Національний лісотехнічний університет України
Лісівнича академія наук України

НАУКОВІ ПРАЦІ

ЛІСІВНИЧОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

Випуск 20

Започатковано у 2001 р.

Львів
Видавництво «Компанія “Манускрипт”»
2020

УДК 630* : 502/504 : 674 : 57 : 330.15

Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць. – Львів: Видавництво «Компанія “Манускрипт”», 2020. – Вип. 20. – 226 с.

У збірнику наукових праць опубліковано результати досліджень, в яких висвітлено 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, біології рослинних угруповань, проблем сталого природокористування та охорони довкілля. Представлено міжнародні аспекти лісової політики, висвітлено нові розробки в галузі лісової інженерії, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки.

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

Рекомендовано до друку Вченою радою НЛТУ України та Президією ЛАН України (протокол № 3 від 4.06.2020 р.).

Редакційна колегія:

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

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

Адреса видавництва:
Видавництво «Компанія “Манускрипт”»
вул. Руська, 16/3, м. Львів, 79008
Тел: (032) 235-30-12; E-mail: debrynyuk@gmail.com; http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu

ISSN 1991-606X (Print)
ISSN 2616-5015 (Online)

© ЛАН України, 2020
© НЛТУ України, 2020

Ukrainian National Forestry University
Forestry Academy of Sciences of Ukraine

PROCEEDINGS

OF THE FORESTRY ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE

Volume 20

The journal was established in 2001

Lviv
«Company "Manuscript"»
2020

UDC 630* 502/504 : 674 : 57 : 330.15

Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine: Collection of Research Papers. – Lviv : «Company "Manuscript"», 2020. – Vol. 20. – 226 p.

In the Collection of scientific papers the research results are published which highlight scientific advancement in the field of forestry and silviculture, forest biometry and forest management planning. As well as the results of studies in the field of forest ecology and restoration, biology of plant communities and forest protection, sustainable natural resource management and environmental protection are analyzed. The international aspects of forest policy, , new developments in the field of forest engineering, resource-saving and environmentally friendly woodworking technologies are covered.

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

The Collection is recommended for publication by the Academic Council of the Ukrainian National Forestry University and the Presidium of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine (protocol number 3 dated from 2020.06.04).

Editorial board:

Professor Ihor Soloviy, *Dr. Sc. (Econ.), Chief Editor;*
Professor Iurii Debryniuk, *Dr. Sc. (Agr.), Deputy Chief Editor;*

Professor Norbert Weber, *Dr. rer. silv. habil., the Technische Universität Dresden, Germany;*
Professor Andrzej Wozniak, *Dr. habil., University of Life Sciences, Lublin, Poland;*
Professor Mykola Guz, *Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Anatolyi Hoychuk, *Dr. Sc. (Agr.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;*
Professor Erwin Hussendörfer, *Dr. habil. the Weihenstephan-Triesdorf University of Applied Sciences, Freising, Germany;*
Professor Pierre L. Ibisch, *Dr. habil., Eberswalde University for Sustainable Development, Eberswalde, Germany;*
Professor Petro Lakyda, *Dr. Sc. (Agr.), National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;*
Professor Victor Tkach, *Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.N. Vysotsky, Kharkiv;*
Associate professor Oleg Chaskovskyy, *PhD (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*

Professor Volodymyr Kucheryavyy, *Dr. Sc. (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Associate professor Volodymyr Kramarets, *PhD (Agr.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Nadiia Oleksiichenko, *Dr. Sc. (Agr.), National Univers. of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv;*

Professor Volodymyr Zaika, *Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Hryhoriy Krynytskyy, *Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Myroslava Soroka, *Dr. Sc. (Biol.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Stephan Stojko, *Dr. Sc. (Biol.), Dr. h.c., Institute of Ecology of the Carpathians, Lviv;*
Professor Platon Tretyak, *Dr. Sc. (Biol.), State Museum of Natural Sciences of Ukraine, Lviv;*

Professor Yuriy Tunytsya, *Dr. Sc. (Econ.), Member of the NAS of Ukraine, Ukrain. National Forestry University, Lviv;*
Professor Lidija Zadnik-Stirn, *Dr. Sc., University of Ljubljana, Slovenia;*
Professor Maria Nijnik, *Dr. Sc. (Econ.& Soc.), James Hutton Institute, Aberdeen, Dundee, United Kingdom;*
Professor Evgen Mishenin, *Dr. Sc. (Econ.), Sumy State University, Sumy;*
Professor Taras Tunytsya, *Dr. Sc. (Econ.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*

Professor Pavlo Bekhta, *Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Volodymyr Holubets, *Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Yuriy Hrytsyuk, *Dr. Sc. (Tech.), Lviv Polytechnic National University, Lviv;*
Professor Ihor Ozarkiv, *Dr. Sc. (Tech.), Ukrainian National Forestry University, Lviv;*
Professor Jan Sedliačik, *PhD, (Tech.), Technical University in Zvolen, Slovak Republic.*

Scientific Editor: *Iurii DEBRYNIUK*
Literary editor: *Anna PAVLYSHYN*
Editor of English texts: *Ihor SOLOVIY*
Technical support of the publication: *Marianna KUK*
Responsible secretary: *Bogdana DEBRYNYUK*

Publishers Address:
Publishing «Company "Manuscript"»
st. Ruska, 16/3, Lviv, Ukraine, 79008
Tel: (032) 235-30-12; E-mail: debrynyuk@gmail.com; http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu

ISSN 1991-606X (Print)
ISSN 2616-5015 (Online)

© FAS Ukraine, 2020
© UNFU Ukraine, 2020

ЗМІСТ

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

І. П. Мацях, В. О. Крамарець
ІНВАЗІЇ КОМАХ-ФІЛОФАГІВ НА ТЕРИТОРІЮ УКРАЇНИ 11

Т. Р. Прикладівська
ВИДИ РОСЛИН І ЛИШАЙНИКІВ КИЙ-ОСТРОВА В ГЕРБАРІЇ НАЦІОНАЛЬНОГО ЛІСОТЕХНІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ УКРАЇНИ (LWFU) 26

І. Б. Русин, О. В. Медведєв, Б. Т. Валько, С. В. Нікітчук
БІОЕЛЕКТРИКА ЕКОСИСТЕМ ЛІСІВ, ЗАБОЛОЧЕНИХ ЛУК ТА АГРОЕКОСИСТЕМ ЗАХІДНОЇ УКРАЇНИ 33

2. ЛІСОЗНАВСТВО ТА ЛІСІВНИЦТВО

А. А. Бокотей, Н. В. Дзюбенко, О. А. Дубовик
РЕПРЕЗЕНТАТИВНІСТЬ ТА ОХОРОНА ОРНІТОФАУНИ РЕГІОНАЛЬНОГО ЛАНДШАФТНОГО ПАРКУ «СТІЛЬСЬКЕ ГОРБОГІР'Я» 45

І. Д. Іванюк, Я. Д. Фучило
ВПЛИВ МЕТЕОРОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ СВІЖИХ І ВОЛОГИХ СУГРУДІВ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ 57

І. М. Коваль
РЕАКЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ *QUERCUS ROBUR* L. НА ЗМІНИ КЛІМАТУ В ПОЛІССІ ТА ЛІСОСТЕПУ 64

Р. Н. Матвеева, О. Ф. Буторова, Н. П. Братилова, Ю. Е. Щерба, В. В. Комарницкий
ИЗМЕНЧИВОСТЬ *PINUS SIBIRICA* DU TOUR ПО ОБРАЗОВАНИЮ ШИШЕК ЗА 10-ЛЕТНИЙ ПЕРИОД НА ПРИВИВОЧНОЙ ГИБРИДНО-СЕМЕННОЙ ПЛАНТАЦИИ (Мінливість *Pinus sibirica* Du Tour за утворенням шишок за 10-річний період на щепленій гібридно-насінній плантації) 74

Ю. С. Шпарик, Г. Т. Криницький, Ю. М. Дебринюк
ТЕНДЕНЦІЇ ДИНАМІКИ ТИПІВ ЛІСОРОСЛИННИХ УМОВ І ПОРОДНОГО СКЛАДУ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТ У ЗВ'ЯЗКУ ЗІ ЗМІНАМИ КЛІМАТУ 82

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА

Ю. М. Дебринюк
***LARIX KAEMPFERI* CARR. ЯК ПЕРСПЕКТИВНИЙ ДЕРЕВНИЙ ВИД ДЛЯ ПЛАНТАЦІЙНОГО ЛІСОВИРОЩУВАННЯ У ЛІСОСТАНАХ ЗАХІДНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ** 93

S. Los, L. Smashnuk
MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *QUERCUS ROBUR* L. PLUS TREES AND CLONES IN PODILLIA (Морфологічна мінливість плюсових дерев і клонів *Quercus robur* L. на Поділлі) 107

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

V. Pasternak, T. Pyvovar, V. Yarotsky
FOREST CARBON STOCK IN LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE ACCORDING TO INTENSIVE FOREST MONITORING DATA (Запаси вуглецю у лісах Лівобережного Лісостепу України за даними інтенсивного моніторингу).... 120

5. ЗАХИСТ ЛІСІВ І МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

V. Meshkova, I. Bobrov
PARAMETERS OF *PINUS SYLVESTRIS* HEALTH CONDITION AND *IPS ACUMINATUS* POPULATION IN PURE AND MIXED STANDS OF SUMY REGION (Показники санітарного стану *Pinus sylvestris* та популяцій *Ips acuminatus* у чистих і мішаних насадженнях Сумської області) 131

6. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА

В. Л. Коржов, В. С. Кудра
ОСОБЛИВОСТІ ТЕХНОГЕННОГО ВПЛИВУ ЛІСОКОРИСТУВАННЯ НА ЧИСТОТУ ВОДИ У ГІРСЬКИХ ЛІСОВИХ ВОДОТОКАХ..... 141

7. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

Л. І. Максимів, Т. А. Гарматій, М. Т. Бець
СОЦІО-ЕКОЛОГО-ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ РОЗВИТКУ ЕКОЛОГІЧНОГО ТУРИЗМУ В УКРАЇНСЬКИХ КАРПАТАХ..... 149

Соловій І. П., Козак Р. О., Кулешник Т. Я.
ПЛАНУВАННЯ СТАЛОГО ЗЕМЛЕКОРИСТУВАННЯ НА ОСНОВІ ТЕОРІЇ ПОСЛУГ ЕКОСИСТЕМ: ПРИКЛАД ОБҐРУНТУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОГО РІШЕННЯ 162

A. Koller, N. Weber
VISIONS, MISSIONS AND STRATEGIES OF SELECTED INTERNATIONAL FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS (Бачення, місії та стратегії окремих міжнародних лісових дослідних організацій) 169

V. Soloviy, I. Dubovich
URBAN GOVERNANCE AND DECISION-MAKING UNDER CLIMATE CHANGE: A CRITICAL REVIEW OF FRAMEWORKS, METHODS AND TOOLS FROM THE PERSPECTIVES OF ECOLOGICAL ECONOMICS AND SUSTAINABILITY SCIENCE (Управління та прийняття рішень щодо розвитку міст в умовах змін клімату: критичний огляд рамкових умов, методів та інструментів крізь призму екологічної економіки і сталого розвитку) 181

8. ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ДОВКІЛЛЯ

İ. Taş, A. E. Akay
PRODUCTIVITY ANALYSIS OF MODIFIED FARM TRACTORS IN FORWARDING INDUSTRIAL WOOD PRODUCTS (Аналіз продуктивності модифікованих сільськогосподарських тракторів під час транспортування лісоматеріалів) 196

9. РЕСУРСООЩАДНІ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ

П. А. Бехта, Ю. В. Максимів, Т. Кристоф'як
ВПЛИВ ТЕМПЕРАТУРИ ТЕРМІЧНОГО УЩІЛЬНЕННЯ ПІДКЛАДКИ, ТИПУ ЛАКУ І КІЛЬКОСТІ ЙОГО ШАРІВ НА БЛИСК ОПОРЯДЖЕНОЇ ПОВЕРХНІ 206

Ю. М. Губер, З. П. Копинець, Ю. Р. Дадак, Ж. Я. Гуменюк
АНАЛІЗ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ТРИВАЛОСТІ СУШІННЯ СОСНОВИХ НЕОБРІЗНИХ ПИЛОМАТЕРІАЛІВ 214

10. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

П. Т. Ященко, І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич, І. М. Данилик, О. О. Кагало, Ю. В. Канарський
ПАМ'ЯТІ АКАДЕМІКА ЛАН УКРАЇНИ, ЧЛЕН-КОРЕСПОНДЕНТА НАН УКРАЇНИ МИКОЛИ ПАВЛОВИЧА КОЗЛОВСЬКОГО (10.28.1956 – 05.24.2020)..... 222

ДО УВАГИ АВТОРІВ 224

CONTENTS

1. BIOLOGICAL ASPECTS OF PLANT COMMUNITIES

I. Matsiakh, V. Kramarets
INVASIVE PHYLLOPHAGOUS INSECTS IN UKRAINE 11

T. Prykladivska
PLANTS AND LICHENS FROM THE KIY ISLAND IN THE HERBARIUM OF THE UKRAINIAN NATIONAL FORESTRY UNIVERSITY (LWFU) 26

I. Rusyn, O. Medvediev, B. Valko, S. Nikitchuk
BIOELECTRICITY OF FORESTS ECOSYSTEMS, WETLANDS AND AGRO-ECOSYSTEMS OF THE WESTERN UKRAINE 33

2. FORESTRY AND SILVICULTURAL SCIENCES

A. Bokotey, N. Dziubenko, O. Dubovyk
REPRESENTATIVENESS AND CONSERVATION OF BIRD FAUNA IN THE REGIONAL LANDSCAPE PARK «STILSKE GORBOGIRIA» 45

I. Ivanyuk, Y. Fuchylo
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 57

I. Koval
RADIAL GROWTH OF *QUERCUS ROBUR* L. RESPONSE TO CLIMATE CHANGE IN POLISSYA AND FOREST-STEPPE 64

R. Matveyeva, O. Butorova, N. Bratilova, Y. Scherba, V. Komarnitsky
VARIABILITY OF *PINUS SIBIRICA* DU TOUR IN THE CONES FORMATION ON A GRAFTING HYBRID-SEED PLANTATION OVER A 10-YEAR PERIOD 74

Yu. Shparyk, H. Krynytskyy, Iu. Debryniuk
TRENDS OF DYNAMICS IN THE SITE CONDITIONS TYPES AND SPECIES COMPOSITION OF THE FOREST STANDS IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS CAUSED BY CLIMATE CHANGES 82

3. PLANTED FORESTS, PHYTOMELIORATION, TREE BREEDING AND GENETICS

Iu. Debryniuk
***LARIX KAEMPFERI* CARR. AS A PROMISING WOODY SPECIES FOR PLANTATION FOREST GROWING IN FOREST STANDS OF THE WESTERN FOREST-STEPPE OF UKRAINE** 93

S. Los, L. Smashnuk
MORPHOLOGICAL VARIABILITY OF *QUERCUS ROBUR* L. PLUS TREES AND CLONES IN PODILLIA 107

4. FOREST BIOMETRY AND FOREST MANAGEMENT PLANNING

V. Pasternak, T. Pyvovar, V. Yarotsky
FOREST CARBON STOCK IN LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE ACCORDING TO INTENSIVE FOREST MONITORING DATA 120

5. FOREST PROTECTION AND WILDLIFE RESOURCE MANAGEMENT

V. Meshkova, I. Bobrov
PARAMETERS OF *PINUS SYLVESTRIS* HEALTH CONDITION AND *IPS ACUMINATUS* POPULATION IN PURE AND MIXED STANDS OF SUMY REGION 131

6. ECOLOGY AND NATURE PROTECTED AREAS MANAGEMENT

V. Korzhov, V. Kudra
FEATURES OF ANTHROPOGENIC IMPACT OF FOREST MANAGEMENT ON WATER PURITY IN MOUNTAIN FOREST WATERCOURSES 141

7. NATURAL RESOURCE ECONOMICS AND MANAGEMENT

L. Maksymiv, T. Garmatiy, M. Betz
SOCIO-ECOLOGICAL AND ECONOMIC ASPECTS OF THE ECOLOGICAL TOURISM DEVELOPMENT IN THE UKRAINIAN CARPATHIANS 149

I. Soloviy, R. Kozak, T. Kuleshnyk
SUSTAINABLE LAND USE PLANNING ON THE BASIS OF ECOSYSTEM SERVICES THEORY: THE CASE WITH TECHNOLOGY DECISION SUBSTANTIATION 162

A. Koller, N. Weber
VISIONS, MISSIONS AND STRATEGIES OF SELECTED INTERNATIONAL FOREST RESEARCH ORGANIZATIONS 169

V. Soloviy, I. Dubovichk
URBAN GOVERNANCE AND DECISION-MAKING UNDER CLIMATE CHANGE: A CRITICAL REVIEW OF FRAMEWORKS, METHODS AND TOOLS FROM THE PERSPECTIVES OF ECOLOGICAL ECONOMICS AND SUSTAINABILITY SCIENCE 181

8. FOREST ENGINEERING: EQUIPMENT, TECHNOLOGY AND ENVIRONMENT

İ. Taş, A. E. Akay
PRODUCTIVITY ANALYSIS OF MODIFIED FARM TRACTORS IN FORWARDING INDUSTRIAL WOOD PRODUCTS 196

9. RESOURCE SAVING AND ENVIRONMENTALLY SAFE WOOD PROCESSING TECHNOLOGIES

P. Bekhta, Y. Maksymiv, T. Krystofiak
THE EFFECT OF TEMPERATURE OF THERMAL DENSIFICATION OF WOOD SUBSTRATE, TYPE OF LACQUER AND NUMBER OF ITS LAYERS ON GLOSS OF FINISHED SURFACE 206

Yu. Huber, Z. Kopynets, Yu. Dadak, Zh. Humeniuk
ANALYSIS OF METHODS FOR DETERMINING THE TIME TO DRY UNEDGED PINE LUMBER 214

10. MEMORY PAGES

P. Yashchenko, I. Shpakivska, O. Maryskevych, I. Danylyk, O. Kagalo, Y. Kanarsky
IN MEMORY OF THE MEMBER OF FORESTRY ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE, CORRESPONDING MEMBER OF THE NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES OF UKRAINE MYKOLA PAVLOVYCH KOZLOVSKY (10.28.1956 – 05.24.2020) 222

INFORMATION FOR AUTHORS 224

1. БІОЛОГІЧНІ АСПЕКТИ РОСЛИННИХ УГРУПОВАНЬ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412001
Article received 2019.12.18
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Iryna Matsiakh
iramatsah@ukr.net
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630.4:632.7:58.07

Інвазії комах-філофагів на територію України

І. П. Мацях[1], В. О. Крамарець[2]

Інвазійні види комах є важливим чинником, який суттєво впливає на стан дерев у лісах і насадженнях населених пунктів. Встановлено видовий склад найбільш небезпечних видів інвазійних комах-філофагів (філофагів), які проникли на територію України. Охарактеризовано біологічні особливості інвазійних філофагів із груп: комахи із гризним ротовим апаратом, комахи мінуючі, комахи із колюче-сисним ротовим апаратом, галоутворюючі комахи. Виявлено найбільш небезпечні види інвазійних комах філофагів та охарактеризовано їхній вплив на стан лісів і зелених насаджень населених пунктів. Серед комах-інвайдерів є види, які успішно акліматизувалися, поширилися практично всією територією України та суттєво впливають на стан лісів і насаджень населених пунктів: Hyphantria cunea, Cameraria ohridella, Macrosaccus robiniella. В останні роки значну небезпеку становить подальше поширення та наростання чисельності низки комах: Aproceros leucopoda, Corythucha arcuata, Metcalfa pruinosa. Окрім цього, у зелених насадженнях населених пунктів масово поширюються та завдають шкоди Cydalima perspectalis, Corythucha ciliate, Halyomorpha halys, Igutettix oculatus. Основним шляхом поширення інвазійних комах в Україні є торгівля садивним матеріалом та декоративними рослинами. Використання хімічних і механічних методів для боротьби з поширенням інвазійних комах-філофагів не забезпечує достатнього ефекту. Природний контроль над інвазійними комахами можливий у випадку формування ефективного паразитарного комплексу, який, у поєднанні з іншими заходами, у майбутньому може стати основою інтегрованого захисту лісів та зелених насаджень населених пунктів.

Ключові слова: *філофаги; інвазійні види; поширення; ліси; зелені насадження населених пунктів.*

Вступ. Питання біологічних інвазій адвентивних (не місцевих) організмів стає одним із найважливіших викликів сучасності та розглядається як суттєва загроза біорізноманіттю природних екосистем (Evans, & Oszako, 2007; Roques et al., 2010; Kramarets, Matsiakh, 2017). Автохтонні фітофаги розвивалися паралельно із лісовими екосистемами, що призвело до формування певної системи реагування на зміну екологічних умов та до виникнення свого роду запобіжних механізмів протидії масовому розмноженню рослиноїдних комах. Зокрема, після різкого наростання чисельності хвоє- і листогриз-

[1] *Мацях Ірина Павлівна* – кандидат біологічних наук, докторант кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-260-04-08. E-mail: iramatsah@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2249-1296

[2] *Крамарець Володимир Олександрович* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, доцент кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-260-04-08, +38-067-252-76-56. E-mail: v_kramarets@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5978-3711

них комах, активізується розвиток ентомопатогенів та ентомофагів (хижаків і паразитоїдів). Натомість, інвазійні фітофаги у нових умовах часто можуть завдавати значної шкоди лісам – регулюючі чинники в біогеоценозах не працюють на належному рівні та не завжди можуть забезпечити ефективну протидію інвазії нового організму.

Навесні 2019 р. опубліковано Проект розпорядження Кабінету Міністрів України «Про схвалення Національної стратегії щодо поводження з інвазійними чужорідними видами флори і фауни в Україні на період до 2030 року» (Draft resolution..., 2019). Однак у цьому документі основну увагу приділено інвазійним видам рослин та хребетних тварин і практично нічого не сказано про поводження з інвазійними видами комах-фітофагів і фітопатогенів. Проте, вказується на необхідність «оновлення переліку карантинних організмів, посилення митного контролю стосовно ввезення організмів із-за кордону і роботи ветеринарної та фітосанітарної служби». Разом з тим, в останні роки на території Європи відмічено інвазію різних груп адвентивних рослиноїдних шкідників (Roques et al., 2010). Проблема неконтрольованої експансії адвентивних шкідників є дуже актуальною (Meshkova, Turenko & Bajdyk, 2014) і належить до однієї з найгостріших екологічних проблем глобального рівня. Міські зелені насадження є найсприйнятнішими до проникнення та подальшого поширення видів-інвайдерів, чому, зокрема, сприяє ввезення та використання нових видів рослин, поява нових екологічних ніш, сприятливий для розвитку фітофагів мікроклімат тощо. Водночас інвазійні фітофаги становлять доволі значну загрозу також і лісостанам.

Серед комах-інвайдерів дедалі більшого значення набуває поширення адвентивних видів комах із групи філофагів (в європейських джерелах їх ще називають фоліофагами) – тобто комах, які живляться асиміляційним апаратом рослин. Пошкодження листків суттєво впливає на фізіологічний стан рослин, призводить до їхнього ослаблення, а багаторазові пошкодження – і до їхнього відмирання. Тому дослідження біології та екології інвазійних філофагів в умовах України є актуальним завданням.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – адвентивні комахи-філофаги. *Предмет дослідження* – інвазія комах-філофагів у ліси та зелені насадження населених пунктів України. *Мета досліджень* – виявлення рівня загрози та можливого впливу інвазійних комах-філофагів на стан лісів і зелених насаджень населених пунктів.

Для вивчення видового складу інвазійних видів комах-фітофагів у 2017-2019 рр. здійснено рекогносцирувальне обстеження зелених насаджень населених пунктів та лісостанів на території Львівської, Закарпатської і Тернопільської областей. У ході візуального огляду дерев і кущів відбирали зразки пошкоджень, личинок та імаго комах-філофагів. Для ідентифікації видової належності комах використовували спеціальну літературу (Roques et al., 2010; Roques et al., 2017), а також інформацію із інтернет-ресурсів (Ellis, 2019; British Leafminers, 2019) та з міжнародних баз даних: DAISIE, EPPO, NPPO. Окрім цього опрацьовано інформацію про наявність різних видів комах-інвайдерів на території України у наукових публікаціях та в базі даних сайту Ukrainian Biodiversity Information Network [UkrBIN] (UkrBIN, 2020). За наявності власних спостережень або достовірної інформації від фахівців лісозахисних підприємств про поширення окремих видів, дані сайту доповнювали.

