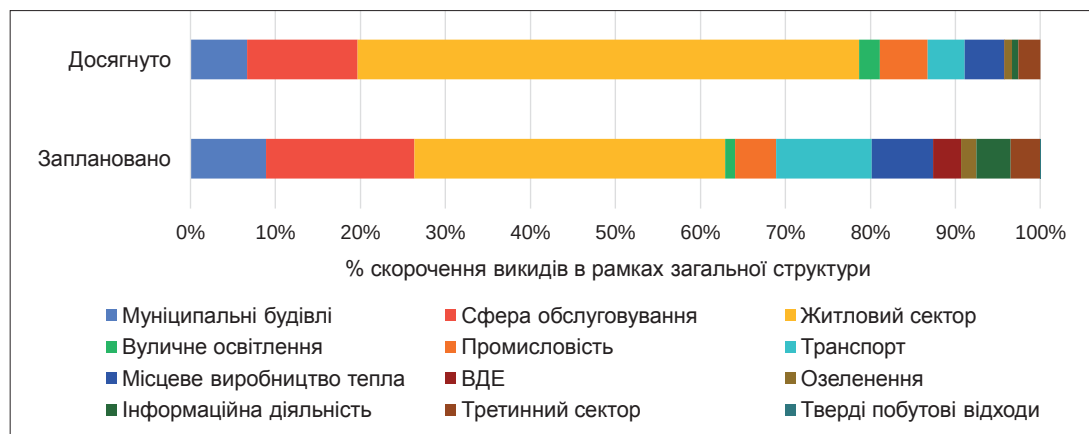
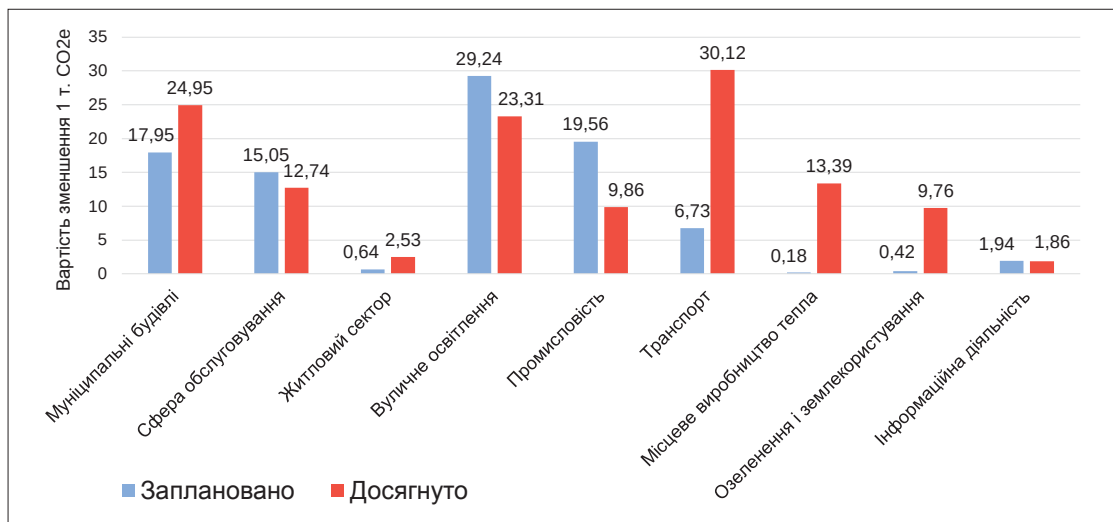


Рис. 5. Структури запланованих та досягнутих скорочень викидів, агреговані за містами, які зобов'язалися скоротити викиди до 2020 р. та представили звіт

Рис. 6. Вартість зменшення однієї тонни викидів CO₂, тис. грн.

Також наявні суттєві відмінності між секторами, де вони не є обґрунтованими (наприклад, десятиразова різниця у вартості скорочення викидів між муніципальним та житловим сектором). Повнота відображення витрат і структура джерел фінансування вказують на необхідність докладнішого аналізу. Наприклад, у плані м. Нікополя (Нікопольська міська рада, 2014) промисловість має найбільшу частку в запланованому зменшенні викидів парникових газів (93%). Втім, план не передбачає фінансування цього зменшення викидів, орієнтуючись на пошук можливостей щодо фінансування з боку ПАТ «НЗФ» та комунальних підприємств, що робить розрахунок вартості скорочення одиниці викидів недоцільним. Для 69 міст за наявності більшості даних, середня очікувана

вартість скорочення викидів склала 18.37 тис. грн за тону без урахування очікуваної економії (для більшості планів не наведено відповідних показників). Згідно зі звітами, вартість скорочення однієї тонни викидів у рамках групи, плани яких завершуються у 2020 р., становила 7.87 тис. грн.

Оцінювання ефективності управління міськими територіями в умовах зміни клімату. На основі дослідження планів, звітів, дотичних стратегій і документів, а також інших матеріалів від місцевих органів влади та зацікавлених сторін, які проводять свою діяльність в межах міста, було здійснено оцінку трьох міст України, географічно віддалених і суттєво відмінних в більшості аспектів планування та дій щодо змін клімату. У табл. 4 представлено результати оцінки Індексу для Львова, Одеси та Харкова.

Таблиця 4

Результати оцінювання Індексу ефективності управління міськими територіями для Львова, Одеси та Харкова

Група	Підгрупа	Львів			Одеса			Харків		
		П	А	С	П	А	С	П	А	С
Аналіз	Розуміння	1	2		3	2		3	3	
	Вразливість	1	2	8	1	2	12	2	3	16
	Інвентаризація	2	0		3	1		3	2	
Організаційне забезпечення	Бачення та цілі	3	1		3	0		4	2	
	Координація	2	1	10	4	0	10	4	2	15
	Участь	1	2		3	0		2	1	
Впровадження	Ресурсність	2	0		3	0		3	1	
	Досягнення	1	1	6	4	0	14	1	0	9
	Звітність	0	0		3	0		0	0	
	Комунікація	1	1		3	1		2	2	
А/П		14	10	24	30	6	36	24	16	40

Примітка. Розраховано авторами на основі аналізу документів місцевих органів влади

Для м. Львова план сталого енергетичного розвитку не містить компоненти адаптації. Попри його розробку ще у 2011 р. (Львівська міська рада, 2011), жодних звітів за його результатами не було надано. У 2018 р. місто підписало меморандум про повний перехід на відновлювану енергію до 2050 року (Демчина, 2019). Втім, це політичне рішення наразі не підкріплене жодним іншим стратегічним документом.

Згідно з першим розробленим в Україні Планом заходів «Зеленого міста», передбачається розробка плану адаптації до змін клімату. При цьому міська рада підтримує залучення науковців та інших сторін (Львівська міська рада, 2020), проте власне розроблення плану з адаптації досі в процесі. Варто відзначити активну участь окремих зацікавлених сторін, зокрема громадської організації «Плато», яка розробила посібник «Кліматичні цілі Львова: гайд для обраних до міської ради» (Рябика, Зозуля, Радь, 2020) та регулярно організовує зустрічі між зацікавленими сторонами з дотичних до змін клімату питань. Для міста також була здійснено оцінювання вразливості до змін клімату на замовлення Національного Екологічного Центру України (НЕЦУ, 2015а), втім, інформація про результати застосування такого оцінювання для планування заходів з адаптації відсутня. Попри поступове впровадження проектів з енергоефективності, розширення мережі велодоріжок, встановлення питних фонтанів для зменшення теплового стресу тощо, станом на сьогодні дії в цьому напрямі залишаються несистемними та не скоординованими.

Для м. Одеси наявні амбітні цілі, широка участь зацікавлених сторін у рамках фокусних обговорень щодо можливостей в контексті кожного сектора, врахування горизонтальних і вертикальних взаємодій, забезпечення підтримки виконання плану та узгоджена звітність (86,6% фінансування плану та 67% скорочення викидів парникових газів порівняно із запланованими). Для міста також було виконано оцінювання вразливості до зміни клімату ще в 2015 р. (Шевченко та ін., 2015), і наявні дослідження, які вказують на ризик для міста від підняття рівня моря та інших проявів змін клімату (Голубцов та ін., 2019). «План заходів з реалізації у 2018-2020 рр. щодо впровадження стратегії економічного та соціального розвитку Одеської області до 2020 року» передбачає заходи щодо адаптації «рекреаційного потенціалу регіону до кліматичних змін» (Одеська обласна рада, 2017), а також секторальні заходи, проте жодних заходів щодо адаптації не було наведено у плані, звіті чи інших офіційних документах на рівні міста. Зокрема, в плані сталого енергетичного розвитку є лише один пункт щодо озеленення. Однак, попри орієнтовну вартість в 7 800 тис. грн від 2016 до 2020 рр., в плані не розраховано очікуване поглинання парникових газів у цьому контексті чи вплив зелених зон на зниження вразливості. Відсутність заходів щодо адаптації зумовили загалом низьку оцінку, попри відносну ефективність усіх базових

аспектів управління в контексті пом'якшення змін клімату.

Для м. Харкова наявний докладно розроблений план (Харківська міська рада, 2017), який є добре структурованим, містить опис ключових заходів щодо пом'якшення та розширену оцінку вразливості. Власне фінансування плану передбачає лише кошти на проекти, спрямовані на зменшення викидів парникових газів (хоча й деякі з цих проектів сприяють адаптації, наприклад, підвищення стійкості систем водовідведення), в той час як заходи щодо адаптації обмежено переліком рекомендацій згідно з шаблоном. Попри зобов'язання звітувати згідно з планом у 2019 р., місцеві органи влади наразі не надали жодних звітів щодо його виконання, хоча наявна інформація про втілення окремих проектів. Відсутність належної уваги до забезпечення заходів щодо адаптації та поточне невиконання вимог до звітності стали ключовими обмеженнями в отриманні вищої оцінки.

Графічну інтерпретацію оцінки ефективності системи управління в розрізі десяти груп, а також щодо пом'якшення та адаптації представлено на рис. 7, 8.

Усі міста, які ми досліджували, розглядають виклики зміни клімату з перспективи неокласичної економіки та стандартного проектного менеджменту. Попри деякі успіхи у залученні зацікавлених сторін і розлогий аналіз питань адаптації, в жодному випадку не було виявлено відповідності вимогам рівню В або А, дотримання яких і є найважливішим аспектом для створення дієвої системи.

Варто відзначити як практичну, так і наукову значущість запропонованої нами методики. Як зазначено у рамках попередніх досліджень (Palutikof, Street & Gardiner, 2019), у той час, коли виклики щодо зміни клімату стали критичними, багато інструментів, розроблених науковцями, залишаються «артефактами», які ніхто не використовує внаслідок їхньої складності, незрозумілості чи недружнього до користувача інтерфейсу.

Під час розрахунку цільових показників деякі міста окреслили лише окремі сектори, в той час як загальні викиди можуть суттєво перевищувати референтні значення базового року, в деяких випадках в 1.5 рази (Бердичівська міська рада, 2015) або охоплювати лише 40% загальних викидів (Білоцерківська міська рада, 2016). В окремих випадках цілі щодо зменшення викидів не відповідали переліку проектів щодо зменшення викидів. Для прикладу, для м. Конотопа при цілі щодо зменшення викидів на 20% до 2020 р. заплановані проекти були розраховані на зменшення викидів лише на 2.96% (Конотопська міська рада, 2014).

Попри виключення з аналізу звітів з суттєвими неточностями, залишаються складні для пояснення відмінності у витратах на одиницю зменшення викидів в контексті порівняння планових і досягнутих показників, а також відмінностей між секторами. Таким чином, навіть з позиції неокласичної економіки

в поточному контексті ці результати не можуть розглядатись як фактори прийняття рішень, зважаючи на ймовірну неповноту інформації. Чинниками відмінностей у вартості зменшення викидів парникових газів між різними містами можуть бути відмін-

ності у референтному стані об'єктів, відмінності у структурі витрат та джерел енергії, прогалини у звітності щодо скорочення викидів чи неврахування частини витрат поза межами муніципалітету, що потребує поглибленого подальшого дослідження.