Результати досліджень та їх обговорення. За характером впливу на кормові рослини можна виділити кілька груп інвазійних комах-філофагів: комахи, личинки яких живляться листками або хвоєю відкрито; комахи-мінери – личинки яких живляться в середині хлорофілоносних тканин; комахи із колюче-сисним ротовим апаратом – живляться соками рослин, проколюючи покриви листків, а інколи і молодих пагонів; галоутворювачі – в процесі живлення спричиняють деформацію тканин листка та призводять до утворення галів.

Інвазійні філофаги, які живляться відкрито. Типовим прикладом інвазійного філофага, личинки якого живляться відкрито, є білий американський метелик *Hyphantria cunea* (Drury, 1773) (Lepidoptera: Arctiidae). Цей вид є об'єктом внутрішнього карантину в Україні. В 1952 р. виявлений у Закарпатській області, однак Карпати певний час були перешкодою для його подальшого проникнення на територію України. В 1966 р. після повторного проникнення із Румунії через Молдову на територію Одеської області американський білий метелик почав інтенсивно розширювати свій ареал (Krivosheev, 2009). Певний час білий американський метелик був приурочений до півдня України, однак тепер поширився на територію центральних і північних областей (рис. 1). Проникнення цього виду у більш північні райони та можливість його подальшого поширення пов'язують із потеплінням клімату (Gomi et al., 2007). Розглядається питання щодо вилучення його зі списку карантинних організмів (Krivosheev, 2009).

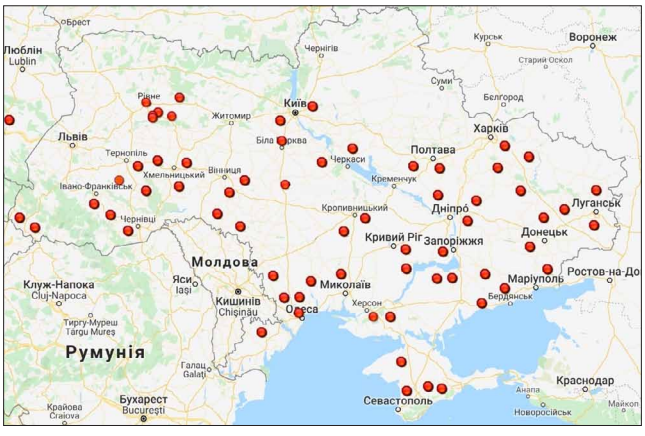


Рис. 1. Поширення *Hyphantria cunea* на території України (за даними сайту UkrBIN [http://www.ukrbin.com] із власними доповненнями)

Цей інвайдер є широким поліфагом – пошкоджує понад 250 видів кормових рослин. За високої чисельності суттєво ослаблює як місцеві, так і інтродуковані породи дерев, а за багаторазового пошкодження крон призводить до відмирання дерев. Формує протягом року два покоління, що підсилює негативну дію на кормові рослини. Проникнення білого американського метелика в 2018-2019 рр. у заповідні лісостани Природного заповідника «Медобори», де проведення хімічних заходів боротьби заборонене, створює небезпеку для стабільності природних комплексів подільських дібров. Надзвичайно небезпечний для садів, зелених насаджень населених пунктів і для лісостанів листяних порід.

Територією України активно поширюється новий інвазійний вид – самшитова вогнівка *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera: Crambidae) (синон. *Neoglyphodes perspectalis*; *Glyphodes perspectalis*; *Diaphania perspectalis*). Завдає значної шкоди різним видам та сортам самшиту (*Buxus* spp.) в зелених насадженнях населених пунктів. Цей далекосхідний вид проник на територію Європи (ймовірно, із садивним матеріалом для озеленення) та вже в 2006 р. масово поширився в зелених насадженнях Німеччини та Швейцарії (Billen, 2007; Krüger, 2008; Straten van der & Muus, 2010), а згодом і в інших країнах Європи (Gninenko et al., 2018). Після 2012 р. був завезений з Італії разом із самшитами, закупленими для озеленення олімпійських об'єктів в м. Сочі, після чого масово поширився на території Кавказу (Matsiakh, 2016; Matsiakh et al., 2018). В Україні гусениць самшитової вогнівки виявили влітку 2014 р. у розсаднику дендрарію ВЛНС «Березинка» ДП «Мукачівське ЛГ» (Turys, 2015).

Цей спеціалізований фітофаг самшиту був поширений на території Словаччини, звідки і відбулося його проникнення на Закарпаття. До 2017 р. самшитова вогнівка розповсюдилася практично по всьому Закарпаттю. Однак, вже у 2011-2012 рр. на форумах садівників були повідомлення про наявність цього шкідника в околицях м. Києва (Києво-Святошинський район), куди його, найімовірніше, завезли із садивним матеріалом з Європи. В 2018-2019 рр. самшитова вогнівка поширилася і в зелених насадженнях м. Львова. За даними сайту Ukrainian Biodiversity Information Network, станом на 2019 р. цей шкідник зафіксований у населених пунктах Закарпатської, Львівської, Одеської областей та в містах Київ, Харків, Одеса, Миколаїв, Херсон, Дніпро (рис. 2).

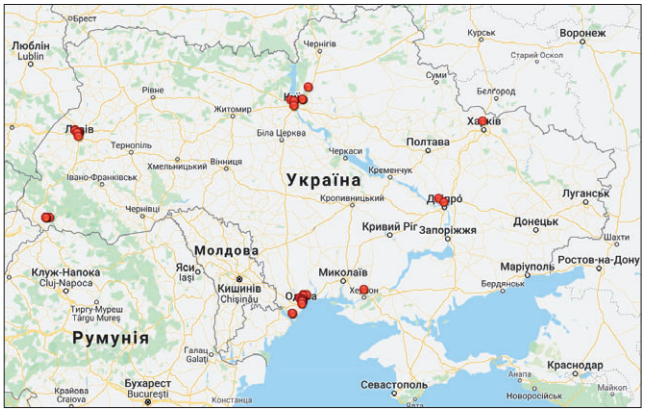


Рис. 2. Поширення *Cydalima perspectalis* на території України (за даними сайту UkrBIN [http://www.ukrbin.com])

Відомі дві морфологічні форми імаго самшитової вогнівки – типова та меланістична (рис. 3). Розвиток самшитової вогнівки відбувається надзвичайно інтенсивно – в умовах України формуються два покоління. Поширенню цього інвайдера сприяє практично незначна активність його природних ворогів – під час живлення гусениць в їхній гемолімфі нагромаджуються алкалоїди з листків, які, в поєднанні із жорсткими волосками на поверхні тіла, захищають гусениць від поїдання птахами та переважною більшістю європейських ентомофагів-хижаків. Облігатні паразитоїди самшитової вогнівки в Європі відсутні, вплив ентомопатогенних бактерій та грибів на цей час є несуттєвим.

а б в

Рис. 3[1]. *Cydalima perspectalis*: а – типова форма, б – меланістична форма, в – гусениця

[1] Всі фотографії у цій статті виконані авторами дослідження

Інтенсивне розповсюдження цього спеціалізованого шкідника самшиту становить значну загрозу для зеленогому господарствау – живлення гусениць відбувається дуже інтенсивно та призводить до швидкого відмирання кущів і деревець самшиту, які вирощували та формували тривалий час. Боротьба із личинками потребує ретельного кількаразового застосування інсектицидів протягомвпродовж вегетаційного періоду. Є відомості про те, що личинки уражаються ентомопатогенними бактеріями та грибами. Для них також властивий канібалізм – поїдання або травмування гусениць молодшого віку гусеницями старших вікових стадій (Gninenko et al., 2018).

Робінієвий пильщик *Nematus* (*Pteronidea*) *tibialis* (Newman, 1837) (Hymenoptera: Tenthredinidae) – інвазійний вид із Північної Америки. В Європі вперше виявлений у 1825 р. в Німеччині, у степовій зоні України відомий з кінця XIX ст. (Ermolenko, 1981). Монофаг, личинки якого прогризають отвори в середині листків робінії (*Robinia pseudoacacia* L.). На цей час поширений практично в усіх європейських країнах (Roques et al., 2010). На території України, однак, трапляється доволі рідко, суттєвих пошкоджень деревам робінії не завдає.

В'язовий пильщик-зигзаг *Aproceros leucopoda* Takeuchi, 1939 (Hymenoptera: Argidae) походить із Східної Азії. В Європі відомий принаймні з 2003 р. (на півночі Угорщини та півдні Польщі), а до 2010 р. поширився на територію Італії, Австрії, Румунії, Словаччини та України (Blank et al., 2010; Zandigiacomo et al., 2011; Martynov & Nikulina, 2017). Живиться листками різних видів роду *Ulmus*, де прокладає характерні звивисті ходи, а у старшому віці з'їдає листки повністю. Європейські види *Ulmus minor* Mill. та *U. glabra* Huds. доволі уразливі – дефоліація деяких дерев у Сербії сягала 74-98% (Glavendekić et al., 2013). Партеногенетичне розмноження, короткий цикл літніх генерацій і здатність утворювати 2-3 (а в деяких районах і більше) поколінь впродовж року сприяють формуванню осередків масового розмноження в'язового пильщика-зигзаґа та призводять до сильної дефоліації дерев (Blank et al., 2010; Martynov & Nikulina, 2017).

Інвазійні комахи-мінери. Інвазійні види мінуючих комах (зокрема – мікролепідоптера) стають важливими чинниками негативного впливу на деревні породи у зелених насадженнях населених пунктів і в лісах. Переважна більшість цих комах за характером живлення належать до олігофагів, тобто таких, що пристосувалися до споживання хлорофілоносних частин листків рослин певних родів. Личинки мінуючих видів є типовими ендофагами (живляться всередині тканин рослин), тому вони більш захищені та стійкі до дії зовнішніх умов порівняно з листогризними комахами, які живуть відкрито. Вилучаючи частину фотосинтезуючих тканин комахи-мінери можуть суттєво ослаблювати кормові рослини та зменшувати їхню стійкість до патогенних організмів.

Поширення інвазійних комах-мінерів часто має масовий характер. Типовим прикладом може бути гіркокаштанова мінуюча міль-строкатка *Cameraria ohridella* Deschka & Dimic (Lepidoptera; Gracillariidae), яку описано в 1986 році. Вона дуже швидко охопила весь вторинний ареал гіркокаштана звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.) в населених пунктах і придорожних лісосмугах Європи, зокрема й України.

Перші пошкодження листків гіркокаштана звичайного у м. Львові виявлені в 2000 р., а з 2002 р. цей фітофаг щорічно завдає значних пошкоджень зеленим насадженням міста (Kramarets, 2005). Біологія та екологія цього виду детально описана в літературі (Akimov et al., 2003, 2006). Гіркокаштанова міль-строкатка поширилася практично на всій території України. Це полівольтинний вид – протягом року може утворювати 2-4 покоління. У м. Львові вже наприкінці червня ступінь пошкодження листків гіркокаштана звичайного мінуючою міллю коливається в межах від 25 до 60%. Найсуттєвіші пошкодження листків спостерігаються у парках, скверах і придорожніх лісосмугах, де залишається на зиму опале листя. Гіркокаштанова мінуюча міль зимує на стадії лялечки у павутинних коконах всередині мін в опалих листках, саме тому в парках і придорожніх насадженнях завжди є значний запас зимуючих особин шкідника. Натомість у насадженнях, розташованих у районах щільної міської забудови, де листки каштанів збирають двірники, пошкодження виявляються у другій половині літа, коли на ці дерева перелітають імаго другого та третього поколінь із скверів і парків. На пошкоджених гусеницями листках розвивається гриб *Phyllosticta paviae* Desm. (синон. *Guignardia aesculi* (Peck) V. B. Stewart) – збудник бурої плямистості листків гіркокаштана, що призводить до їхнього передчасного опадання. До кінця літа ступінь пошкодження листків гіркокаштана звичайного сягає 80-100%.

Cameraria ohridella може заселяти також деякі інші види із секції *Aesculus*. Натомість у листках гіркокаштана криваво-м'ясного (*Aesculus* × *carnea* Zeyh.), який починають впроваджувати в озеленення в Україні замість гіркокаштана звичайного, личинки цього інвазійного виду (навіть після спроб заселення) не розвиваються. Однак, в окремі роки листки гіркокаштана криваво-м'ясного доволі сильно пошкоджуються бурою плямистістю, що також призводить до суттєвого ослаблення дерев.