Рис. 7. Порівняльна візуалізація результатів трьох міст (Львова, Одеси та Харкова) за 10 групами критеріїв Індексу

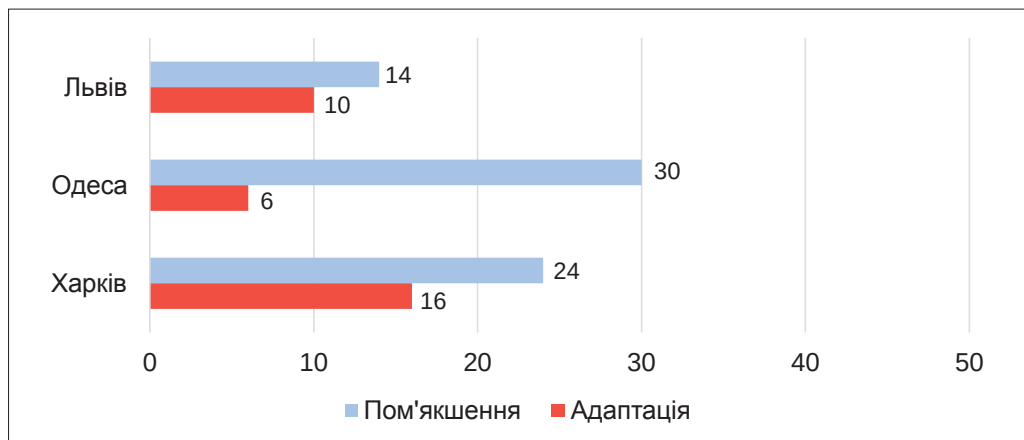


Рис. 8. Порівняльна візуалізація результатів трьох міст (Львова, Одеси та Харкова) щодо пом'якшення та адаптації

Серед позитивних сторін розроблених планів є формування в осіб, які приймають рішення, розуміння джерел і структури викидів, докладний аналіз можливостей зменшення викидів в секторах теплопостачання, муніципальних та житлових будівель, водопостачання і водовідведення, освітлення і транспорту, впровадження альтернативних джерел енергії. Водночас, попри наявність широкого спектра інструментів, методів і рамок умов підтримки прийняття рішень щодо зміни клімату, місцевими органами влади все ще застосовується лише вузький їх спектр, переважно зумовлений структурою шаблону (Bertoldi, 2018), підходом консультанта та наявним програмним забезпечен-

ням, що може залишати суттєві прогалини у розумінні реальної ситуації.

У контексті інституціоналізації питань зміни клімату на місцевому рівні, більшість планів описує зв'язок з іншими значущими документами, організаційну структуру та відповідальних осіб. Наприклад, Чернівецькою міською радою в рамках її структури було створено групу з впровадження пов'язаних з планом проєктів, яка відповідає за залучення ресурсів, ведення реєстру проєктів, підготовку звітів, втілення інформаційних проєктів та інші заходи, зокрема взаємодію із зацікавленими сторонами (громадськими організаціями, науковими установами тощо). Втім, робота групи насампе-

ред орієнтована на енергоменеджмент та не враховує ширших питань зміни клімату повною мірою.

Стандартною складовою деяких планів, які містять аспект адаптації, є оцінка вразливості до зміни клімату, яка переважно виконувалась на основі методики О. Шевченко та ін. (2015). Втім, жоден із планів не розглядає конкретні цілі щодо адаптації та не містить результатів аналізу вразливості окремих об'єктів чи соціальних груп до зміни клімату, окрім узагальнених тверджень.

Варто вказати на значно докладніше опрацювання питань пом'якшення зміни клімату з розглядом заходів у кожному секторі та побічний розгляд заходів з адаптації до зміни клімату, для впровадження яких переважно не передбачено бюджетних коштів та нечітко сформульовані плани (наприклад, див. Білоцерківська міська рада, 2016), а також на дуже обмежену увагу до «м'яких» (природоорієнтованих) заходів. Винятками у цьому випадку є окремі плани, розроблені в рамках проекту USAID, де групами експертів було здійснено докладніше опрацювання вразливості до зміни клімату (наприклад див. Білгород-Дністровська міська рада, 2017). Втім, бюджет програми становить лише 0.00045% від загального бюджету, а самі заходи переважно спрямовані на загальні теми економії енергоресурсів та залучення населення до озеленення (Dubois et al. 2019).

В окремих планах міст згадано про взаємозв'язок між пом'якшенням та адаптацією, однак цей аспект переважно обмежується шаблонним твердженням, а самі переліки заходів щодо адаптації до зміни клімату часто повторюються у різних планах без суттєвих відмінностей від шаблону.

У рамках постановки цілей мінімальні вимоги Угоди мерів часто розглядались як максимальний рівень амбіцій, що стало обмежуючим чинником для виявлення ширшого спектру актуальних заходів, а також можливих синергій та супутніх вигід. Навіть у планах, які містять компонент адаптації, наявне суттєве зміщення балансу в напрямі до пом'якшення зміни клімату. Також під час аналізу визначених заходів було виявлено суттєвий пріоритет інфраструктурних і технологічних рішень. Вузкість спектру заходів і низький рівень звітності за досягнутими результатами в рамках обмежених інституційних спроможностей можуть стримувати потенціал міст у цій сфері та обмежувати спектр доступних для розвитку шляхів.

Фокусування дискурсу щодо зміни клімату в містах на питаннях енергетики, підтримуване Угодою мерів, з одного боку, дає можливість стимулювати критично важливі дії щодо стримування зміни клімату, але з іншого боку, може стримувати інновації, альтернативні рішення та амбітніші позиції за межами усталеного дискурсу. Тобто можна спостерігати формування так званої «залежності від шляху» з ігноруванням суттєвих впливів, ризиків, можливостей та загроз (Seto et al., 2016). В той час як селективне врахування секторів під час планування дає можливість містам чітко окреслити межі впли-

ву та інтересів місцевих органів влади, це також створює можливість неврахування вагомої частки викидів парникових газів, які продукуються на території міста.

У таких умовах місто може умовно досягти вуглецевої нейтральності (відносно викидів, врахованих у кадастрі), однак продовжувати продукувати значні обсяги викидів парникових газів, які місцеві органи влади не враховують як такі, що їх стосуються, оскільки це не було вписано в базовий кадастр. Також варто врахувати, що в той час, як гнучкість у визначенні базового року є значущою у рамках обмеженої інформації, це суттєво звужує можливості для порівняння та спільних цілей, що є особливо важливим в контексті міжнародної співпраці для досягнення цілей сталого розвитку.

Нами здійснено SWOT-аналіз планів і звітності міст, який дав змогу структурувати спостереження:

- переваги: (П1) досвід щодо зменшення викидів в окремих секторах; (П2) нові агенти змін (науковці, активісти, громадські організації); (П3) нішеві інновації, які виходять за межі статус-кво;
- недоліки: (Н1) фрагментарність і неточність бази даних Угоди мерів; (Н2) пріоритетність технологічних заходів, мінімальне представлення адаптації та природоорієнтованих заходів; (Н3) формалістичне використання шаблону під час планування заходів і розгляді очікуваних вигід; (Н4) відсутність зусиль, спрямованих на адаптивність, трансформаційність і стійкість; (Н5) надмірно спрощене представлення рішень з урахуванням вузького спектру їх наслідків;
- загрози: (З1) перспектива залежності від шляху мінімальних зусиль; (З2) якість виконання, амбітність цілей, урахування чи виключення окремих питань та інші аспекти підготовки більше залежать від консультанта, ніж від пріоритетів міста; (З3) фокусування на інкрементальних досягненнях без достатньої рефлексії та системного усунення прогалин і викликів;
- можливості: (М1) розвиток мереж співпраці, які сприяють поглибленню уваги до питань зміни клімату на місцевому рівні, взаємному навчанню та розширенню спектра рішень; (М2) активніша участь у глобальних ініціативах звітності щодо зміни клімату, що дасть змогу вийти за межі поточного шаблону та порівняти досягнення з містами-лідерами; (М3) суттєвий потенціал для покращення вертикальної і горизонтальної інтеграції планів та заходів щодо зміни клімату; (М4) узгодження кліматичних цілей з іншими цілями сталого розвитку.

У контексті подальших еколого-економічних досліджень, спрямованих на підтримку і вдосконалення дій щодо зміни клімату в містах у рамках парадигми трансформаційної сталості, необхідними є: (1) дослідження можливостей залучення науковців до процесів формування екологічної політики

у сфері зміни клімату; (2) вивчення можливостей залучення різних суб'єктів екологічної політики у сфері зміни клімату до процесу на місцевому рівні; (3) врахування нормативних аспектів досліджень та впливу цінностей і поглядів дослідників на процес дослідження. Також потрібно розвивати компетенції та ролі науковців і осіб, які приймають рішення, в контексті залучення до пом'якшення зміни клімату та адаптації до неї в містах.

Висновок. Поточний внесок міст України в пом'якшення зміни клімату та адаптацію до неї є дуже обмеженим в контексті досягнутих знижень викидів парникових газів і ширшого внеску в інституціоналізацію кліматичних питань на місцевому рівні. Вплив Угоди мерів є неоднозначним. Приєднання до мережі Угоди мерів, а також наявність керівництва та шаблонів для підготовки плану дій дали можливість багатьом містам долучитись до глобальних дій у цій сфері, проаналізувати ситуацію, визначити цілі і розробити заходи, спрямовані на зменшення викидів парникових газів та адаптацію до зміни клімату. Участь у глобальній мережі розкрила можливості для обміну досвідом і врахування найкращих світових практик. Водночас, наявні недоліки дій щодо зміни клімату в такому форматі актуалізують необхідність виходу за межі усталених практик. Управління міськими територіями в умовах зміни клімату потребує суттєвих змін для забезпечення значущого внеску в досягнення міжнародних кліматичних цілей.

Список літератури

- Балабух, В. (2013). *Поточна та очікувана зміна клімату, її впливи та наслідки на території України, Закарпаття та Рахівського району*. Проект LOC-CLIM-ACT: місцеві дії щодо впливу кліматичних змін. HUSKROUA/1001/079. Український гідрометеорологічний інститут. [Balabukh, V. (2013). *Present and expected climate change, its impacts and outcomes on the territory of Ukraine, Zakapratia and Rakhiv district*. LOC-CLIM-ACT project: local action on climate change. Ukrainian Hydrometeorological Institute (in Ukrainian)]. Retrieved from https://ucn.org.ua/wp-content/uploads/2013/07/resume_climatechange_ukr.pdf
- Бердичівська міська рада (2015). *План дій зі сталого енергетичного розвитку міста Бердичева до 2030 року*. Рішення від 18.08.2015 № 1136. [Berdychiv City Council (2015). *Berdychiv City Sustainable Energy Action Plan 2030*. Decision form 18.08.2015 № 1136 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/20751_1443009447.pdf
- Білгород-Дністровська міська рада (2017). *План дій зі сталого енергетичного розвитку і клімату до 2030 року міста Білгород-Дністровський*. Проект USAID «Муніципальна енергетична реформа в Україні». [Bilhorod-Dnistrovsk City Council (2017). *Bilhorod-Dnistrovsk City Sustainable Energy Action Plan*. «Municipal Energy Reform in Ukraine» (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/22378_1505919375.pdf
- Білоцерківська міська рада (2016). *План дій зі сталого енергетичного розвитку та клімату м. Біла Церква на 2017-2030 роки*. Агенція стратегічного розвитку Білої Церкви. [Bila Tserkva City Council (2016). *Bila Tserkva City Sustainable Energy Action Plan and Climate for 2017-2030* «Bila Tserkva Strategic Development Agency» (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/22240_1487852090.pdf
- Бойченко, С.Г., Карамушка, В.І., Тищенко, О.В., Мохнач, Р.Ю. (2017). Екологічні загрози для біорізноманіття в Києві від зміни клімату. *Доповіді Національної академії наук України*, 12, 104-111. [Boychenko, S.G., Karamushka, V.I., Tishchenko, O.V., & Mokhnach, R.Yu. (2017). Environmental threats to biodiversity in Kyiv from climate change. *Reports of the National Academy of Sciences of Ukraine*, 12, 104-111 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/129634>
- ВРУ (1996). Закон України «Про ратифікацію Рамкової конвенції ООН про зміну клімату» № 435/96-ВР. *Відомості Верховної Ради України (ВВР)*, 1996, № 50, ст. 277. [VRU (1996). Law of Ukraine «On ratification of the UN Framework Convention on Climate Change» № 435/96-VR. *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine (VVR)*, 1996 № 50, 277 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/435/96-%D0%B2%D1%80#Text>
- ВРУ (2016). Закон України «Про ратифікацію Паризької угоди» 1469-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2016, № 35, ст. 595 [VRU (2016). Law of Ukraine «On ratification of the Paris Agreement» № 1469-VIII *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine (VVR)*, 2016, (35), 595 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1469-19#Text>
- ВРУ (2019). Закон України «Про Основні засади (стратегію) державної екологічної політики України на період до 2030 року», 2697-VIII. *Відомості Верховної Ради (ВВР)*, 2019, 16 (70). [VRU (2016). Law of Ukraine «On the key foundations (strategy) of the state environmental Politics of Ukraine until 2030» 2697-VIII *Bulletin of Verkhovna Rada of Ukraine (VVR)*, 2016, 16 (70) (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2697-19#Text>
- Голубцов, О., Біатов, А., Селіверстов, О., Садогурська, С. (2019). Вода близько: підвищення рівня моря в Україні внаслідок зміни клімату. *Екодія*. [Holubstov, O., Biatov, A., Silvestrov, O., & Sadohurska, S. (2019). The water is near: the rise of sea level in Ukraine as the result of climate change. *Ecoaction* (in Ukrainian)]. Retrieved from https://ecoaction.org.ua/wp-content/uploads/2018/11/sea_2018ua_c.pdf
- Демчина, М. (2019, 13 вересня). На Lviv Eco Forum-2019 представили перші успішні кроки переходу України на 100% відновлення джерел