За літературними даними відомо, що личинки *Cameraria ohridella* можуть також розвиватися в листках видів роду *Acer*, зокрема, *A. platanoides* L. та *A. pseudoplatanus* L. (Kosibowicz, 2005). У насадженнях м. Львова виявлено випадки заселення та успішного розвитку гусениць гіркокаштанової мінуючої молі на листках явора (рис. 4). Такі пошкодження виявляли у другій половині літа, особливо в місцях, де явір ріс поряд із сильно пошкодженими деревами гіркокаштана. У Польщі два покоління цього мінера успішно розвивалися на листках явора (Kosibowicz, 2005).

Рис. 4. Міни *Cameraria ohridella* на листках явора

Гіркокаштанова мінуюча міль є в раціоні багатьох птахів, має доволі широке коло ентомофагів – хижаків і паразитоїдів (De Prins W. & De Prins J., 2005; Grabenweger et al., 2005; Kosibowicz, 2005). Однак, біологічні чинники не дають достатнього результату – відсутні високоспеціалізовані паразити, які б могли ефективно впливати на *Cameraria ohridella.*

Липова мінуюча міль-строкатка *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) (Lepidoptera: Gracillariidae) поширилася з Далекого Сходу. В м. Києві була виявлена в 1987 р. (Kozlov, 1991), однак на сьогодні трапляється практично на всій території України та в країнах Європи (Šefrová, 2003). В міських насадженнях ступінь пошкодження листків може суттєво різнитися навіть на сусідніх вулицях, відмічено також коливання чисельності в різні роки. Надає перевагу затіненим насадженням. У парках, лісопарках і лісах на одному листку липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.) може траплятися до 30 мін, а на листку липи широколистої (*T. platyphyllos* Scop.) – до 35. Доволі сильне пошкодження листків липи дрібнолистої виявлено нами в заказнику «Дача Галілея» (Улашківське лісництво ДП «Чортківське ЛГ»), в насадженнях ПЗ «Медобори». Зимує на стадії імаго, для чого ховається в тріщини кори або в будь-які щілини.

Листки платана (*Platanus* spp.) заселяє платанова міль-строкатка *Phyllonorycter platani* (Staudinger, 1870) (Lepidoptera: Gracillariidae). На території України наприкінці 80-х років XX ст. платанова міль-строкатка виявлена в Криму (Budashkin et al., 2004), а з середини 90-х – у Херсонській обл. (Meshkova & Nazarenko, 2012). В 2003-2004 рр. пошилася в Запорізькій області. Масове пошкодження листків платанів спостерігається в населених пунктах Закарпатської обл. (рис. 5) – середня кількість мін на листку може сягати до 26, а максимальна – 34 шт. У 2017-2019 рр. виявлено пошкодження листків платанів у м. Львові. Платанова мінуюча міль значної шкоди завдає платанам у Стрийському парку – на момент обстежень (серпень 2019 р.) на листках виявлено до 15-20 мін. Ступінь пошкодження листків сягала до 45%. На початку осені 2019 р. виявлено заселення мінуючою міллю листків молодих дерев платана, висаджених на просп. В. Чорновола, хоча під час обстеження цих дерев у середині літа пошкоджених листків не було.

Рис. 5. *Phyllonorycter platani*: міни та личинка в міні

Розширення територій, на яких появляється *Phyllonorycter platani*, відбувається внаслідок збільшення кількості платанів у зелених насадженнях населених пунктів – платани відзначаються високою декоративністю, вони пило- та газостійкі, добре ростуть в умовах міст, тому їх масово впроваджують для озеленення. У цьому випадку інвазійний вид рухається вслід за кормовою породою.

Гусениці робінієвої молі-строкатки *Macrosaccus robiniella* (Clemens 1859), раніше відомої під назвою *Phyllonorycter robiniella* (Lepidoptera: Gracillariidae), утворюють міни на нижньому боці листків – у губчастій паренхімі (рис. 6а) робінії звичайної (*Robinia pseudoacacia* L.) та клейкої (*R. viscosa* Vent.). В Європі цей вид виявлений у 1982 р. поблизу м. Базель (Швейцарія), після чого поширився територією інших європейських країн (De Prins J. & De Prins W., 2019). На цей час є звичайним шкідником робінії у зелених насадженнях населених пунктів, у придорожніх лісосмугах та в лісах, однак трапляється спорадично, окремими осередками. За результата-

ми обстежень в містах заходу України, ступінь пошкодження листків сягає 20-25%. Може формувати 2-3, інколи – 4 покоління впродовж року. Зимують метелики у тріщинах кори (Maslyakov & Izhevsky, 2011; Meshkova & Mikulina, 2011).

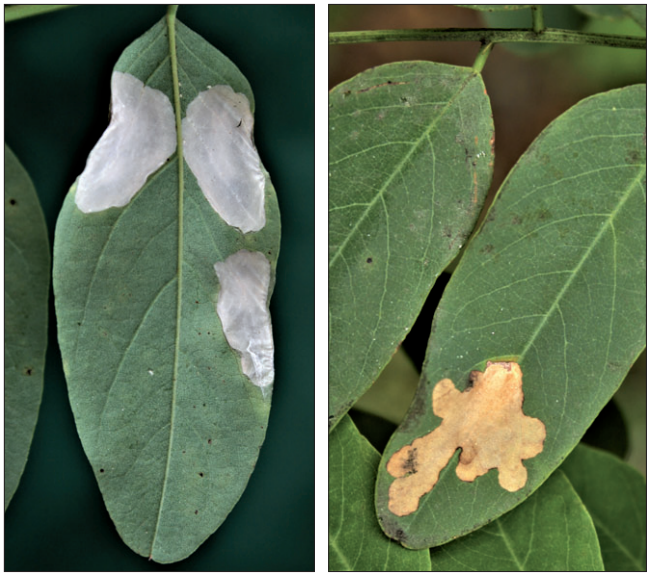


Рис. 6. Міни, прокладені личинками:
а – *Macrosaccus robiniella*; б – *Parectopa robiniella*

У Сербії виявлено 23 види паразитоїдів, котрі знищували понад 50% личинок і лялечок *Macrosaccus robiniella*. Однак всі ці види – поліфаги, які розвиваються на інших мінуючих комахах як основні паразитоїди (Stojanović & Marković, 2005).

У місцях живлення гусениць *Parectopa robiniella* Clemens, 1863 (Lepidoptera: Gracillariidae) утворюються характерні верхньобокові міни (рис. 6 б) на листках *Robinia pseudoacacia*. В Європі цей вид виявили в 1970 р. на півночі Італії поряд з аеродромом, на якому приземлялися літаки із США. В Україні відома з 2002 р. (Bidzilya & Budashkin, 2004). Зараз поширилася на заході України, в центральних, східних та південних областях – у міських насадженнях, придорожніх лісосмугах, лісах. Утворює два покоління впродовж року. Зимують дорослі особини. Трапляється рідше порівняно із попереднім видом. Окремі автори пояснюють це тим, що лялечка утворюється в опалих листках на поверхні землі, де нею живляться різноманітні ентомофаги (Maslyakov & Izhevsky, 2011).

Інвазійні філофаги із колюче-сисним ротовим апаратом. В ході обстеження виявлено локальні пошкодження декоративних рослин, спричинені інвазійними шкідниками із колюче-сисним ротовим апаратом. Північноамериканський інвайдер клоп платановий мереживний *Corythucha ciliate* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) виявлений у 1964 р. на півночі Італії, звідки швидко поширився на територію інших країн (Gninenko, 2018). За даними сайту Ukrainian Biodiversity Information Network (UkrBIN, 2020) шкідник поширений в Закарпатській та Херсонській областях.

У 2018 р. виявлено проникнення цього виду в зелені насадження м. Львова, однак пошкодження ще не є масовими. У Закарпатті, де різні види платана часто використовують для озеленення, цей інвазійний вид спричиняє значне пошкодження листків у вуличних і паркових насадженнях. Унаслідок живлення личинок та імаго цього клопа листки платанів набувають сіро-зеленого забарвлення (рис. 7), скручуються та передчасно опадають. Може живитися також на листках видів із родів *Acer* та *Fraxinus*. Протягом року розвиваються два покоління. Зимують імаго в тріщинах кори та в будівлях, де можуть кусати і людей. Екскременти та укуси мереживного клопа в окремих людей спричиняють алергічні реакції (Gninenko, 2018).

Рис. 7. Хлороз листків платана після пошкодження *Corythucha arcuata* (м. Хуст Закарпатської обл.)

На територію України проник клоп дубовий мереживний *Corythucha arcuata* (Say, 1832) (Heteroptera: Tingidae) – інвазійний вид з Північної Америки. У 1999 р. був виявлений в Італії, а в 2016 р. – в Краснодарському краї (Росія), де завдав значної шкоди лісостанам дуба (Gninenko, 2018). В Україні (UkrBIN, 2020) відомий з околиць м. Херсона (2017 р.) та м. Виноградова (2019 р.).

Внаслідок живлення личинок та імаго *Corythucha arcuata* виникає хлороз листків, вони в'януть і передчасно опадають. Становить значну загрозу для лісів з участю дуба звичайного (*Quercus robur* L.) та скельного (*Q. petraea* (Matt.) Liebl.). Загалом може живитися на 27 видах роду *Quercus* (Csóka et al., 2020), що створює умови для інтенсивного подальшого поширення цього виду в лісах та зелених насадженнях населених пунктів України.

З інших інвазійних видів клопів можливе подальше поширення територією України клопа мармурового *Halyomorpha halys* Stål, 1855 (Heteroptera: Pentatomidae) – інвазійного виду із Південно-Східної Азії. Перші знахідки цього виду в Україні зафіксовані влітку 2019 р. в околицях м. Одеси (UkrBIN, 2020). Це поліфаг, який висмоктує соки із квітів, плодів, пагонів та листків плодових дерев, декоративних рослин, сільськогосподарських культур. На листках у місцях живлення виникають некротичні плями (Gninenko, 2018). У лісах шкідник може сильно пошкоджувати плоди та листки ліщи-

ни, малини, у Китаї живиться на різноманітних деревних породах (Lee DooHyung et al., 2013).

Цикадка біла *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830) (Hemiptera: Flatidae) – небезпечний шкідник-поліфаг, живлення якого виявлено на понад 180 видах покритонасінних рослин із 58 родин (Uzhevskaya et al., 2012). У кормовому раціоні – трави (в т.ч. – бур'яни), плодові та лісові дерева і кущі, декоративні рослини. Личинки та імаго (рис. 8) висмоктують соки із листків і пагонів рослин. Природний ареал *M. pruinosa* – Північна та Центральна Америка, в 1979 р. виявлена в Італії (Zangheri & Donadini, 1980), звідки поширилася Європою.

Основним шляхом поширення є садивний матеріал із кладками яєць цикадки. Вірогідним поширенням є також випадкове перевезення транспортом, на місцевому рівні подальше займання нових територій відбувається внаслідок розселення імаго (Strauss, 2010). У 2011 р. білу цикадку виявили в зелених насадженнях м. Одеси (Uzhevskaya et al., 2012), а в 2017 р. – на території Закарпатської обл. (UkrBIN, 2020). Очевидно, експансія цього виду територією України буде і надалі інтенсивно продовжуватися.

Цикадка очкаста *Igutettix oculatus* (Lindberg, 1929) (Homoptera: Cicadellidae) – інвазійний вид, який поширився з Далекого Сходу на територію Центральної та Північної Європи, де живиться на листках рослин із родів *Syringa*, *Ligustrum* та *Fraxinus* (Stalažs, 2013). Цикадка також поширилася і в міських насадженнях заходу України. В останні роки спричиняє доволі суттєві пошкодження листків бирючини та бузку в м. Львові. Листки набувають строкатого забарвлення (рис. 9), а за сильного пошкодження опадають.

Рис. 8. Імаго *Metcalfa* pruinosa

а б

Рис. 9. Листки, пошкоджені *Igutettix oculatus*: а – бирючина; б – бузок угорський

Дуже сильно пошкоджує бирючину в Стрийському парку – частка пошкоджених листків сягає 75-100%. Виявлено значні пошкодження живоплотів із бирючини в районах садибної забудови (на вул. Княгині Ольги, генерала Чупринки, Рудницьких, Горбачевського та ін.). У 2019 р. відмічено сильне пошкодження листків бирючини та різних видів бузку в Ботанічному саду НЛТУ України.

Торгівля декоративними рослинами сприяє проникненню інвазійних видів попелиць (надродина Aphidoidea), що часто недооцінюється фахівцями (Hliakouskaya et al., 2018). Під час транспортування садивного матеріалу доволі складно виявити наявність личинок та, особливо, яєць цієї групи філофагів. У нових умовах біологічні особливості попелиць (висока плодючість; здатність до партеногенетичного розмноження; короткий цикл розвитку, що дає можливість формувати значну кількість поколінь впродовж вегетаційного періоду) сприяють швидкому збільшенню їхньої чисельності та поши-

ренню. Масовий розвиток попелиць-філофагів призводить до зниження декоративності та погіршення розвитку рослин. Водночас попелиці можуть бути поширювачами (векторами) деяких збудників хвороб.

На території заходу України в останні роки часто трапляється американська ясенева попелиця *Prociphilus fraxinifolii* (Riley, 1879) (Hemiptera: Aphididae). Ця попелиця є вузьким олігофагом – живиться на північноамериканських видах роду *Fraxinus*, в Європі заселяє інтродуковані ясени – пенсільванський (*F. pennsylvanica* Marshall) та американський (*F. americana* L.). У місцях живлення личинок скручуються та деформуються листки і молоді пагони – утворюються доволі великі псевдогали (відкриті гали), в середині яких містяться личинки (рис. 10). Подібні пошкодження на ясені звичайному можуть завдавати аборигенні види – *Prociphilus fraxini* (Fabricius, 1777) та *P. bumeliae* (Schrank, 1801).

В Європу попелиця *P. fraxinifolii* потрапила на початку 2000-х років (Remaudiere, Ripka, 2003), в Україні виявлена в Закарпатті (2005 р.), а в 2012-1014 рр. – у м. Києві (Chumak et al., 2016). У багатьох районах Європи цей вид став широко розповсюдженим антропофітом (Hałaj et al., 2016). Тепер доволі інтенсивно поширюється в зелених насадженнях і лісосмугах на заході України.

На робінії звичайній живиться попелиця *Appendiseta robiniae* (Gillette, 1907) (Hemiptera: Aphididae), яка може протягом року формувати до 11 поколінь, швидко поширюючись та адаптуючись до нових умов (Borowiak-Sobkowiak, Durak, 2012).

Доволі звичним видом у насадженнях за участю робінії на території України є попелиця люцернова *Aphis craccivora* C.L. Koch, 1854 (Hemiptera: Aphididae), яка вже давно акліматизувалася в Європі та мігрує з різних бобових (зокрема – люцерни) на робінію. Ця попелиця також живиться на карагані дерев'янистій (*Caragana arborescens* Lam.) та інших рослинах з родини Бобові, рідше трапляючись на молодих пагонах клена, яблуні, дуба та ін.

а б

Рис. 10. Ясень пенсільванський пошкоджений *Prociphilus fraxinifolii*:
а – деформовані пагони і листки; б – колонія личинок

Для зелених насаджень важливе значення можуть мати також інші інвазійні попелиці. У Закарпатській обл. на ваточнику сирійському (*Asclepias syriaca* L.) виявлено живлення попелиці *Aphis nerii* Boyer de Fonscolombe, 1841 (Hemiptera: Aphididae). Ваточник сирійський вважається небезпечним інвазійним бур'яном в Європі. Попелиця *A. nerii* може успішно розвиватися на багатьох видах декоративних і культурних рослин відкритого та закритого ґрунту (Chumak et al., 2016). У м. Києві в 2004 р. на листках та пагонах різних видів рододендронів (*Rhododendron* spp.) виявлена попелиця *Illinoia* (*Masonaphis*) *lambersi* (MacGillivray, 1960) (Hemiptera: Aphididae), подальшого поширення якої варто очікувати в зелених насадженнях населених пунктів (Chumak et al., 2016).

Інвазійні філофаги-галоутворювачі. Галиця робінієва крайова *Obolodiplosis robiniae* (Haldeman, 1847) (Diptera: Cecidomyiidae) в насадженнях робінії звичайної на території України відома з 2006 р. (Berest, 2006). У 2016-2017 рр. у м. Львові цей вид траплявся дуже зрідка, заселеними були лише окремі листки. З 2018 р. листкова галиця поширилася в багатьох парках, скверах та вуличних насадженнях. Ступінь заселення листків коливалася в межах 21-53%. Живлення личинок призводить до скручування краю листової пластинки (рис. 11). Восени личинки заляльковуються в ґрунті, імаго появляються навесні. Пошкодження листків робіній справжньої та клейкої цією галицею в сучасних умовах не спричиняє суттєвого впливу на стан заселених дерев.

Екологічні та економічні наслідки інвазій комах-філофагів. Поширення переважної більшості інвазійних комах-філофагів має найбільше значення для зелених насаджень міст і населених пунктів України (табл.).

Коеволюція рослин і камах-фітофагів, чи, точніше, «географічна мозаїка коеволюційного процесу» визначає наявність захисних реакцій рослин і спроможність комах-фітофагів їх долати. Така коеволюція відбувається на рівні локальних угруповань і залежить від генетичних властивостей рослин і комах, а також від їхньої реакції на екологічні умови конкретного географічного середовища (Thompson, 2005). У випадку появи нових інвазійних видів рослиноїдних комах усі усталені в ході еволюції зв'язки порушуються. У нових умовах починається формування нових зв'язків між адвентивними фітофагами, аборигенними рослинами та наявними захисними механізмами в рослинних угрупованнях – в тому числі з ентомофагами, ентомопатогенними організмами тощо. З огляду на це, по-різному виявляється вплив інвазійних комах-філофагів на рослини. Пошкодження дерев гіркокаштана звичайного *Cameraria ohridella* є причиною різкого зниження декоративності та середовищезахисних функцій насаджень за участю цього декоративного виду, який донедавна вважався дуже стійким до умов міського середовища. Заміна дерев гіркокаштана на стійкіший гіркокаштан кривавом'ясний (*Aesculus* × *carnea*) або на інші види лис-

тяних порід пов'язана зі значними матеріальними витратами. Здійснення заходів хімічного захисту шляхом ін'єкції системних інсектицидів також потребує значних коштів і не завжди забезпечує бажаний ефект. Досвід застосування системного препарату «Camerkil» у м. Львові показує, що на гілках, в які не проник інсектицид, листки і надалі пошкоджуються личинками. Окрім цього, отвори, через які вносять препарат, часто сприяють зараженню гіркокаштанів бактерією *Pseudomonas syringae* pv. *aesculi* (Pae), що, особливо на старих деревах із центральною стовбуровою гниллю, призводить до різкого погіршення водопостачання крони та є причиною відмирання дерев.

а б

Рис. 11. Робінієва крайова галиця *Obolodiplosis robiniae*: а – гали, б – личинки

Таблиця

Ступінь впливу інвазійних комах-філофагів на ліси та зелені насадження населених пунктів

Видова назва комахи	Кормові рослини	Ступінь впливу	
		ліси	населені пункти
1	2	3	4
Hyphantria cunea	Листяні породи	***	***
Cydalima perspectalis	*Buxus* spp.	–	***
Nematus tibialis	*Robinia pseudoacacia*	*	**
Aproceros leucopoda	*Ulmus* spp.	***	***
Cameraria ohridella	*Aesculus hippocastanum*, *Acer platanoides, A. pseudoplatanus*	*	***
Phyllonorycter issikii	*Tilia cordata*, *T. platyphyllos*	**	***
Phyllonorycter platani	*Platanus* spp.	–	***
Macrosaccus robiniella	*Robinia pseudoacacia*, *R. viscosa*	**	**
Parectopa robiniella	*Robinia pseudoacacia*	**	**
Corythucha ciliate	*Platanus* spp.	–	***
Corythucha arcuata	*Quercus* spp.	***	***
Halyomorpha halys	Плодові дерева, декоративні рослини, сільськогосподарські культури	**	***
Igutettix oculatus	*Syringa* spp., *Ligustrum* spp., *Fraxinus* spp.	–	***
Metcalfa pruinosa	Плодові та лісові дерева і кущі, декоративні рослини	***	***
Prociphilus fraxinifolii	*Fraxinus pennsylvanica*, *F. americana*	*	**
Appendiseta robiniae	*Robinia pseudoacacia*	*	**
Aphis craccivora	*Robinia pseudoacacia*, бобові рослини	*	**

Продовж. табл.

1	2	3	4
Aphis nerii	Декоративні рослини	?	**
Illinoia lambersi	*Rhododendron* spp.	–	**
Obolodiplosis robiniae	*Robinia* spp.	?	?

Ступінь впливу: *** – значна; ** – в певних умовах може завдавати шкоди; * – спричиняє спорадичні пошкодження; ? – оцінити складно; – – не має значення для рослин у цих умовах.

Важливе значення для різних типів насаджень має масове поширення білого американського метелика (*Hyphantria cunea*), в'язового пильщика-зигзаґа (*Aproceros leucopoda*), клопа дубового мереживного (*Corythucha arcuata*) та цикадки білої (*Metcalfa pruinosa*). Розвиток цих видів може бути причиною погіршення санітарного стану та відмирання дерев, що може призвести до суттєвої перебудови структури лісів і насаджень населених пунктів.

Вважається, що інвазійні види мінерів у лісах (на відміну від населених пунктів) не зможуть завдати суттєвої екологічної шкоди насадженням (Kirichenko et al., 2019), оскільки у лісостанах краще працюють регулюючі механізми. Незважаючи на масове пошкодження листків липи дрібнолистої, не зафіксовано суттєвого погіршення стану дерев у природних лісах. Інвазійні філофаги робінії можуть мати певне значення в південних регіонах України, де ця порода займає значні площі у лісових насадженнях, широко застосовується у лісосмугах і в озелененні населених пунктів. Поряд з цим, робінію звичайну вважають інвазійним видом, присутність якого є небажаною у природних лісах. Тому у цьому випадку виникає конфлікт між двома інвайдерами – на інших породах мінери робінії не розвиваються.

У насадженнях населених пунктів негативний екологічний та економічний вплив може мати масовий розвиток білого американського метелика *Hyphantria cunea*, в'язового пильщика *Aproceros leucopoda*, клопів *Corythucha ciliate*, *C. arcuata*, цикадок *Igutettix oculatus*, *Metcalfa pruinosa* та мінуючих молей *Cameraria ohridella*, *Phyllonorycter issikii*, *Ph. platani*. Негативний екологічний вплив цих видів виявляється у зменшенні декоративності, захисних і середовищетвірних функцій зелених насаджень населених пунктів. Захист насаджень від пошкоджень інвазійними філофагами традиційними методами (хімічним, фізико-механічним) є складним, потребує періодичного повторення та часто не забезпечує достатнього ефекту. Для ведення боротьби необхідні значні кошти, однак в Україні програми захисту міських насаджень фінансуються недостатньо. У приватних садибах захисні роботи залежать від волі їхніх власників. Значні фінансові та матеріальні витрати потрібні також для відновлення зелених насаджень населених пунктів, які загинули внаслідок діяльності інвазійних видів.

Ефективний контроль за поширенням інвазійних філофагів за відсутності добре сформованого блоку ентомофагів не може бути реалізованим. Прикладом цього є поширення білого американського метелика *Hyphantria cunea* (об'єкт внутрішнього карантину в Україні). Хімічна та фізико-механічна боротьба із цим шкідником проводилася здебільшого в садах та в населених пунктах, однак не забезпечила якоїсь відчутної результативної протидії його просуванню територією нашої країни. Нині у білого американського метелика в Європі сформувався добре виражений паразитарний комплекс – види з родів *Trichogramma*, *Tachina* і *Chalcidoidea* та навіть деякі птахи, які можуть забезпечити біологічний контроль та регулювання його чисельності в природних умовах (Roques et al., 2010). У деяких випадках численний аборигенний паразитарний комплекс не здатний ефективно регулювати масовий розвиток інвазійних філофагів, зокрема гіркокаштанової мінуючої молі-строкатки *Cameraria ohridella* (Kirichenko et al., 2019) та інвазійних видів попелиць. Стосовно інших видів важливими є відсутність або недостатня кількість вузькоспеціалізованих ентомофагів, наприклад, стосовно самшитової вогнівки *Cydalima perspectalis*, мармурового клопа *Halyomorpha halys*, видів роду *Corythucha* та деяких інших. У цьому випадку для забезпечення ефективного контролю доцільною може бути програма інтродукції та акліматизації їхніх природніх ворогів.