- енергії. Львівська міська рада. [Demchyna, M. (2019, September 13th). First successful steps of Ukraine's transition to 100% renewable energy sources have been presented at the Lviv Eco Forum-2019». Lviv City Council. (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://city-adm.lviv.ua/news/science-and-health/ecology/269797-na-lviv-eco-forum-2019-predstavyly-pershi-uspishni-kroky-perekhodu-ukrainy-na-100protsent-vidnovlennia-dzherel-enerhii>
- КМУ (2015). Розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Очікуваного національно визначеного внеску України до проекту нової глобальної кліматичної угоди» від 16.09.2015 № 980-р 2016 [CMU (2015). Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approving the Nationally Determined Contribution of Ukraine to the project of the new climate agreement» from 16.09.2015 № 980-p 2016 (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/980-2015-%D1%80#Text>
- КМУ (2016). Розпорядження Кабінету Міністрів України про схвалення «Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року» від 7 грудня 2016 р. № 932-р. *Урядовий портал*. [CMU (2015). Decree of the Cabinet of Ministers of Ukraine on approving «The concept for realisation for state policy on climate change until 2030» from December 7, 2016. № 932-p. *Government Portal* (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://www.kmu.gov.ua/npas/249573705>
- КМУ (2017). Про затвердження плану заходів щодо виконання Концепції реалізації державної політики у сфері зміни клімату на період до 2030 року від 6 грудня 2017 р. № 878-р. [CMU (2015) On approving the plan of measures for the implementation of the state policy on climate change until 2030» from December, 6, № 878-p (in Ukrainian)]. Retrieved from <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/878-2017-%D1%80#Text>
- Конотопська міська рада (2014). *План дій сталого енергетичного розвитку міста Конотоп на період до 2020 року*. Угода мерів. [Konotop City Council (2014). Konotop City Sustainable Energy Action Plan until 2020. Covenant of Mayors (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/3014_1394185849.pdf
- Львівська міська рада (2011). *Програма сталого енергетичного розвитку міста Львова до 2020 року*. Рішення № 663 від 14.07.2011 року. Угода мерів. [Lviv City Council (2011). Lviv City Sustainable Energy Action Plan until 2020. Decision №663 of 14.07.2011. Covenant of Mayors (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/docs/seap/326_1322040227.pdf
- НЕЦУ (2019). Sustainable energy positive and zero carbon communities. Retrieved from <https://necu.org.ua/proyekty/sparcs/>
- Нікопольська міська рада (2015). *План дій сталого енергетичного розвитку міста Нікополь на період до 2020 року*. Угода мерів. [Nikopol City Council (2015). Nikopol City Sustainable Energy Action Plan until 2020. Covenant of Mayors (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/8/HTbwwgJTicqilT-awS0i9TQoHRWJZoSG.pdf
- Одеська обласна рада (2017). *План заходів із реалізації у 2018-2020 роках Стратегії економічного та соціального розвитку Одеської області до 2020 року*. [Odessa Regional Council (2017). Action plan for the implementation in 2018-2020 of the Strategy of economic and social development of Odessa region until 2020 (in Ukrainian)]. Retrieved from <http://oda.odessa.gov.ua/>
- Рябика, М., Зозуля, А., Радь, Т. (2020). Кліматичні цілі Львова: гайд для обраних до міської ради. ПЛІАТО. [Ryabika, M., Zozulya, A., & Rad, T. (2020). Climatic goals of Lviv: a guide for those elected to the city council. PLATO]. Retrieved from <https://plato.lviv.ua/wp-content/uploads/2020/09/klimatychni-czili-lvova-plato-internet-1.pdf>
- Харківська міська рада (2017). *План дій зі сталого енергетичного розвитку міста Харкова до 2030 року*. [Kharkiv City Council (2017). Kharkiv City Sustainable Energy Action Plan until 2030 (in Ukrainian)]. Retrieved from https://mycovenant.eumayors.eu/storage/web/mc_covenant/documents/8/mdcYha4r2CXcbtQYds-_J6q71ImJkGLf.pdf
- Шевченко, О., Власюк, О., Ставчук, І., Ваколюк, М., Ілляш, О., Рожкова, А. (2015). *Оцінка вразливості до зміни клімату: Україна*. Кліматичний форум східного партнерства та Робоча група громадських організацій зі зміни клімату [Shevchenko, O., Vlasjuk, O., Stavchuk, I., Vakoliuk, M., Illiash, O & Rozhkova, A. (2015). Vulnerability assessment and climate change adaptation measures (in Ukrainian)]. Retrieved from https://necu.org.ua/wp-content/uploads/ukraine_cc_vulnerability.pdf
- Шевченко, О., Сніжко, С. (2020). Зміна клімату та українські міста: прояви та проєкції до кінця XXI століття на основі RCP-сценаріїв. *Вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. Географія*, 2 (756), 11-18. [Shevchenko, O., & Snizhko, S. (2020). Climate change and Ukrainian cities: manifestations and projections until the end of the 21st century based on RCP-scenarios. *Bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv*, 2 (756), 11-18 (in Ukrainian)]. <https://doi.org/10.17721/1728-2721.2019.75.2>
- Abson, D.J., Fischer, J., Leventon, J., Newig, J., Schomerus, T., Vilsmaier, U., ... & Lang, D.J. (2017). Leverage points for sustainability transformation. *Ambio*, 46 (1), 30-39. <https://doi.org/10.1007/s13280-016-0800-y>
- Agyeman, J. (2008). Toward a 'just' sustainability?. *Continuum*, 22 (6), 751-756. <https://doi.org/10.1080/10304310802452487>
- Bertoldi et al. (2018). *Guidebook 'How to develop a Sustainable Energy and Climate Action Plan (SECAP) – Part 1 – The SECAP process, step-by-*

- step towards low carbon and climate resilient cities by 2030, EUR 29412 EN, Publications Office of the European Union, Luxembourg, 2018, ISBN 978-92-79-96847-1, doi:10.2760/223399, JRC112986
- Boda, C.S., & Faran, T. (2018). Paradigm found immanent critique to tackle interdisciplinarity and normativity in science for sustainable development. *Sustainability*, 10 (10), 3805. <https://doi.org/10.3390/su10103805>
- Bugliarello, G. (2006). Urban sustainability: Dilemmas, challenges and paradigms. *Technology in society*, 28 (1-2), 19-26. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2005.10.018>
- Cohen, M. (2017). A systematic review of urban sustainability assessment literature. *Sustainability*, 9 (11), 2048. <https://doi.org/10.3390/su9112048>
- Du Plessis, C., & Brandon, P. (2015). An ecological worldview as basis for a regenerative sustainability paradigm for the built environment. *Journal of Cleaner Production*, 109, 53-61. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2014.09.098>
- Dubois, G., Sovacool, B., Aall, C., Nilsson, M., Barbier, C., Herrmann, A., ... & Dorner, F. (2019). It starts at home? Climate policies targeting household consumption and behavioral decisions are key to low-carbon futures. *Energy Research & Social Science*, 52, 144-158. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2019.02.001>
- Fedele, G., Donatti, C.I., Harvey, C.A., Hannah, L., & Hole, D.G. (2019). Transformative adaptation to climate change for sustainable social-ecological systems. *Environmental Science & Policy*, 101, 116-125. <https://doi.org/10.1016/j.envsci.2019.07.001>
- Grafakos, S., Viero, G., Reckien, D., Trigg, K., Viguie, V., Sudmant, A., ... & Carter, J. (2020). Integration of mitigation and adaptation in urban climate change action plans in Europe: A systematic assessment. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 121, 109623. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2019.109623>
- Guyadeen, D., Thistlethwaite, J., & Henstra, D. (2019). Evaluating the quality of municipal climate change plans in Canada. *Climatic Change*, 152 (1), 121-143. <https://doi.org/10.1007/s10584-018-2312-1>
- Harrison, P.A., Jäger, J., Frantzeskaki, N., & Berry, P. (2019). Understanding high-end climate change: from impacts to co-creating integrated and transformative solutions. *Regional Environmental Change*, 19, 621-627. <https://doi.org/10.1007/s10113-019-01477-9>
- Hermwille, L. (2016). Climate change as a transformation challenge. A new climate policy paradigm?. *GAIA-Ecological Perspectives for Science and Society*, 25 (1), 19-22. <https://d-nb.info/1104204509/34>
- James, P. (2017). Alternative paradigms for sustainability: Decentring the human without becoming posthuman. In *Reimagining sustainability in precarious times* (pp. 29-44). Springer: Singapore. https://doi.org/10.1007/978-981-10-2550-1_3
- Jong, M., Joss, S., Schraven, D., Zhan, C., Weijnen, M. (2015) Sustainable-smart-resilient-low carbon-eco-knowledge cities; making sense of a multitude of concepts promoting sustainable urbanization. *Journal of Cleaner Production* 109, 25-38. Retrieved from doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.004 <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2015.02.004>
- Klaassen, G.A., & Opschoor, J.B. (1991). Economics of sustainability or the sustainability of economics: different paradigms. *Ecological economics*, 4 (2), 93-115. <http://pure.iiasa.ac.at/12758>
- Nightingale, A.J., Eriksen, S., Taylor, M., Forsyth, T., Pelling, M., Newsham, A., ... & Whitfield, S. (2020). Beyond Technical Fixes: climate solutions and the great derangement. *Climate and Development*, 12 (4), 343-352. <https://doi.org/10.1080/17565529.2019.1624495>
- O'Brien, K.L. (2016). Climate change and social transformations: is it time for a quantum leap?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, 7 (5), 618-626. <https://doi.org/10.1002/wcc.413>
- Olazabal, M., Galarraga, I., Ford, J., Sainz De Murieta, E., & Lesnikowski, A. (2019). Are local climate adaptation policies credible? A conceptual and operational assessment framework. *International Journal of Urban Sustainable Development*, 11 (3), 277-296. <https://doi.org/10.1080/19463138.2019.1583234>
- Palutikof, J.P., Street, R.B., & Gardiner, E.P. (2019). Decision support platforms for climate change adaptation: an overview and introduction. *Climatic Change*, 153 (4), 459-476. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02445-2>
- Pelenc, J., & Ballet, J. (2015). Strong sustainability, critical natural capital and the capability approach. *Ecological economics*, 112, 36-44. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.02.006>
- Rose, J., & Cachelin, A. (2018). Critical sustainability: incorporating critical theories into contested sustainabilities. *Journal of Environmental Studies and Sciences*, 8 (4), 518-525. <https://doi.org/10.1007/s13412-018-0502-9>
- Seto, K.C., Davis, S.J., Mitchell, R.B., Stokes, E.C., Unruh, G., & Ürge-Vorsatz, D. (2016). Carbon Lock-In: Types, Causes, and Policy Implications. *Annual Review of Environment and Resources*, 41 (1), 425-452. <https://doi.org/10.1146/annurev-environ-110615-085934>
- Spash, C.L. (2020). A tale of three paradigms: Realising the revolutionary potential of ecological economics. *Ecological Economics*, 169, 106518. <https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2019.106518>
- Thornton, T.F., Mangalagiu, D., Ma, Y., Lan, J., Yazar, M., Saysel, A.K., & Chaar, A.M. (2019). Cultural models of and for urban sustainability: assessing beliefs about Green-Win. *Climatic Change*, 1-17. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02518-2>