Процес проникнення нових адвентивних комах-філофагів на територію України продовжуватиметься й надалі. Зокрема в Угорщині виявлено нові для Європи види північноамериканських мінуючих молей *Coptodisca lucifluella* (Clemens, 1860) та *C. juglandiella* (Chambers, 1874), личинки яких живляться на листках дерев з родів *Juglans*, *Carya* та *Pterocarya* (Takács et al., 2020). Поява цих видів на території Закарпаття – справа короткого часу.

Одним із основних шляхів поширення інвазійних організмів (у т.ч. комах-філофагів) на далекі відстані є торгівля садивним матеріалом і декоративними рослинами або випадкове перенесення комах із товарами та матеріалами (Roques et al., 2017; Kirichenko et al., 2019). З огляду на це, дедалі більшого значення набуває контроль та своєчасне виявлення комах-інвайдерів у розсадниках, садових центрах тощо. В межах країни інвазійні види часто поширюються із транспортом (свого роду «автостопом») під час залізничних або автомобільних перевезень. Сприяють поширенню інвазійних комах придорожні лісосмуги, насадження по берегах річок тощо. На локальному рівні певне значення має пасивний перенос вітром. Зокрема, це стосується

мікролепідоптера – дрібних метеликів (мінуючих молей), які без допомоги повітряних потоків не можуть далеко перелітати від місць розмноження.

Висновки. Інвазії комах-філофагів можуть стати важливим чинником погіршення стану лісостанів та, особливо, зелених насаджень населених пунктів. Найбільшу небезпеку для деревних ценозів у лісах України становлять *Hyphantria cunea*, *Aproceros leucopoda*, *Corythucha arcuata*, *Metcalfa pruinosa*. На насадження населених пунктів значний негативний вплив можуть мати *Hyphantria cunea*, *Aproceros leucopoda*, *Corythucha ciliate*, *C. arcuata*, *Igutettix oculatus*, *Metcalfa pruinosa*, *Cameraria ohridella*, *Phyllonorycter issikii*, *Ph. platani*. Наслідком розвитку цих видів є погіршення виконання середовищетвірних, декоративних та захисних функцій зелених насаджень в населених пунктах та економічні витрати на проведення боротьби або заміну втрачених елементів озеленення.

Застосування хімічних і фізико-механічних методів боротьби із інвазійними комахами-філофагами не дає достатнього довготривалого ефекту. Природний контроль чисельності таких комах можливий тільки у разі формування ефективного паразитарного комплексу, який, в поєднанні із іншими заходами, може стати основою інтегрованого захисту лісів та зелених насаджень населених пунктів.

References

Akimov, I.A., Zerova, M.D., Narolsky, N.B., Nikitenko, G.N., Sviridov, S.V., Kohanets, A.M. & Babidoritch, M. M. (2006). Biology of Horse Chestnut Leaf-Mining Moth, *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae), in Ukraine. Communication 2. *Bulletin of Zoology*, *40* (4), 321-332. Retrieved from http://www.v-zool.kiev.ua/pdfs/2003/5/04.pdf (in Russian).

Akimov, I.A., Zerova, M.D., Narolsky, N.B., Sviridov, S.V., Kohanets, A.M., Nikitenko, G.N. & Gershenzon, Z.S. (2003). Biology of a Chestnut Mining Moth *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) in Ukraine. Communication 1. *Bulletin of Zoology*, *37* (5), 41-52. Retrieved from http://www.v-zool.kiev.ua/pdfs/2003/5/04.pdf (in Russian).

Bidzilya, O.V. & Budashkin, Yu.I. (2004). New records of Lepidoptera from Ukraine. *Proceedings of zoological museum Kiev Taras Shevchenko National University*, *2*, 59-68 (in Ukrainian).

Billen, W. (2007). *Diaphania perspectalis* (Lepidoptera: Pyrallidae) – a new moth in Europe. *Mitteilungen der Entomologischen Gesellschaft Basel*, *57* (2/4), 135-137.

Berest, Z.L. (2006). Gall midge detection *Obolodiplosis robiniae* (Diptera, Cecidomuiidae) in Ukraine. *Bulletin of Zoology*, *40* (6), 534 (in Russian).

Blank, S.M., Hara, H., Mikulás, J., Csóka, G., Ciornei, C., Constantineanu, R. ... Vétek, G. (2010). *Aproceros leucopoda* (Hymenoptera: Argidae): An East Asian pest of elms (*Ulmus* spp.) invading Europe. *European Journal of Entomology*, *107*, 357-367. Retrieved from https://www.eje.cz/pdfs/eje/2010/03/09.pdf

Borowiak-Sobkowiak, B. & Durak, R. (2012). Biology and ecology of *Appendiseta robiniae* (Hemiptera: Aphidoidea) – an alien species in Europe. *Central European Journal of Biology*, *7* (3), 487-494. https://doi.org/10.2478/s11535-012-0034-3

Budashkin, Yu. I., Potapenko, I.L. & Letuzova, V. Yu. (2004). Organization of monitoring the status of the plane leaf miner populations *Phyllonorycter platani* (Staudinger, 1870) (Lepidoptera, Gracillariidae) in South-East Crimea. *Ecosystems of Crimea, their optimization and protection*, *14*, 19-28 (in Russian).

British Leafminers (2019). [Electronic resource]. Date of access: 23.12.2019. Mode of access: http://www.leafmines.co.uk.

Chumak, V.O., Zhuravlyov, V.V., Mihaly, A.V. & Halac, V.V. (2016). New invasive species of aphids, registered in Ukraine. I (IV) International Scientific an Practical Meeting «Problems of Modern Entomology» Uzhgorod, 15-17 September 2016. Abstracts. *Ukrainska Entomofaunistyka*, *7* (3), 97.

Csóka, G., Hirka, A., Mutun, S., Glavendekić, M., Mikó, A., Szőcs, L., ... Hrašovec, B. (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*, 61-74. https://doi.org/10.1111/afe.12362

De Prins, W., & De Prins, J. (2005). Gracillariidae (Lepidoptera). *In*: *World catalogue of insects. Vol. 6*. Apollo Books, Stenstrup, 502 p.

De Prins, J. & De Prins, W. (2019). Global taxonomic database of Gracillariidae (Lepidoptera). Retrieved from http://www.gracillariidae.net/. Accessed 01 October 2019.

Draft resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the National Strategy for the Management of Invasive Alien Species of Flora and Fauna in Ukraine for the Period up to 2030»: May 2, 2019. (2019). Retrieved from https://menr.gov.ua/news/33368.html (in Ukrainian).

Ellis, W.N. (2019) Plant Parasites of Europe: leafminers, galls and fungi [Electronic resource]. Accessed 5 December 2019. Retrieved from http://bladmineerders.nl/

Evans, H. & Oszako, T. (Eds.). (2007). *Alien Invasive Species and International Trade*. Warsaw: Instytut Badawczy Leśnictwa.

Ermolenko, V.M. (1981). Genesis of the fauna of sawfl ies (Hymenoptera, Symphyta) of man-made coenoses of cultivated lands in the south of the European part of the USSR. The newest advances in agricultural entomology: Materials of the VIII Congress VEO (Vilnius, 9-13 October 1979), 73-76 (in Russian).

Hałaj, R., Osiadacz, B. & Poljaković-Pajnik L. (2016). Upper Silesia – a Polish bridgehead gained by

Prociphilus (*Meliarhizophagus*) *fraxinifolii* (Riley, 1879), an alien aphid. *Acta entomologica silesiana*, *24 (online 019)*, 1-9. Retrieved from http://mgb.nazwa.pl/stronaste/wp-content/uploads/2016/07/AES-24online019.pdf

Hliakouskaya, K.I., Zhorov, D.G., Ryzhaya, A.V. & Buga, S.V. (2018). Ecological, taxonomic and zoogeographic structure of complex of invasive phytophagous arthropods in green stands in Grodno Poneman region. *Journal of the Belarusian State University. Ecology*, *2*, 10-17. Retrieved from https://elib.grsu.by/doc/42310 (in Russian).

Glavendekić, M., Petrović, J. & Petaković, M. (2013). Alien invasive species *Aproceros leucopoda* Takeuchi (Hymenoptera: Argidae) – elm pest in Serbia. *Shumarstvo*, *1-2*, 57-66. Retrieved from http://data.sfb.bg.ac.rs/sftp/milka.glavendekic/Projekti%20%20III43002%20i%20III43007/2013/3%20Glavendekic%20Aproceros%20leucopoda.pdf (in Serbian).

Gninenko, Yu. (2018). *Identification of invasive bugs in Russian forests*. Pushkino: VNIILM, 32 p. Retrieved from http://rcfh.ru/userfiles/files/invazivn%20klop.pdf (in Russian).

Gninenko, Yu. I., Ponomarev, V. L., Nesterenkova, A. E., Sergeeva, Yu. A., Shiryaeva, N. V. & Lianguzov, M. E. (2018). Boxer flies *Neoglyphodes perspectalis* Walker is a new dangerous pest of boxwood in the south of the European part of Russia. Pushkino: VNIILM, 36 p. Retrieved from https://www.vniilm.ru/docs/pdf/izdaniya/samsh-ognevka.pdf (in Russian).

Gomi, T., Nagasaka, M., Fukuda, T. & Hagihara H. (2007). Shifting of the life cycle and life-history traits of the fall webworm in relation to climate change. *Entomologia Experimentalis and Applicata*, *125*, 179-184. https://doi.org/10.1111/j.1570-7458.2007.00616.x

Grabenweger, G., Kehrli, P., Schlick-Steiner, B., Steiner, F., Stolz, M. & Bacher, S. (2005). Predator complex of the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: identification and impact assessment. Berlin: Blackwell Verlag, *129* (7), 353-362. https://doi.org/10.1111/j.1439-0418.2005.00973.x

Kirichenko, N., Augustin, S., & Kenis, M. (2019). Invasive leafminers on woody plants: a global review of pathways, impact, and management. *Journal of Pest Science*, *92* (1), 93-106. https://doi.org/10.1007/s10340-018-1009-6

Kozlov, M.V. (1991). Lime leaf miner – linden pest. *Plant protection*, *4*, 46 (in Russian).

Kosibowicz, M. (2005). The horse chestnut leaf miner *Cameraria ohridella* Deschka & Dimić (Lepidoptera, Gracillariidae), as a new invasive pest of *Aesculus hippocastanum* in Poland – biology and control methods. *Leśne prace badawcze*, *2*, 121-132. Retrieved from https://www.ibles.pl/web/lesne-prace-badawcze/-/les-pr-bad-2005-2-121%E2%80%93132 (in Polish).

Kramarets, V.O. (2005). *Cameraria ohridella* (Lepidoptera, Gracillariidae) – a dangerous pest of horse chestnut. *Green urban areas – from problems to solutions*: Proceedings of the International Science Conference 8-9 June 2004. Lviv: «Drukarski Kunshty», 88-91 (in Ukrainian).

Kramarets, V.O., & Matsiakh, I.P. (2017). Forest declines: causes, consequences, possible ways of counteraction. *Scientific bases of biodiversity conservation*, *8* (15), *45-62*. ISSN 2220-3087. Retrieved from http://www.ecoinst.org.ua/html/201715/5.pdf (in Ukrainian).

Krivosheev, S. P. (2009). American fall webworm in Ukraine. *Plant Protection and Quarantine*, *4*, 36-38. Retrieved from https://cyberleninka.ru/article/n/amerikanskaya-belaya-babochka-na-ukraine (in Russian).

Krüger, E. O. (2008). *Glyphodes perspectalis* (Walker, 1859) – new for the European fauna (Lepidoptera: Crambidae). *Entomologische Zeitschrift, 118*, 81-83 (in Germany).

Lee DooHyung, Short, B.D., Joseph, S.V., Bergh, J. C. & Leskey, T.C. (2013). Review of the biology, ecology, and management of *Halyomorpha halys* (Hemiptera: Pentatomidae) in China, Japan, and the Republic of Korea. *Environmental Entomology*, *42 (4)*, 627-641. Retrieved from https://doi.org/10.1603/EN13006

Martynov, V.V. & Nikulina, T.V. (2017). Population surge of zigzag elm sawfly (Aproceros leucopoda (Takeuchi, 1939): Hymenoptera: Argidae) in Nothern Sea of Azov region. *Russian Journal of Biological Invasions*, *10 (1)*, 25-34. Retrieved from http://www.sevin.ru/invasjour/issues/2017_1/Martynov_17_1.pdf (in Russian).

Maslyakov, V.Yu. & Izhevsky, S.S. (2011). *Alien Phytophagous Insects Invasions in the European Part of Russia*. Moscow: IGRAS. Retrieved from https://www.zin.ru/Animalia/Coleoptera/pdf/Maslyakov_Izhevsky_2011_Insects_invasion.pdf (in Russian).

Matsiakh, I. (2016). Assessment of Forest Pests and Diseases in Native Boxwood Forests of Georgia: Final report. Tbilisi. 109 p. Retrieved from http://www.enpi-fleg.org/site/assets/files/1939/assessment_of_pests_and_diseases_in_georgian_forests_i_matsiakh_final_final.pdf

Matsiakh, I., Kramarets, V. & Mamadashvili, G. (2018). Box tree moth *Cydalima perspectalis* as a threat to the native populations of *Buxus colchica* in Republic of Georgia. *Journal of the Entomological Research Society*, *20* (2), 29-42. Retrieved from http://www.entomol.org/journal/index.php/JERS/article/view/1262

Meshkova, V. L. & Mikulina, I. M. (2011). Seasonal development of *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859: Lepidoptera, Gracillariidae) in the green stands of Kharkov. *Forestry &Forest Melioration*, *119*, 176-183 (in Ukrainian).

Meshkova, V.L. & Nazarenko, S.V. (2012). The plane leaf miner, *Phyllonorycter platani* (Staudinger, 1870)

(Lepidoptera: Gracillariidae) in Kherson Region. *The Kharkov Entomological Society Gazette*, *XX* (2), 63-64. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhet_2012_20_2_9

Meshkova, V. L., Turenko, V. P., & Bajdyk, G. V. (2014). Adventive injurious organisms in Ukrainian forests. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series «Phytopathology and Entomology»*, *1-2*, 112-121. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_ento_2014_1-2_18 (in Ukrainian).

Remaudiere, G. & Ripka, G. (2003). Arrival in Europe (Budapest, Hungary) of American aphid, *Prociphilus* (*Meliarhizophagus*) *fraxinifolii* (Hemiptera, Aphididae, Eriosomatinae, Pemphigini). *Revue Française d'Entomologie*, *25* (3), 152 (in French).

Roques, A., Kenis, M., Lees, D., Vaamonde, C. L., Rabitsch, W., Rasplus, J.-Y. & Roy, D. B. (Eds.). (2010). Alien terrestrial arthropods of Europe. *BioRisk*, *Special Is*. *4* (1, 2), 1071. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/229071968_Alien_Terrestrial_Arthropods_of_Europe

Roques, A., Cleary, M., Matsiakh, I. & Eschen, R. (Eds.). (2017). *Field Guide for the Identification of Damage on Wood Sentinel Plants*. CABI. Retrieved from https://pdfs.semanticscholar.org/fc9a/a5ff64fd0de007cfafa327ebc17cd84ac6e2.pdf

Šefrová, H. (2002). *Phyllonorycter issikii* (Kumata, 1963) – bionomics, ecological impact and spread in Europe (Lepidoptera, Gracillariidae). *Acta Universitatis Agriculturae et Silviculturae Mendelianae Brunensis*, *50*, 99-104.

Stalažs, A. (2013).The invasive lilac leafhopper, *Igutettix oculatus* (Lindberg, 1929), continues to spread in Europe: new host plant and new findings (Hemiptera: Cicadellidae, Typhlocybinae). *Cicadina*, *13*, 59-67. Retrieved from https://www.zobodat.at/pdf/Beitraege-zur-Zikadenkunde_13_0059-0067.pdf

Stojanović, A. & Marković, Č. (2005). Parasitoid complex of *Phyllonorycter robiniella* (Clemens, 1859) (Lepidoptera, Gracillariidae) in Serbia. *Journal of Pest Science*, *78*, 109-114. https://doi.org/10.1007/s10340-004-0077-y

Straten van der, M. J. & Muus, T. S. T. (2010). The box tree pyralid, *Glyphodes perspectalis* (Lepidoptera: Crambidae), an invasive alien moth ruining box trees. *Proceedings of the Netherlands Entomological Society Meeting, 21*, 107-111. Retrieved from https://www.nev.nl/pages/publicaties/proceedings/nummers/21/107-112.pdf

Strauss, G. (2010). Pest risk analysis of *Metcalfa pruinosa* in Austria. *Journal of Pest Science*, *83*, 381-390. https://doi.org/10.1007/s10340-010-0308-3

Takács, A., Szabóky, C., Tóth, B., Bozsó, M., Kutas J., Molnár & S., Richter, I. (2020). Nearctic walnut leafminers invade Europe: first *Coptodisca lucifluella* (Clemens, 1860) and now *Coptodisca juglandiella* (Chambers, 1874) (Lepidoptera, Heliozelidae). *Nota Lepidopterologica*, *43*, 77-93. https://doi.org/10.3897/nl.43.38686

Thompson, J. N. (2005). *The geographical mosaic of coevolution*. Chicago: University of Chicago Press.

Turys E. V. (2015). Finds and features of the biology of the development of boxwood *Cydalima perspectalis* (Walker, 1859) (Lepidoptera, Crambidae) in the Transcarpathian region of Ukraine. *Uzhhorod entomological readings-2015*. Proceedings of the 15th international scientific conference «Uzhhorod Entomological Readings-2015». 25-27 September 2015. Uzhhorod, 81-82. Retrieved from https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/bitstream/lib/4194/1/UER_2015-proceedings.pdf (in Ukrainian).

UkrBIN. (2020). UkrBIN: Ukrainian Biodiversity Information Network [public project & web application]. UkrBIN, Database on Biodiversity Information. Retrieved from: http://www.ukrbin.com (Accessed: Date [e.g. February 4, 2020]).

Uzhevskaya, S. Ph., Popova, E. N. & Ryzhko, V. E. (2012). White leafhopper (*Metcalfa pruinosa* Say, 1830) in Odessa. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series «Phytopathology and Entomology»*, *11*, 123-133 http://docplayer.ru/27316161-2012-s-f-uzhevskaya-e-n-popova-v-e-ryzhko-belaya-cikadka-metcalfa-pruinosa-say-1830-v-odesse.html (in Russian).

Zandigiacomo, P., Cargnus, E. & Villani, A. (2011). First record of the invasive sawfly *Aproceros leucopoda* infesting elms in Italy. *Bulletin of Insectology*, *64*, 145-149. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/265467634_First_record_of_the_invasive_sawfly_Aproceros_leucopoda_infesting_elms_in_Italy

Zangheri, S. & Donadini, P. (1980): Comparsa nel Veneto di un Omottero nearctico: *Metcalfa pruinosa* Say (Homoptera, Flatidae). *Redia*, *63*, 301-306.

Инвазии насекомых-филлофагов на территорию Украины

И. П. Мацях[1], В. А. Крамарец[2]

Биологические инвазии адвентивных организмов могут существенно влиять на состояние деревьев в лесах и зеленых насаждениях городов, вследствие чего наносится значительный ущерб

[1] *Мацях Ирина Павловна* – кандидат биологических наук, докторант кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-260-04-08. E-mail: iramatsah@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2249-1296

[2] *Крамарец Владимир Александрович* – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, доцент кафедры лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-260-04-08, +38-067-252-76-56. E-mail: v_kramarets@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5978-3711

природным экосистемам и возможны существенные экономические потери. Все более важными становятся негативные последствия распространения инвазионных адвентивных насекомых-филлофагов, питающихся листьями растений.

В 2017-2019 годах проведено рекогносцировочное обследование зеленых насаждений и лесов во Львовской, Закарпатской и Тернопольской областях Украины с целью выявления инвазионных видов насекомых. По характерным симптомам повреждений, личинкам, имаго проводили идентификацию насекомых с использованием доступных руководств или онлайн-ресурсов.

Охарактеризованы биологические особенности инвазионных филлофагов из групп: насекомые с грызущим ротовым аппаратом, насекомые-минеры, насекомые с колюще-сосущим ротовым аппаратом, галлообразующие насекомые. Выявлены наиболее опасные виды инвазионных насекомых филлофагов, охарактеризовано их влияние на состояние лесов и зеленых насаждений населенных пунктов. Среди насекомых-инвайдеров есть виды, которые успешно акклиматизировались, распространились практически по всей территории Украины и существенно влияют на состояние лесов и насаждений населенных пунктов: *Hyphantria cunea*, *Cameraria ohridella*, *Macrosaccus robiniella*. В последние годы значительную опасность представляет дальнейшее распространение и нарастание численности таких видов: *Aproceros leucopoda*, *Corythucha arcuata*, *Metcalfa pruinosa*. Кроме того, в зеленых насаждениях населенных пунктов массово распространяются и вредят *Cydalima perspectalis*, *Corythucha ciliate*, *Halyomorpha halys*, *Igutettix oculatus*. Основным путем распространений инвазионных насекомых в Украине является торговля посадочным материалом и декоративными растениями.

Использование химических и механических методов для контроля распространения инвазионных филлофагов не обеспечивает достаточного эффекта. Успешный контроль инвазионных насекомых-филлофагов возможен только после формирования эффективного паразитарного комплекса, который будет влиять на численность видов-инвайдеров. Такой паразитарный комплекс, в сочетании с другими методами, в будущем может стать основой интегрированных методов защиты лесов и зеленых насаждений населенных пунктов от инвазионных насекомых-филлофагов.

Ключевые слова: филлофаги; инвазионные виды; распространение; лесные насаждения; зеленые насаждения населенных пунктов.

Invasive phyllophagous insects in Ukraine

I. Matsiakh[1], V. Kramarets[2]

The biological invasion of non-native organisms can cause significant economic losses as well as large-scale damage to natural ecosystems. Among the invasive insects, the spread of alien phyllophagous insects feeding on the plant leaves is becoming increasingly important.

The reconnaissance survey of green areas and forests in the Lviv, Transcarpathian, and Ternopil regions of Ukraine, aiming to identify the invasive species, was conducted in 2017-2019. The symptom/damaged part and a close-up of any feeding of phyllophagous insects including larvae, adults, pupae, or eggs were collected and labelled using general recommendation for collecting arthropod pests. Accurate identification and specimen affiliation were carried out based on microscopic analyses, available guides, or online resources.

Fall webworm (*Hyphantria cunea*) is the species of internal quarantine in Ukraine that has been successfully introduced and spread in forests, gardens, and green plantations; it is widespread across Ukraine. The larva of false acacia sawfly (*Nematus tibialis*) was rarely found feeding on the leaves of black locust with no significant threat to the species' trees. In 2014, box tree moth (*Cydalima perspectalis*) penetrated into the territory of Transcarpathia from Hungary. Nowadays, this invasive species is spread in all green areas of big cities such as Lviv, Odesa, Kyiv, Kharkiv, Mykolaiv, Dnipro, and in the Transcarpathian region causing a huge foliage loss to boxwood plants. The invasive elm zigzag sawfly (*Aproceros leucopoda*), causing local damage to Ulmus trees, was recorded in 2010.

The horse-chestnut leaf-mining moth (*Cameraria ohridella*) is still a leader among the invasive leaf miners in urban plantations. It has spread almost all over the country and causes significant infestation of horse-chestnut leaves every year, even if there is no evidence that moth damage leads to tree death.

An increasing importance of damages caused by invasive leaf miners feeding in the mines of the leaves of lindens (lime leaf mine *Phyllonorycter issikii*), planes (plane leaf miner *Phyllonorycter platani*) and

[1] *Iryna Matsiakh* – PhD in Biological Sciences, Assistant Professor. Forestry Department, Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine Tel.: +38-032-260-04-08. E-mail: iramatsah@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2249-1296

[2] *Volodymyr Kramarets* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Associate Professor. Forestry Department, Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine Tel.: +38-032-260-04-08, +38-067-252-76-56. E-mail: v_kramarets@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-5978-3711

locusts (leaf blotch miner moth *Macrosaccus robiniella*, locust digitate leafminer *Parectopa robinella*) was also recorded.

Recently, the strong damage of sycamore lace bug (*Corythucha ciliata*), a new invasive species that belongs to the piercing and sucking insects feeding on the lower leaf side and sucking sap was detected in the Transcarpathian and Kherson regions of Ukraine. Since 2018, this invasive pest has penetrated into the urban green areas of Lviv City. The citrus flatid planthopper (*Metcalfa pruinosa*), another invasive species, was recorded in Transcarpathian and Odessa regions. It is considered as a very important invasive species due to its gregarious behavior and mobility. The brown marmorated stink bug (*Halyomorpha halys*) was also found on agricultural crops in the Odessa region. Newly detected invasive species have all the prerequisites for further distribution into the forests and green plantations across Ukraine.