Zagonari, F. (2019). Responsibility, inequality, efficiency, and equity in four sustainability paradigms: insights for the global environment from a cross-development analytical model. *Environment, Development and Sustainability*, 21 (6), 2733-2772. <https://linkhttps://doi.org/10.1007/s10668-018-0159-2.springer.com/article/10.1007/s10668-018-0159-2#citeas>

Ecological-social-economic analysis of urban climate governance based on climate plans and reports of Ukraine's cities of regional significance

V. Soloviy¹, I. Dubovich²

Ukraine is facing accelerating climate change, yet national climate policy doesn't live up to the urgency of climate challenges. In times when state-driven climate action fails to deliver, cities emerge as hotspots of vulnerability and islands of hope for preserving a liveable climate. In this article, we conduct a critical interdisciplinary analysis of how 78 large Ukrainian cities that are signatories to the Global Covenant of Mayors for Climate & Energy perform on their climate commitments and governance, as well as on the sustainability paradigms they adhere to. As a theoretical lens of the study we employ the classification of urban sustainability paradigms: weak, strong, critical and transformative. We view those paradigms across three analytical levels of (philosophical-ethical, theoretical-methodological and empirical), using this as a qualitative reference for further analysis. Within each paradigm, we provide a review of key concepts and approaches that relate to and reflect each of the paradigms.

Our analysis suggests that most cities fall into the weak sustainability paradigm and adhere to approaches and tools that are not fit to the unique challenges of climate change. All of the presently available plans are built upon standard theory and methods of neoclassical economics. Thus, they do not manage to recognize the uniqueness of climate change. Most of them lack legitimacy and are insufficiently ambitious in their intended contribution to the Paris targets while approaching the planning process in a purely

formalistic fashion. They seldom achieve defined goals and prioritize overly narrow range of technical measures without considering prospective co-benefits of other options, do not conduct any meaningful actions for adaptation and provide fragmented reports, which allow judging on progress made only in select cases. A number of positive trends should however be noted, such as the emergence of niche innovations, the development of collaborative networks and accumulation of mitigation experience in particular sectors. We develop a new analytical tool to assess the effectiveness of urban climate governance based on city plans, reporting and data. It includes three groups criteria (analysis, organizational capacity and implementation) and ten sub-criteria (awareness, vulnerability, inventory, vision and goals, coordination, participation resourcefulness, achievements, reporting and evaluation, and communication). Consistently applying those criteria allows to holistically grasp and assess the effectiveness of the present governance system throughout all its phases. The article concludes with suggestions on moving beyond the current status quo of weak sustainability and towards a strong sustainability paradigm through a set of strategic, operational and tactical measures, including coverage of such aspects as: updating climate change narratives; extending state support to urban climate action; extending capacities of scientists and decision-makers considering the unique challenges of the Anthropocene; assessing both consumption and production-based emissions; updating decision-making criteria to effectively integrate a wide range of co-benefits of climate action; advancing research on nature-based climate solutions and the role of civil society; greater consideration of interconnections between climate targets and sustainability goals; consideration of various stakeholder perspectives, including vulnerable groups and others who are often left excluded from such processes. At the present moment it is important to invest in institutional capacity building and social learning, build effective cross-level collaborations, seek support from international financial institutions and guidance from the transnational municipal climate networks.

Key words: sustainable urban development; good governance; ecological economics; Paris agreement; adaptation.

¹ Vitaliy Soloviy – Researcher, Academic and Research Unit, Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka str. 103, Lviv 79057, Ukraine. Email: vitsoloviy@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4216-3735>

² Ion Dubovich – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Geography, Specialist in International Law, Associate Professor, Head of the Department for Ecological Economics, Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka str. 103, Lviv 79057, Ukraine. Email: iondubovici@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>

Эколого-социо-экономический анализ управления городскими территориями в условиях изменения климата: на примере городов областного значения Украины

В. И. Соловий¹, И. А. Дубович²

Изменение климата на территории Украины быстро прогрессирует, но национальная экологическая политика пока не отвечает неотложности климатических вызовов. В этом контексте особую актуальность приобретает роль городов, вследствие их уязвимости к изменению климата и потенциалу для генерирования климатических решений. На основе анализа 78 планов городов областного значения Украины, которые являются участниками Глобального Соглашения мэров по климату и энергии, приведены критический междисциплинарный анализ выполнения го-

родами своих обязательств и целей по уменьшению выбросов, эффективности управления городскими территориями в условиях изменения климата, а также парадигм, в рамках которых разворачивается экологическая политика по изменению климата на местном уровне. Выявлено, что большинство городов работают в рамках парадигмы слабой устойчивости, применяют подходы, которые не соответствуют особенностям вызовов изменения климата и не выполняют поставленных целей. Распространен сугубо формалистический подход к использованию шаблонов для планирования, декларативное отношение к вопросам адаптации и фрагментарная отчетность. Предпочтение отдается узкому спектру решений, а сопутствующие выгоды мероприятий почти не рассматриваются. В то же время, имеются положительные тенденции, такие как возникновение нишевых инноваций, развитие сетей и накопления опыта в отдельных секторах. Разработана методика оценки эффективности управления городскими территориями в условиях изменений климата и с ее помощью осуществлена оценка трех городов областного значения: Львова, Харькова и Одессы. На основе проведенного анализа и результатов оценки, предложены стратегические, оперативные и тактические рекомендации по переходу от слабой до трансформационной парадигмы устойчивости, как предпосылки эффективного управления городскими территориями в условиях изменения климата.

Ключевые слова: устойчивое развитие города; эффективное управление; экологическая экономика; Парижское соглашение; адаптация.

¹ Соловий Виталий Игоревич – научный сотрудник, научно-исследовательская часть кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. Генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. E-mail: vitsoloviy@yahoo.com ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4216-3735>

² 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. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3719-7957>

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/10.15421/412037>
Article received 2020.01.20
Article accepted 2020.12.28

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author

Taş, İnanç
inanc.tas@btu.edu.tr
Bursa Technical University, 16310 Bursa, Turkey

UDC 630.43 :630*524.6

Examining the Road Networks and Locations of Firefighting Teams by Using GIS Techniques

İ. Taş¹, A. E. Akay²

For effective response to forest fires, the period of time necessary for the firefighting team to reach the fire site should not exceed the critical response time, where the fire is more likely to be taken under control. For this reason, the optimum route that allows the team to reach the fire site by a fire truck within the shortest time possible should be determined. Computer-aided methods such as the road network analysis are widely used in the solution of such transportation problems that require the shortest path analysis. In this study, the locations of the existing road networks and firefighting team were examined using GIS techniques in order to determine the optimum route that will provide the promptest access to the fire site. The study was carried out in the Adana Forest Enterprise Directorate, where first degree fire-sensitive forests are located. There are three firefighting teams located in the boundaries of the study area. The sites in the study area where previously occurred forest fires (15), which burned 1 ha or more forest areas, were evaluated as potential fire sites. The analysis results showed that 64,12% of the forest areas in the study area was reached by the firefighting teams within 20 minutes, which is the critical response time for first degree fire sensitive forests. It was found that the teams could reach 12 potential fire sites within the critical response time. This result revealed the necessity to establish new firefighting teams in the study area. In addition, it is thought that improving the road network density in the study area by building new roads or increasing the truck travel speed by improving the conditions of existing roads will help to solve the problem.

Key words: Forest fire; Optimum route; Shortest path; Network analysis; Fire access road; Fire trucks; Travel speed; Critical response time; Adana; Turkey.

Introduction. The number of forest fires, as one of the main source of forest destructions, have increased in many regions of the world, as well as in the Mediterranean countries (Littell, Peterson, Riley, Liu,

& Luce, 2016; Bathrellos, Skilodimou, Chousianitis, Youssef, & Pradhan, 2017). In Turkey, 5.5 million hectares of forests along the coastline starting from Kahramanmaraş to the Marmara region in the east

¹ Taş, İnanç, MSc., Ph.D. Student, Res. Assist., Bursa Technical University, Faculty of Forestry, 16310 Bursa, Turkey. Tel: +90 224 3003430 E-mail: inanc.tas@btu.edu.tr

² Akay, Abdullah E., Ph.D., Professor, Bursa Technical University, Faculty of Forestry, 16310, Bursa, Turkey. Tel: +90 224 3003426 E-mail: abdullah.akay@btu.edu.tr

of the Mediterranean region are fire sensitive at the first degree (Akay, Wing, Zengin, & Köse, 2017). In order to combat forest fires effectively, fire must be suppressed as soon as possible. For this reason, it is of great importance to identify detect and locate forest fires as soon as they start and to report them to the firefighting teams without delay (Akay, Karaş, & Kahraman, 2018).

In order to combat forest fires effectively, the time to reach the fire site, especially in the first degree fire sensitive forest areas, should not exceed the critical response time in which the fire is more likely to be brought under control. For this reason, the firefighting teams should be placed in a suitable location from which most of forest area can be reached in critical response time (Sakar, 2010). After the fire alarm is received, the optimum route that allows the firefighting team to reach the fire site in the shortest time should be determined as soon as possible.

Considering some restrictive factors, computer-aided methods (e.g. network analysis, linear programming, dynamic programming, heuristic methods) are used in the solution of such problems, which searches for the optimum route with the shortest transportation time among alternatives (Sun, Lang, & Wang, 2015; Liu & Chen, 2016; Seyedhosseini, Makui, Shahanaghi, & Torkestani, 2016). Network analysis method is widely used in the solution of transportation problems aimed at determining the optimum route (Hashemi, Karimi, & Tavarna, 2015; Chiang, Chen, & Ho, 2016). Developments in computer technology and Geographic Information Systems (GIS) allow the use of modules based on the network analysis method of GIS software to solve transportation problems (Ford, Barr, Dawson, & James, 2015; Gheshlaghi, 2019; Yıldırım & Bediroğlu, 2019; Das, Ojha, Kramsapi, Baruah, & Dutta, 2019).

The fire sensitivity rate of a zone is determined based on the number of fires in that zone, the ratio of the burning area to the forest area of the forest enterprise and the fire constant (Erdoğan, 2019). In order to combat forest fires effectively, the concept of fire sensitivity has been developed to rank the sensitivity of the forest enterprise and to show the status of a forest enterprise with a known sensitivity rate compared to other forest enterprises. The most important factor in determining the degree of sensitivity is the archive information about the forest fires that occur (Küçük & Ünal, 2005).

The degree of fire sensitivity, which represents enterprises with a certain degree of sensitivity, actually constitutes the fire sensitivity class. The degree of fire sensitivity varies according to the size of burning area and the number of fires per unit area. As the number of annual fires in the burning area and unit area decreases, the sensitivity decreases, and as it increases, the sensitivity to the fire increases (Akay et al., 2017). Fire constant values are used to determine the fire sensitivity levels of the forest enterprises. Figure 1 shows the fire sensitivity map of the forest enterprise directorates in Turkey.

In order to effectively fight forest fires, the firefighting team must reach the fire site within the critical response time. Table 1 indicates the critical response times according to the degree of fire sensitivity (GDF, 2008). For effective fight against forest fires, the arrival time of the firefighting team should not exceed these time limitations. In this study, the locations of the existing road networks and the firefighting team in a sample forest enterprise were evaluated using GIS techniques in order to determine the optimum route that will provide the fastest access to the fire site.

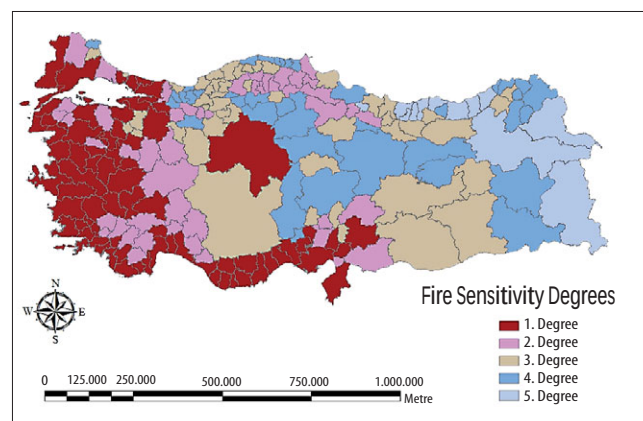


Fig. 1. The fire sensitivity degrees of Forest Enterprise Directorates in Turkey

Table 1

Critical response times (minutes) to fire sensitivity ratings

	Fire Sensitivity Degrees				
	I	II	III	IV	V
Response Time	20	30	40	50	50

Material and Methods. 1. Study Area. The study was carried out within the boundaries of the Adana Forestry Regional Directorate (FRD), Adana Forestry Enterprise Directorate (FED), Sarıçam Enterprise Chief (FEC) (Fig. 2). The tree species that dominate the area are Brutian pine, Stone pine and other coniferous species. The area of the Sarıçam FEC is approximately 70,000 hectares, and approximately 9,000 hectares are covered with forests. There are three firefighting teams within the boundaries of the study area. The sites in the study area where previously occurred forest fires (15), which burned 1 ha or more forest areas, were evaluated as fire-prone sites.

2. GIS Database. Within the scope of the study, GIS database was produced to apply GIS techniques in ArcGIS 10.4 program. To generate this database, road network map, forest stand map and location information about potential forest fires and firefighting teams were used (Fig. 3). Information about the fires that occurred at the working area boundaries and where the burned area is 1 ha and above is given in Tab. 2. A data layer showing forest areas was produced using the stand map

to evaluate the transportation of the firefighting teams to the forest areas in the study area.



Fig. 2. The map of the study area

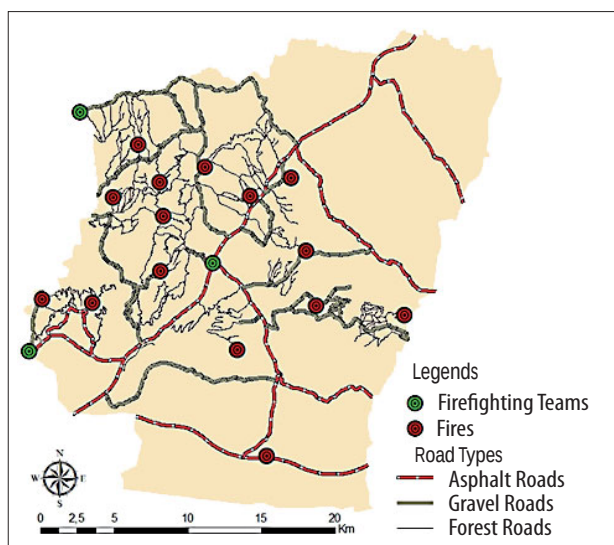


Fig. 3. Road network, firefighting teams and fire locations in the study area

3. Network Analysis. Network analysis method is widely used in the solution of transportation problems requiring the optimum route (Chiang et al., 2016). In the network analysis method, links (arc) and nodes where the links intersect form a network system. In order to determine the optimum route that provides access to the fire site in the shortest time possible, the average transportation time of fire truck to be spent on each road section was determined. Transportation time

was calculated based on the length of the road and the average speed of the fire truck. The average vehicle speed varies depending on the type of road (asphalt, gravel, forest road) and condition (good, average, poor). The average vehicle speed assigned for each road section according to the type and condition of the road is given in Tab. 3 (Bilici, 2009).

Table 2
Information on forest fires (≥ 1 ha) within the study area (2009-2019)

Fire No.	Date	Cause	Burned Area (ha)	YIL
1	24.07.2009	Stubble	1.0	2009
2	11.08.2009	Stubble	1.0	
3	21.08.2009	Stubble	2.0	
4	19.10.2009	Stubble	10.5	
5	22.09.2011	Other Fire Use	1.8	2011
6	1.10.2011	Other Fire Use	1.3	
7	12.11.2011	Shepherd's Fire	1.0	
8	10.06.2013	Stubble	1.0	2013
9	11.07.2013	Stubble	2.0	
10	11.07.2013	Piece of broken glass	20	
11	11.07.2013	Unknown	1.6	
12	29.05.2014	Machine burning accident	1.5	2014
13	15.08.2015	People	2.5	2015
14	17.10.2016	Unknown	2.9	2016
15	5.10.2017	Unknown	1.03	2017

Table 3
Average vehicle speeds for road type and road condition (km/hr)

Road Types	Road Condition		
	Good	Average	Poor
Asphalt	60	50	40
Gravel	50	40	30
Forest Road	30	25	20

Finally, the transportation time for each section was calculated using Equation 1. Thus, attribute fields with length (km), road type, road condition, vehicle speed (km/hr) and travel time (minutes) are generated in Attributes Table of the road data layer.

$$t_i = \frac{l_i}{v_i} 60, \quad (1)$$

t_i – travel time (min)
 l_i – section length (km)
 v_i – vehicle speed (km/hr)

Network Analyst Application. The advances in GIS and computer technology enable the use of network analysis method within GIS software for solving transportation problems (Yıldırım & Bediroğlu, 2019). In this study, Network Analysis (Network Analyst) plugin available in ArcGIS 10.4 program was used to determine the optimum route that will provide the fastest access to a possible fire site from firefighting headquarter.

In order to apply the network analysis method with the Network Analysis plugin, a Personal Geodatabase was first produced in the ArcCatalog module of ArcGIS 10.4 program. Later, Network Data (Network Dataset) was developed by making use of the road network data layer containing the values of the links (travel time) that constitute the road network in the study area. Finally, link (ND_Edges) and node (ND_Junctions) files were produced using Network Dataset.

After completing the Network Data set, the «New Service Area» and «New Closest Facility» methods under the Network Analysis plugin were applied. Firstly, how much of the forest areas on the site can be reached during the critical response period was evaluated by the New Service Area method. In the New Service Area method, which is similar to the Buffer Analysis (Buffer) method, a service point determined on the network system is accepted as the start and the regions within a total link value (access time) determined by the user are determined on the network

system. In this study, with the help of the «New Service Area» method, it is aimed to determine the forest areas that can be reached within 20 minutes, with critical response times for the first degree fire sensitive forests, by centering the locations where the first firefighting teams are located. Using the «New Nearest Facility» method, it was aimed to determine the optimum route between the potential fire areas in the study area and the first firefighting teams. In the study, the first firefighting teams that could reach each fire site as soon as possible were determined. In addition, optimum routes that will allow all the first firefighting teams in the study area to reach each fire site have been determined.

Results and Discussion. 1. GIS Database Results.

According to the results obtained, the total length of the road network in the study area was calculated as 592.00 km. A large part of these roads is forest road (57,57%), followed by gravel road (22,47%) and asphalt paved road (19,96%) (Tab. 4). Considering the condition of road networks in the study area, 65,28% of roads are classified as good, 26,74% as average and 7,98% as poor (Fig. 4). All asphalt paved roads are considered to be in good condition in terms of traffic flow. When the gravel roads are taken into consideration, it is determined that a large part of the roads are in good condition (93%), 5% are in the average and the remaining roads are in poor condition (2%). As to the forest roads, 45% of them are average, 42% – good, and 13% – poor.

Table 4

Length information about roads in the study area

Road Type	Total Length (km)	Length by Road Conditions (km)		
		Good	Average	Poor
Asphalt	118.15	118.15	-	-
Gravel	133.03	124.28	6.10	2.65
Forest Road	340.82	144.02	152.19	44.61
Total	592.00	386.45	158.29	47.26

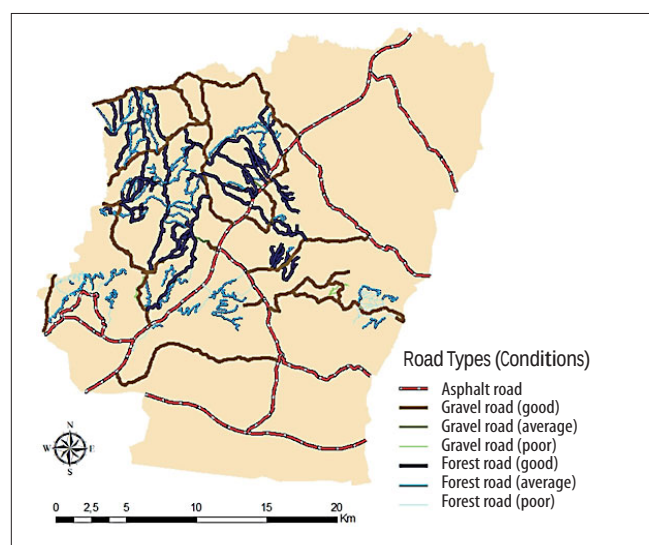


Fig. 4. Road network map of the study area

According to the land use type map developed for the study area, a total of 10 different land use classes have been identified (Fig. 5). It was found that the type of land use with the largest area was agriculture (71,90%) followed by forest areas (16,39%). Burned forest areas, forest soil and forest depots are considered under forest areas, total forest areas were calculated as 17,32% of the total area. The spatial distribution of land use types can be seen in Tab. 5.

Table 5

The areal distribution of land use classes

Land use classes	Alan (%)
1	2
Forest	16.39
Forest Soil	0.47
Water	4.13

Continuation of Table 5

1	2
Settlements	4.31
Forest Depots	0.01
Agricultural	71.90
Burned Areas	0.45
Power Line	0.01
Community Health	2.22
Cemetery	0.11

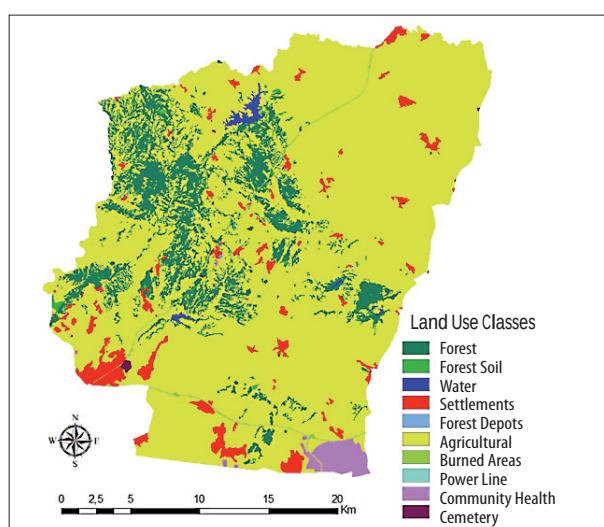


Fig. 5. Land use type map of the study area

2. *Network Analysis Results.* Network analysis application was carried out by using two basic data layers

produced in Network Database. These are data layers; the link data layer (Network_ND_Edges) representing the road sections on the road network and the node data layer (Network_ND_Junction) representing the points where these links intersect (Fig. 6). Using the «New Service Area» method, the locations of the firefighting teams were centered and the forest areas that can be reached in the study area within the critical response times were determined. The study analyzes fire response time for 3 firefighting teams to reach 15 fire sites. Table 6 shows that the firefighting teams were not able to reach all 15 fire sites within the optimal period of time (no more than 20 minutes).

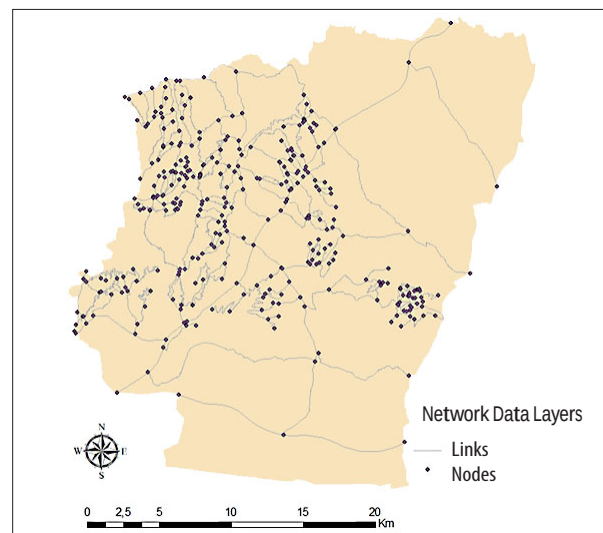


Fig. 6. The link and node data layer in the Network Data Set

Table 6

Fire response time (min) of firefighting teams to reach each fire site

Team Name	Fires														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Y_Ekip_1	23	13	25	10	17	21	10	16	26	23	17	22	8	19	6
Y_Ekip_2	49	38	23	35	28	47	19	32	52	20	43	12	27	44	27
Y_Ekip_3	5	34	31	31	32	42	31	22	47	38	38	39	29	13	27

Since forests are first degree fire sensitive in the study area, areas which firefighting teams can reach on the road network within 0-20 minutes have been identified (Fig. 7). Later, forest areas that could be reached within 0-20 minutes were found. The results showed that 64,11% of forest areas in the study area were reached by fire crews within 20 minutes. The firefighting teams that reach potential fire site in the shortest time were identified by using «New Closest Facility» method. Figure 8 shows the optimum routes that provide access to each fire site in the shortest time. The optimum routes that allow all the firefighting teams in the study area to reach each fire site were determined (Tab. 7). It was found that the teams responded 12 fires within the critical response time (20 minutes) while 3 fires (3, 6 and 9) could not be reached on time (See Tab. 7). The results showed that there is a close relationship between the distance to fire sites, road types, and the transportation time.

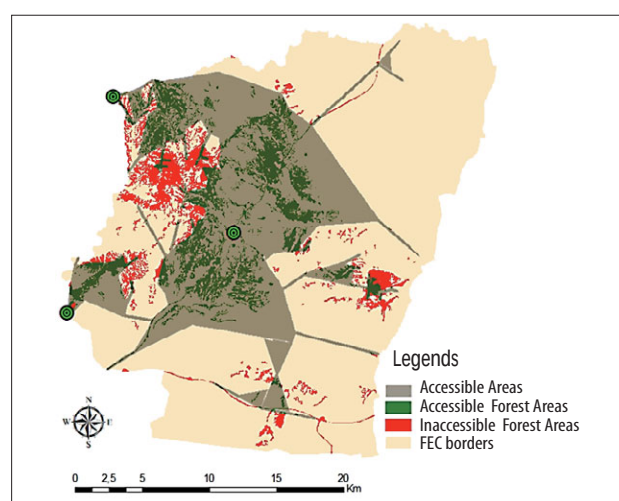


Fig. 7. Accessible and inaccessible areas within the critical response time (20 minutes)

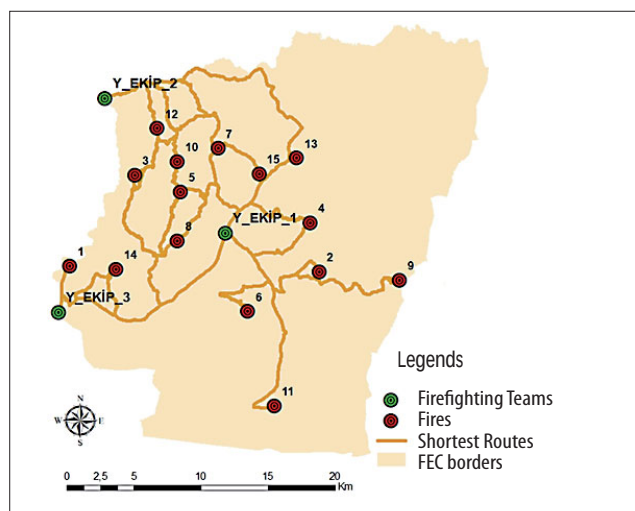


Fig. 8. The shortest routes providing access to each fire site in the shortest time

Table 7

Firefighting teams first reaching the fire sites and their response times (min)

Fire No	Team Name	Response Time (min) (dakika)
1	Y_Ekip_3	5.37
2	Y_Ekip_1	12.58
3	Y_Ekip_2	22.67
4	Y_Ekip_1	9.74
5	Y_Ekip_1	16.57
6	Y_Ekip_1	21.03
7	Y_Ekip_1	10.43
8	Y_Ekip_1	16.37
9	Y_Ekip_1	26.42
10	Y_Ekip_2	19.90
11	Y_Ekip_3	17.38
12	Y_Ekip_2	12.46
13	Y_Ekip_1	8.18
14	Y_Ekip_3	13.38
15	Y_Ekip_1	6.42

Conclusions. In this study, the firefighting teams were evaluated by using GIS techniques in order to determine the optimum route that provides the fastest access to the fire sites. Sarıçam FEC was selected within the borders of Adana FED. The forest areas in the Directorate are classified as first degree fire sensitive forests. Within the scope of the study, three firefighting teams available in the area and 15 fire incidences happened between 2009-2019 that affected 1 ha or more forests were taken into consideration. It

was determined that the existing firefighting teams in the study area could not reach three of the potential fire sites within the critical response time of 20 minutes. In the study, forest areas that the firefighting teams could not reach within the critical response time were also identified. According to the results, it was found that 35,99% of the forest areas could not be reached in 20 minutes. These results reveal the necessity of locating new firefighting teams in addition to the existing firefighting ones. Moreover, it is thought that improving the road network in the study area by building new roads or increasing the travel speed by improving the conditions of existing roads will also contribute to the solution of the problem.

References

- Akay, A.E., Wing, M.G., Zengin, M., & Köse, O. (2017). Determination of fire-access zones along road networks in fire sensitive forests. *Journal of Forestry Research*, 28(3), 557-564. <https://doi.org/10.1007/s11676-016-0283-5>
- Akay, A.E., Karas İ.R., & Kahraman, İ. (2018). Determining The Locations of Potential Firefighting Teams by Using GIS Techniques. *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, 42(4), 83-88. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-4-W9-83-2018>
- Bathrellos, G.D., Skilodimou, H.D., Chousianitis, K., Youssef, A.M., & Pradhan, B. (2017). Suitability estimation for urban development using multi-hazard assessment map. *Science of the Total Environment*, 575, 119-134. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.10.025>
- Bilici, E. (2009). A Study on the Integration of Firebreaks and Fireline with Forest Roads Networks and It's Planning and Construction (A Case Study of Gallipoli National Park). *Istanbul University Faculty of Forestry Journal, Series: A*, 59(2), 85-101.
- Chiang, Y.M., Chen, W.L., & Ho, C.H. (2016). Application of analytic network process and two-dimensional matrix evaluating decision for design strategy. *Computers and Industrial Engineering*, 98, 237-245. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2016.06.005>
- Das, D., Ojha, A.K., Kramsapi, H., Baruah, P.P., & Dutta, M.K. (2019). Road network analysis of Guwahati city using GIS. *SN Applied Sciences*, 906. <https://doi.org/10.1007/s42452-019-0907-4>
- Erdoğan, A. (2019). *Planning of Fire Protection Activities in Forested Areas with Fire Risk by Using GIS Techniques. MSc Thesis*. Bursa: Bursa Technical University.
- Ford, A.C., Barr, S.L., Dawson, R.J., & James, P. (2015). Transport Accessibility Analysis Using GIS: Assessing Sustainable Transport in London. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 4(1), 124-149. <https://doi.org/10.3390/ijgi4010124>

- Gheshlaghi, A.H. (2019). Using GIS to Develop a Model for Forest Fire Risk Mapping. *Journal of the Indian Society of Remote Sensing*, 47, 1173-1185. <https://doi.org/10.1007/s12524-019-00981-z>
- Hashemi, S.H., Karimi, A., & Tavana, M. (2015). An integrated green supplier selection approach with analytic network process and improved Grey relational analysis. *International Journal of Production Economics*, 159, 178-191. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.09.027>
- Küçük, Ö., & Ünal, S. (2005). Determination of Fire Sensitivity Degree: A Case Study in Tasköprü State Forest Enterprise. *Kafkas University Faculty of Forestry Journal*, 6(1-2), 28-34.
- Littell, J.S., Peterson, D.L., Riley, K.L., Liu, Y., & Luce, C.H. (2016). A review of the relationships between drought and forest fire in the United States. *Global Change Biology*, 22, 2353-2369. <https://doi.org/10.1111/gcb.13275>
- Liu, X., & Chen, Q. (2016) An Algorithm for the Mixed Transportation Network Design Problem. *PLoS ONE*, 11(9), 1-18. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0162618>
- GDF (2008). *Fire Action Plan. General Directorate of Forestry*. Kahramanmaraş: Kahramanmaraş Forest Regional Directorate
- Sakar, D. (2010). Determining the optimum route providing the fastest transportation to the fire areas by using GIS based decision support system (MSc Thesis, KSU, Faculty of Forestry, Kahramanmaraş, Turkey). Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s10661-011-2049-z>
- Seyedhosseini, S.M., Makui, A., Shahanaghi, K., & Torkestani, S.S. (2016) Models, solution, methods and their applicability of dynamic location problems (DLPs) (a gap analysis for further research). *Journal of Industrial Engineering International*, 12, 311-341. <https://doi.org/10.1007/s40092-016-0150-1>
- Sun, Y., Lang, M. X., & Wang, D. Z. (2015). Optimization Models and Solution Algorithms for Freight Routing Planning Problem in the Multi-Modal Transportation Networks: A Review of the State-of-the-Art. *The Open Civil Engineering Journal*, 9, 714-723. <http://dx.doi.org/10.2174/1874149501509010714>
- Yıldırım, V. & Bediroğlu, S. (2019). A geographic information system-based model for economical and eco-friendly high-speed railway route determination using analytic hierarchy process and least-cost-path analysis. *Expert Systems*, 36 (3). <https://doi.org/10.1111/exsy.12376>

Вивчення дорожніх мереж і місцезнаходження пожежних команд за допомогою методів ГІС технологій

І. Таш¹, А.Е. Акай²

Для ефективного реагування на лісові пожежі тривалість доступу пожежної бригади до місця пожежі не повинна перевищувати критичного часу реагування, впродовж якого загоряння з більшою ймовірністю може буде взято під контроль. З цієї причини доцільно визначити оптимальний маршрут, який дасть змогу команді дістатися до місця пожежі на пожежній машині в найкоротші терміни. Комп'ютерні методи, такі як мережевий аналіз, широко використовують під час вирішення таких транспортних завдань, які вимагають аналізу найкоротшого шляху. У цьому дослідженні розташування існуючих дорожніх мереж і пожежної команди було оцінено з використанням методів ГІС технологій, з метою визначення оптимального маршруту, який забезпечить найшвидший доступ до місця пожежі.

Дослідження здійснювали в Управлінні лісового господарства Адани, де розташовані ліси переважно першої категорії, найбільш уразливі до пожеж. У межах досліджуваної території розташовані три пожежні команди. Ділянки в досліджуваній зоні, де раніше траплялись лісові пожежі (15) і в яких вигоріло 1 га або більше лісової площі, оцінювали як потенційні осередки виникнення лісових пожеж. Результати показали, що 64,12% лісових площ на досліджуваній території були охоплені пожежними командами протягом 20 хвилин, що є критичним часом реагування для лісів першої категорії, які є найбільш чутливими до пожеж. Було встановлено, що впродовж критичного часу реагування команди могли досягти 12 місць можливих загорянь. Цей результат показав необхідність створення нових пожежних команд у досліджуваній зоні. Крім того, можна підсумувати, що збільшення щільності дорожньої мережі в досліджуваній області за рахунок будівництва нових доріг або збільшення швидкості руху на відрізку шляху за рахунок поліпшення стандартів існуючих доріг допоможе вирішити проблему.

Ключові слова: лісова пожежа; оптимальний маршрут; найкоротший шлях; мережевий аналіз; пожежний доступ; пожежні машини; швидкість по-дорожі; критичний час відгуку; Адана; Туреччина.

¹ Таш Інанч – магістр, аспірант, Бурський Технічний Університет. 16310 Бурса, Туреччина. Тел.: +90 224 3003430. E-mail: inanc.tas@btu.edu.tr

² Акай Абдулла Емін – доктор філософії, професор, Бурський технічний університет, факультет лісового господарства, Ілдири, 16310 Бурса, Туреччина. Тел.: +90 224 3003426. E-mail: abdullah.akay@btu.edu.tr

Исследование дорожных сетей и местонахождения пожарных команд с помощью методов ГИС технологий

И. Таш¹, А. Е. Акай²

Для эффективного реагирования на лесные пожары продолжительность доступа пожарной бригады к месту пожара не должна превышать критическое время реагирования, на протяжении которого возгорание с большей вероятностью может быть взято под контроль. По этой причине следует определить оптимальный маршрут, который позволит команде добраться до места пожара на пожарной машине в кратчайшие сроки. Компьютерные методы, такие как сетевой анализ, широко используются при решении похожих транспортных задач, которые требуют анализа кратчайшего пути. В этом исследовании расположение существующих дорожных сетей и пожарной команды было оценено с использованием методов ГИС технологий, с целью определения

оптимального маршрута, который обеспечит самый быстрый доступ к месту пожара.

Исследование проводилось в Управлении лесного хозяйства Аданы, где расположены леса первой категории, наиболее чувствительные к пожарам. В границах исследуемой территории расположены три пожарные команды. Участки в исследуемой зоне, где раньше случались лесные пожары (15) и в которых выгорело 1 га или более лесной площади, были оценены как потенциальные очаги лесных пожаров. Результаты показали, что 64,12% лесных площадей на исследуемой территории были охвачены пожарными командами в течение 20 минут, что является критическим временем реагирования для лесов первой категории, которые являются наиболее чувствительными к пожарам. Было обнаружено, что за критическое время реагирования команды смогли достичь 12 мест возможных возгораний. Этот результат показал необходимость создания новых пожарных команд в исследуемой зоне. Кроме того, можно сделать вывод, что увеличение плотности дорожной сети в исследуемой области за счет строительства новых дорог или увеличения скорости движения в пути за счет улучшения стандартов существующих дорог поможет решить проблему.

Ключевые слова: лесной пожар; оптимальный маршрут; кратчайший путь; сетевой анализ; пожарный доступ; пожарные машины; скорость путешествия; критическое время отклика; Адана; Турция.

¹ Таш Инанч – магистр, аспирант, Бурсский Технический Университет. 16310 Бурса, Турция. Тел: +90 224 3003430. E-mail: inanc.tas@btu.edu.tr

² Акай Абдулла Эмин – доктор философии, профессор, Бурсский технический университет, факультет лесного хозяйства, Йылдырым, 16310 Бурса, Турция. Тел.: +90 224 3003426 E-mail: abdullah.akay@btu.edu.tr

9. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

Пам'яті академіка Лісівничої академії наук України Степана Михайловича Стойка (14.03.1920–22.10.2020)

Ю. Ю. Туниця, Г. Т. Криницький, Ю. М. Дебринюк, П. Т. Яценко

Стойко Степан Михайлович – видатний український лісознавець, ботанік, еколог, який активно розвивав методологію охорони природи як науки, патріарх ботанічної науки в державі. Вчений широко відомий у наукових колах багатьох країн як фітосозолог, дослідник дубових лісів Європи. Ним опрацьовано теоретичні засади територіальної охорони природи шляхом заповідання, розроблено класифікацію природоохоронних об'єктів, обґрунтовано важливість зонувannya їх території. С. М. Стойко започаткував формування в Україні мережі національних природних парків, обґрунтував важливість виділення в державі таких нових форм природоохоронних об'єктів, як регіональні природні парки та біосферні резервати. Вчений досліджував лісові екосистеми Українських Карпат, Розточчя, Поділля і Західного Полісся, вивчав антропогенні трансформації природних екосистем, розглядав проблеми їх охорони та відновлення на природоохоронних територіях як основу збереження біорізноманіття. Творчий доробок ученого становить понад 400 наукових праць у галузях лісознавства і лісівництва, ботаніки й охорони природи, які опубліковані в українських та зарубіжних виданнях.

22 жовтня 2020 року на 101-му році життя перестало битися серце всесвітньо відомого вченого – фітосозолога, еколога, лісівника, доктора біологічних наук, професора, Почесного Головного вченого Інституту екології Карпат НАН України, Почесного і Дійсного члена Наукового Товариства імені Шевченка Степана Михайловича Стойка. Він був лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки. За дослідження лісових екосистем Карпат, наукові праці в галузі охорони природи та налагодження міжнародної природоохоронної співпраці Вчена рада Зволеньського технічного університету (Словаччина) присудила йому наукову ступінь *Ductor honoris causa*, а Фондація імені Й. Ф. Гете від Європейської Комісії нагородила його Золотою медаллю імені Петера Й. Ленне.

Відійшла у засвіти людина, яка, незважаючи на важке дитинство, на лихоліття світової війни, на труднощі студентського життя у повоєнні роки переборювала життєві негаразди і прожила понад 100 років, весь час творячи людям добро, навчаючи студентську молодь і розвиваючи українську біологічну науку. Він був учителем «від Бога»!



Народився Степан Стойко 14 березня 1920 року у с. Кричово Хустського району на Закарпатті у багатодітній родині священника. Батьки віддали його на навчання до Хустської гімназії, де вимоги до учнів були дуже суворими. Після закінчення гімназії Степан Стойко деякий час вчителював у селі Новоселиця на Закарпатті, потім навчався на юридичному факультеті Пештського університету в Угорщині. Після закінчення Другої світової війни у 1945 р. Степана Стойка призначили референтом відділу соціального забезпечення у Народній Раді Закарпатської України

в Ужгороді, звідки він одержав скерування на навчання у Львівський сільськогосподарський інститут, який закінчив 1949 року, здобувши кваліфікацію «Інженер лісового господарства».

Після закінчення навчання в інституті Степан Стойко був скерований на роботу в Ужгородський лісгосп, в якому два роки працював спочатку інженером лісового господарства, а потім лісничим, господарював у лісах поблизу Ужгорода. Саме тут доля звела Степана Стойка з відомим лісознавцем, академіком П. С. Погребняком. Академік оцінив високий рівень знань лісничого, зокрема добре

знання лісових рослин та їх латинських назв, а також володіння чеською, словацькою, німецькою та угорською мовами, і запропонував йому продовжити навчання в аспірантурі. У 1951 р. Степан Стойко вступив до аспірантури в Інституті лісу АН УРСР і під керівництвом П. С. Погребняка у 1955 р. захистив кандидатську дисертацію на тему «Діброви Закарпаття та шляхи підвищення їх продуктивності», здобувши науковий ступінь кандидата біологічних наук.

Після захисту дисертації Степан Стойко деякий час працював викладачем у сільськогосподарському інституті у Кам'янці-Подільському, а потім на запрошення ректора Львівського лісотехнічного інституту Ю. Д. Третяка перейшов на роботу у Львів, на посаду доцента кафедри ботаніки і дендрології лісгосподарського факультету ЛЛТІ. У цей період він плідно працює на науковій ниві, публікує низку статей про взаємодію дуба з буком, характеризує природні лісостани дуба скельного на Закарпатті, розглядає питання відновлення гірських дібров Карпат, а з 60-их років активно пропагує природоохоронні ідеї, зокрема вказує на потребу відновлення заповідників цінних лісових масивів Закарпаття.

Природоохоронна проблематика стає основною у наукових дослідженнях ученого – він характеризує заповідники та пам'ятки природи Українських Карпат, розглядає сучасний стан і чергові завдання природоохоронної діяльності та необхідності наукового співробітництва з європейськими країнами у справі охорони природи заповідних територій. У 1962 р. йому було присвоєно вчене звання доцента.

Як педагог, Степан Стойко мав великий авторитет серед студентів, які цінували високий рівень його знань, доброзичливість характеру, вміння цікаво проводити заняття та ботанічні екскурсії під час літніх практик. Колеги по кафедрі називали С. М. Стойка «французьким професором», вкладаючи у цю назву і високий рівень освіченості, і культуру поведінки, і дружні стосунки із співробітниками кафедри.

Перейшовши у 1964 р. працювати старшим науковим співробітником у Державний природознавчий музей АН УРСР, Степан Стойко разом із К. А. Малиновським та М. А. Голубцем розробляють геоботанічне районування Українських Карпат. Учений здійснює порівняльні дослідження бука європейського на Поділлі, Розточчі та в Карпатах, аналізує взаємовідносини між буком і ялиною у Скибових Горгонах, досліджує зміну порід у Карпатах, зокрема закономірності зміни дуба. Приділяє також значну увагу висвітленню причин вітровалів і буреломів у карпатських ялиниках та пошуку шляхів підвищення біотичної стійкості ялинових лісів Карпат проти вітровалів.

У 1969 р. Степан Стойко захистив докторську дисертацію на тему «Дубові ліси Карпатської гірської системи» і здобув науковий ступінь доктора біологічних наук за спеціальністю «Ботаніка», а в 1980 р. С. М. Стойку було присвоєно вчене звання професора.

Розуміючи важливість охорони природи як пряму наукових досліджень, вчений у 1970 р. формує у Музеї новий підрозділ – відділ охорони природних екосистем, стає його завідувачем. Після реорганізації Музею цей відділ увійшов до складу новоствореного Львівського відділення Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного АН УРСР, згодом – Інституту екології Карпат НАН України, де Степан Стойко успішно розвиває методологічні засади охорони природи.

Наукова тематика відділу постійно стосувалася розвитку територіальної охорони природи, особливо заповідання і розширення мережі природоохоронних об'єктів, зокрема обґрунтування важливості створення в Україні природних національних парків та зонування території природоохоронних об'єктів. Було обґрунтовано доцільність виділення Карпатського національного природного парку та важливість створення Шацького, Ужанського і Яворівського національних природних парків, НПП «Сколівські Бескиди», виокремлення багатьох пам'яток природи. Степаном Стойком було також обґрунтовано доцільність створення в Україні об'єктів нової природоохоронної категорії – регіональних природних парків (зокрема РПП «Прип'ять – Стохід»), а згодом – біосферних резерватів (БР «Східні Карпати», «Шацький», «Розточчя»).

Вагомим науковим внеском Степана Стойка у розвиток охорони природи було висунення ідеї видання Зеленої книги Української РСР (1987) та її підготовка до видання, публікація відділом охорони природних екосистем у 1998 р. книги «Раритетні фітоценози Західних регіонів України (Регіональна «Зелена книга»)» та у 2004 р. – книги «Раритетний фітогенофонд Західних регіонів України (созологічна оцінка й наукові засади охорони)». За наукові здобутки С. М. Стойко у 2005 р. став лауреатом Державної премії України в галузі науки і техніки.

Професор Стойко С. М. все своє життя опікувався підготовкою кваліфікованих фахівців. Окрім роботи в Інституті екології Карпат, він за сумісництвом керував аспірантами та здобувачами наукових ступенів і підготував низку кадрів вищої кваліфікації за спеціальностями біологічних, географічних та сільськогосподарських наук (12 кандидатів і трьох докторів наук). Майже 15 років викладав курс «Охорона природи» на географічному факультеті Львівського національного університету ім. Івана Франка та спецкурс «Охорона природи у зарубіжних країнах». Загальний науково-педагогічний стаж роботи професора С. М. Стойка становить майже 70 років.

Наукові інтереси Степана Стойка були дуже різноплановими, стосувалися фітосозології, вивчення біорізноманіття флори і рослинності та його збереження, дослідження лісових екосистем, ландшафтно-специфіки різних регіонів та вертикальної поясності рослинності Карпат, а також культурної та історичної спадщини. Ним опубліковано понад 400 наукових праць, у тому числі 12 монографій, зокрема «Охорона природи Українських Карпат і при-

легких територій», «В.І. Вернадський. Життя і діяльність в Україні», «The East Carpathian biosphere reserves», «Система охорони природи у верхів'ї басейну Дністра», «Дубові ліси Українських Карпат: екологічні особливості, відтворення, охорона».

Степан Стойко підтримував наукові зв'язки з багатьма вченими із різних країн – Чехії, Словаччини, Румунії, Угорщини, Польщі, Німеччини. На запрошення зарубіжних колег і наукових установ він виступав з лекціями в Агрономічному університеті імені Г. Менделя у м. Брно (Чехія), університеті імені Етвеша в Будапешті (Угорщина), в університеті м. Кельн (Німеччина). Вчений був членом численних наукових і спеціалізованих рад з ботаніки, лісознавства, екології та охорони природи. Тривалий період С.М. Стойко очолював Президію Львівського обласного Товариства охорони природи та Наукову раду Львівського будинку вчених. Був членом Ради Українського ботанічного товариства. Під його керівництвом сформувалася широковідома в Україні наукова школа природоохоронців.

Степан Михайлович Стойко – яскрава особистість, видатний учений, високофаховий педагог, мудрий вихователь молоді, відомий природозахисник, людина глибоких енциклопедичних знань і високої інтелігентності. Він прожив довге і достойне життя. Наукова громадськість, колеги та учні щиро сумують з приводу втрати людини, ім'я якої є знаковим у розвитку української природоохоронної, лісівничої і ботанічної науки.

Світла пам'ять про нього, про його науковий внесок і добрі справи назавжди залишаться у наших серцях.

Поховано професора Стойка Степана Михайловича на Янівському кладовищі у м. Львові.

**In Memory of the Academician of the
Forestry Academy of Sciences of Ukraine,
Stepan Stoyko
(14.03.1920–22.10.2020)**

Y. Tunytsya, H. Krynytskyy, Iu. Debryniuk,
P. Yashchenko

Stepan Stoyko is a well-known Ukrainian forester, botanist and ecologist, who actively developed the methodology of nature protection as a science, patriarch of botanical science in the country. The scientist is recognized and well-known by the scientific community in many countries as a phytosociologist, and as a researcher of oak forests in Europe. He worked out the theoretical foundations of territorial nature protection by nature conservation, developed the classification of nature protection objects, and proved the importance of zoning their territory. Stepan Stoyko initiated the formation of a network of national nature parks in Ukraine, justified the importance of allocating such new forms of nature protection facilities in the state, as regional nature parks and biosphere reserves. The scientist studied the forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians, Roztocze, Podolia and Western Polissya, the anthropogenic transformations of natural ecosystems, considered the problems of their protection and restoration in protected areas as a basis for biodiversity conservation. The creative work of the scientist is represented in more than 400 scientific publications in the fields of forestry, botany and nature protection, which are published in Ukrainian and foreign editions.

Пам'яті члена-кореспондента Лісівничої академії наук України Романа Михайловича Яцика (20.02.1946–04.01.2021)

О.І. Голубчак, В.І. Парпан, Р.І. Бродович, Ю.Д. Кацуляк,
В.М. Гудима, М.М. Сіщук

04.01.2021 року відійшов у вічність відомий вчений, український лісівник, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, професор, член-кореспондент Лісівничої академії наук України Роман Михайлович Яцик. Основна наукова діяльність вченого була зосереджена у напрямках збереження біорізноманіття та лісових генетичних ресурсів, розвитку лісової селекції, насінництва, інтродукції рослин, побічного корис-тування лісом. Роман Яцик був співавтором низки законодавчих, нормативно-регулятивних та організаційно-розпорядчих документів. Ним опубліковано понад 400 наукових праць.

За багаторічну роботу вчений удостоєний численних відзнак, серед яких нагрудний знак «Винахідник СРСР», «Відмінник лісового господарства України», «Почесний лісівник України». Його також нагороджено почесними грамотами Івано-Франківської міської і обласної адміністрацій, Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації, Міністерства лісового господарства України, Центрального комітету профспілки працівників лісового господарства України, Державного комітету лісового господарства України, Державного агентства лісових ресурсів України.

Яцик Роман Михайлович народився 20 лютого 1946 р. у селищі Гвіздець Коломийського району Івано-Франківської області в родині залізничників. Впродовж 1952-1963 рр. навчався у Гвіздецькій середній школі. У 1963 р. вступив до Сторожинецького лісного технікуму Чернівецької обл., який успішно закінчив у 1966 р., отримавши диплом техника лісового господарства. У 1968 р. вступив до Львівського лісотехнічного інституту (тепер – Національний лісотехнічний університет України), який закінчив у 1972 р., здобувши кваліфікацію «Інженер лісового господарства». Впродовж 1974-1976 рр. навчався в аспірантурі Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г.М. Висоцького (м. Харків). Під керівництвом професора П.І. Молоткова у 1981 р. захистив кандидатську дисертацію на тему «Біологічні основи елітного насінництва сосни звичайної реліктового походження в Українських Карпатах» за спеціальністю 06.03.01 – лісові культури, селекція, насінництво й озеленення міст. Вчене звання старшого наукового співробітника присвоєно у 1984 році.

Трудову діяльність Роман Яцик розпочав у 1966 р. техніком-лісівником Брустурівського лісництва Коломийського лісокомбінату тресту «Прикарпатліс». З 1968 р. працює у Карпатському філіалі УкрНДІЛГА (м. Івано-Франківськ). Розпочав-



ши з посади старшого лаборанта, пройшов шлях до заступника директора з наукової роботи інституту. За час роботи в Інституті займав посади завідувача Надвірнянським опорним пунктом (пізніше Горганський дослідний пункт), завідувача лабораторії лісової селекції та насінництва, провідного наукового співробітника лабораторії лісовідновлення і селекції.

Протягом 1992-1995 рр. Роман Яцик брав участь у роботі філіалу кафедр лісівництва, лісової таксації, лісовпорядкування та геодезії Українського дер-

жавного лісотехнічного університету.

Впродовж 1998-2004 рр. очолював Івано-Франківське обласне відділення Українського товариства генетиків і селекціонерів, а протягом 1999-2007 рр. – голова експертної ради з лісових сортів Держкомісії з випробування та охорони сортів рослин України (м. Київ).

З 2008 р. Роман Яцик працює доцентом кафедри лісознавства Інституту природничих наук Прикарпатського національного університету ім. Василя Стефаника, а з 2011 р. – професором, де викладає низку навчальних дисциплін: лісову генетику, лісову селекцію, лісову пірологію, недеревні ресурси лісу. Водночас є керівником аспірантури при УкрНДІГірліс за спеціальністю 06.03.01 – лісові культури та фітомеліорація. Під його керівництвом захищено три кандидатські дисертації.

Основна наукова діяльність вченого зосереджена у напрямках збереження біорізноманіття та лісових генетичних ресурсів, розвитку лісової селекції, насінництва, інтродукції рослин, побічного користування лісом (особливо – технології створення плодово-ягідних плантацій). Усього ним опубліковано понад 400 наукових праць.

Роман Яцик був співавтором низки законодавчих, нормативно-регулятивних та організаційно-розпорядчих документів: «Лісового кодексу України», «Правил відновлення лісів і лісорозведення», «Настанов з лісового насінництва», «Настанов з лісовідновлення і лісорозведення», «Концепції збереження та невиснажливого використання лісових генетичних ресурсів в Україні», «Програми з інтродукції деревних рослин», «Вказівок з виділення лісового генетичного фонду, селекції і насінництва в Українських Карпатах», «Методики із комплексної оцінки лісових генетичних ресурсів» та багатьох інших.

Учений брав активну участь у виведенні карпатських лісових сортів: ялиця бальзамічна надвірнянська, модрина білославська, сосна кедрова корейська богородчанська, ясен вузьколистий закарпатський, модрина гібридна мукачівська, дуб звичайний боржавський, ялиця біла коломийська.

За багаторічну роботу Роман Яцик удостоєний численних відзнак, серед яких нагрудний знак «Винахідник СРСР», «Відмінник лісового господарства України» (2006), «Почесний лісівник України» (2011).

Неодноразово вченого нагороджено почесними грамотами Івано-Франківської міської і обласної адміністрацій (1980, 2000), Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації (1980, 1983), Міністерства лісового господарства України і Центрального комітету профспілки працівників лісового господарства України (1996, 1997), Державного комітету лісового господарства України (2004), Державного агентства лісових ресурсів України (2020).

На жаль, життя Романа Яцика обірвалося несподівано і рано. Пішла у вічність людина, сповнена

творчих задумів, життєвої наснаги, енергії, бажання працювати. Колеги та учні щиро сумують з приводу такої непоправної втрати. Світла пам'ять про Романа Михайловича Яцика та його добрі справи назавжди залишаться в наших серцях.

Поховано Романа Яцика у рідному місті Надвірна.

In memory of the Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine Roman Mykhailovych Jacyk (20.02.1946–04.01.2021)

O. Holubchak, V. Parpan, R. Brodovych,
Yu. Katsuliak, V. Hudyma, M. Sishchuk

On January 4, 2021 a well-known scientist, Ukrainian forester, Candidate of Agricultural Sciences, Senior Researcher, Professor, Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine Roman Mikhaïlovych Yatsyk passed away. The main scientific activity of the scientist was focused on the conservation of biodiversity and forest genetic resources, forest selection, seed production, plant introduction, and harvesting of non-wood forest products. Roman Yatsyk was a co-author of a number of legislative, regulatory, and organizational documented procedures. He has published more than 400 scientific papers.

For many years of work the scientist was awarded by numerous awards, including the medals «Inventor of the USSR», «For Excellence in Forestry of Ukraine», «Honorary Forester of Ukraine». He was also awarded diplomas of Ivano-Frankivsk city and regional administrations, the Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry, the Ministry of Forestry of Ukraine, the Central Committee of the Trade Union of Forestry Workers of Ukraine, the State Committee of Forestry of Ukraine, and the State Agency of Forestry Resources of Ukraine.

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, ресурсощадних та екологобезпечних технологій деревообробки, машин і механізмів лісгосподарського комплексу, інформаційних технологій галузі.

Редакція приймає до опублікування статті обсягом 15-20 сторінок комп'ютерного тексту, надрукованого через 1,5 інтервала. Формат документа – А4, формат файлу – *.doc, *.docx (MS Word 2007, 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 підрозділів 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 або іншою мовою – 25-30 рядків або 1600-1900 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, російською або іншою 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.

Список літератури повинен вміщати не менше 15 літературних джерел. Бажано наводити посилання на джерела, опубліковані після 2010 року, особливо ті, які мають індекс *doi*. Самоцитовання – не більше 15%. Під час формування списку літературних джерел необхідно користуватись вимогами APA 6th Edition.

У «Списку літератури» необхідно наводити лінк, за яким джерело доступне в мережі Інтернет, або індекс *doi*. За можливістю варто уникати посилань на літературні джерела, які відсутні в інтернет-ресурсах.

Транслітерація літературних джерел в статтях не допускається. Список літератури повинен бути наведений мовою оригіналу та в квадратних дужках – 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 «Списку літератури» та англійськомовну частину публікації. Статтю читатиме міжнародна аудиторія науковців, тому текст анотації повинен бути чітким і зв'язним, а її зміст – зрозумілим без ознайомлення з основним змістом самої статті. У статті потрібно застосовувати фахову термінологію, яку використовують у профільних міжнародних 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 структурних підрозділах 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 опрацьовано» і т.д.

Отримані результати досліджень повинні бути опрацьовані математичними методами, що підтверджує їхню достовірність. Без такого опрацювання статті до друку не приймаються.

Найважливішою частиною наукової статті є висновки, де наводять підсумки здійсненого дослідження, узагальнення і пропозиції щодо завдань, сформульованих у вступі. Висновки формують чітко, лаконічно і зрозуміло, вони повинні 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 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 «Списку літератури», політики відкритого доступу подана на сайті збірника наукових праць: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu>

Збірник наукових праць
Наукові праці Лісівничої академії наук України

Випуск 21

2020 р.

Науковий редактор: Ю. М. Дебринюк, проф., д-р с.-г. наук
Редактор англomовних текстів: І. П. Соловій, проф., д-р екон. наук
Літературний редактор: Б. В. Дебринюк
На 4-ій сторінці обкладинки: А. Возняк, проф., д-р габ. (фото),
М. І. Сорока, проф., д-р біол. наук (текст)

Підписано до друку 11.01.2021 р. Формат 60*84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 21,85. Обл.-вид. арк. 20,65
Наклад 300 прим. Зам. № 2773

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