Lilac leafhopper (*Igutettix oculatus*) was identified as an invasive pest of *Syringa* spp., *Ligustrum* spp. and *Fraxinus* spp. in the green urban areas of Lviv City in 2019. The importance of invasive aphids such as *Prociphilus fraxinifolii*, *Appendiseta robiniae*, *Aphis craccivora*, *A. nerii*, *Illinoia lambersi* has also increased especially in green urban areas between 2018 and 2019. Black locust gall midge *Obolodiplosis robiniae* was also found widely distributed. However, it does not have currently any significant damaging effect on black locust trees.

Newly recorded identification of invasive phyllophagous insects may amplify the concern on the increasing threat to the leaves of forests and green plantations. Based on personal observations and literature analyses, we strongly believe that the main pathway of invasive insects' spread in Ukraine is the trade of planting material and ornamental plants. We have found that the use of chemical and mechanical methods to control the spread of invasive phyllophagous insects does not provide a sufficiently long-lasting effect. According to the research review, the natural control of invasive phyllophagous insects is possible only when an effective parasitic complex occurs. This complex, in combination with other measures, can become the basis of the integrated protection methods for forests and green urban areas in the future.

Key words: phyllophagous insects; invasive species; pathway; forests; green urban areas.

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412002
Article received 2019.12.08
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Tetyana Prykladivska
prikladivska_tet@i.ua
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

*УДК 581.9:630*16*

Види рослин і лишайників Кий-острова в Гербарії Національного лісотехнічного університету України (LWFU)

Т. Р. Прикладівська[1]

Кий-острів, що розташований в Онезькій затоці Білого моря (географічні координати 64°00′ п. ш., 37°53′ с. д.) – це виступ гранітної плити, яка залягає на незначній глибині і виходить на поверхню моря у вигляді скель. Геоморфологічні та кліматичні особливості острова, близькість до Північного полярного кола та Арктичної області, зумовили формування на ньому своєрідних природних комплексів, де переважають соснові ліси. Виконані в липні 1984 р. серії описів лісових біоценозів острова дали змогу встановити як основні типи цих лісів (сосняк лишайниковый скальный, сосняк лишайниковый каменистый, сосняк лишайниковый багульниково-вересковый на вершинах сельг [Kucherov, Zverev, 2012; Rupestrian landscapes..., 2008; Rysin, 1975]), так і відповідні їм типи асоціацій (Pinetum cladinosum petraeum, Myrtillus-Calluna-Cladina-Typ, Pinetum uliginosi-vaccinioso-ledosum). Наведений перелік домінантних видів рослин і лишайників нижніх ярусів лісових біоценозів демонструє наявність у їх складі характерних представників бореальної та гіпоарктичної флори. Найбільша частина з них – це класичні бореальні види: Andromeda polifolia L., *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Ledum palustre* L., *Linnaea borealis* L., *Nardus stricta* L. *та інші. На другій позиції знаходяться гіпоарктичні види, серед яких Betula nana* L., *Rubus arcticus* L., *Rubus chamaemorus* L., *Cornus suecica* L. *На поверхнях скель високу частку складають представники відділу Lichenomycota – характерні елементи північних та південних лишайникових тундр, а саме: Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *Cladonia sylvatica (*L.*)* Hoffm., *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.

Зібраний гербарний матеріал (45 зразків 16-ти таксонів) достатньою мірою відображає найбільш характерні риси біоти скельних сосняків Кий-острова та являє собою єдину колекцію видів з північної тайги європейської частини Росії в Гербарії Національного лісотехнічного університету України, який офіційно зареєстрований в міжнародних базах даних під акронімом LWFU.

Ключові слова: *Кийський архіпелаг; Біле море; скельні сосняки; бореальна та гіпоарктична флора; гербарні зразки.*

Вступ. Починаючи від середньовічних колекцій засушених рослин hortus siccus, які з часом трансформувались у відомі зараз гербарії, всі гербарні колекції, незалежно від періоду їх створення, завжди були цінним джерелом інформації про рослини. За сучасних умов, функціонуючи у складі музеїв, науково-дослідних установ і навчальних закладів, гербарії виконують важливу роль у нагромадженні, поглибленні і поширенні природничих знань.

Гербарій Національного лісотехнічного університету України заснований у 1945 році. Міжнародний акронім назви Гербарію відповідно до Index Herbariorum – LWFU (Herbaria of Ukraine..., 2011). Як і будь-який гербарій освітнього закладу, він насамперед виконує матеріально-дидактичне забезпе-

[1] *Прикладівська Тетяна Річардівна* – кандидат сільськогосподарських наук, інженер 1-ої категорії відділу благоустрою та репродукції рослин Ботанічного саду. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-237-88-20. E-mail: prikladivska_tet@i.ua ORCID: 0000-0002-0265-0651

чення навчального процесу. Але, окрім навчальних, до складу гербарних фондів входять також наукові, особисті та історичні колекції. Серед особливо цінних експонатів Гербарію варто відзначити набори постійних мікропрепаратів кінця XIX ст., виготовлених у Відні, Празі, Львові, та унікальну збірку зразків деревини Євстахія Волощака, яка налічує 2808 взірців 602-х таксонів рослин з різних континентів Землі (Herbaria of Ukraine..., 2011; Soroka, Shovgan, Lukashchuk, 2003; Soroka, Osadchuk, Shovgan, 2017; Osadchuk, Soroka, Shovgan, Dolatovski, Kolodiy, 2017; Prykladivska, 2018; Soroka, Wozniak, 2018).

Незважаючи на те, що географічною спеціалізацією Гербарію є переважно Західні області України (Карпати, Волино-Поділля, Полісся), гербарні збори містять зразки з Одеської і Миколаївської областей, Криму, а також з Південної Європи (Італії, Франції, Іспанії, Чорногорії, Болгарії). Важливу роль для Гербарію відіграють нові надходження, а серед них особливо ті, що представлені зразками, зібраними у віддалених і складно доступних географічних регіонах. Одним із таких останніх поповнень є колекція видів біоти, зібраних автором на Кий-острові у Білому морі в липні 1984 року.

Об'єкти та методика досліджень. Острів Кий, або Кий-острів, є частиною Кийського архіпелагу і розташований в Онезькій затоці Білого моря на відстані восьми кілометрів від витоку р. Онеги і в 15-ти кілометрах від міста Онега Архангельської області. Географічні координати острова: 64°00′ п.ш., 37°53′ с.д. Його довжина становить дещо більше двох кілометрів, а ширина – від 100 до 800 метрів. Острів є виступом гранітної плити, яка залягає на незначній глибині і виходить на поверхню моря у вигляді скель, що місцями сягають висоти більше двадцяти метрів (рис. 1).

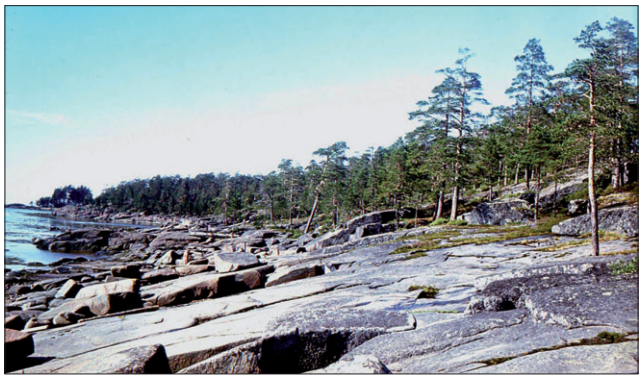


Рис. 1. Загальний вигляд західного берега Кий-острова, 1984 рік

Біле море за своїми фізико-географічними ознаками належить до арктичного басейну. Це глибоко врізана в материк океанська затока, але клімат морського узбережжя більш помірно-континентальний, ніж на прилеглих територіях, завдяки відсутності холодних течій і наявності повітряних потоків з океану, які несуть залишки тепла Мурманської течії. Біле море на зиму повністю не замерзає, але Онезька затока вкрита льодом 185 днів на рік. Ця південна частина Білого моря більш мілководна і тепловодна, а температура води на поверхні поблизу берегів в середині липня може прогріватись навіть до 18-20°С. Клімат власне Кий-острова континентальний з ознаками морського, що проявляється у відносно м'якій зимі (коли з настанням осені море, поступово охолоджуючись, віддає тепло суходолу) та досить високому рівні вологості повітря.

Дуже сильно впливають на берегову смугу припливи і відпливи. Двічі на день води Білого моря наступають на берег, місцями наближаючись до самого лісу, і двічі на день відплив оголює пісок і вкриті водоростями тисячі гранітних валунів, що лежать у морі поблизу узбережжя (рис. 2). Різниця між «малою» і «повною» водою біля берега може сягати 2,7 м. Близькість Північного полярного кола і Арктичної області нагадують про себе як вкрапленими типовими північними ландшафтами, так і характерними видами представників біоти. Завдяки вражаючим природним краєвидам та унікальній культурній спадщині, Кий-острів поправу вважають перлиною серед інших островів Білого моря.

У 1656 р. на острові за ініціативи патріарха Никона було розпочато будівництво Хресного монастиря, який упродовж кількох століть, поряд із Соловецьким монастирем, був потужним релігійним і просвітницьким центром Біломор'я. Ансамбль монастиря, створений ще за часів патріарха Никона, зберігся і до наших днів, щоправда із значними втратами. Цю унікальну пам'ятку архітектури і досі вважають однією із найцікавіших і найцінніших атракцій Півночі Росії.

Працюючи упродовж 1982-1986 рр. асистентом кафедри лісівництва Львівського лісотехнічного інституту, автор здійснила за цей період кілька поїздок на північ європейської частини колишнього СРСР для ознайомлення з типологією, рубками і процесами відновленням лісів цього регіону, оскільки такі питання займали вагому частку в навчальних програмах дисциплін «Лісознавство» та «Лісівництво». Саме тому, коли під час однієї із таких подорожей у липні 1984 р. випала унікальна нагода побувати на Кий-острові, ми використали цей шанс для обстеження, насамперед, лісових ценозів, а вже принагідно і фрагментів інших, суміжних з ними, територій.

На жаль, за час нетривалого перебування на острові, довелось обмежитись тільки серією маршрутних обстежень, у процесі яких здійснювали фотознімання; окомірну таксацію деревостану, підросту і підліску; стислий опис нижніх ярусів біоценозу; а також збір деяких найпоширеніших видів лишайників і рослин для гербаризації та камерального уточнення їх таксономічної приналежності.

Маршрути обстежень прокладали зигзагоподібно. Основним напрямком руху обрали довгу сторону острова, яка приблизно орієнтована у напрямку південь-північ, а поперечні пересування здійснювали діагонально між західним і східним берегами. Тобто початок маршруту був на південно-західній

точці острова, а далі рухались за схемою: на північний схід до берега, потім на північний захід до берега і так далі – аж до крайньої північної точки, звідки здійснювали рух аналогічно у зворотному напрямку на південь, але вже іншими ділянками, які не дублювали попередні. У такий спосіб залісену територію острова вдалось обстежити майже повністю. Під час збору гербарних зразків першочергову увагу звертали на типові північні види.

Рис. 2. Фрагмент східного берега Кий-острова під час відпливу, 1984 рік

Рослинне вкриття антропогенно змінених ландшафтів, таких як території монастиря і бази відпочинку, зони давньої митниці, лісової контори і порту не аналізували, оскільки ще від часів перших поселенців, коли спочатку монахи, а потім і прочани почали привозити на острів з материка грунт та культурні рослини, процес збільшення чисельності занесених видів тривав сотнями років і тому адвентивна флора, яка тут зосереджена, заслуговує на те, щоб бути об'єктом окремого дослідження.

Отриманий польовий матеріал упродовж наступних кількох днів попередньо опрацьовували вже за межами острова, в містах Онега та Архангельськ. Складено перелік домінантних видів лісових і суміжних з ними ценозів. Допомогу у визначенні низки типових північних таксонів надала кандидат сільськогосподарських наук, доцент Архангельського лісотехнічного інституту Усова Діана Олексіївна.

У 2018 р. всі польові нотатки та збори остаточно доопрацьовано і передано до Гербарію Національного лісотехнічного університету України (LWFU). Кількість загербаризованих зразків налічує 16 таксонів, кількість листів гербарію – 45 одиниць. Окрім гербарних зразків, колекцію доповнено пояснювальною запискою, переліками домінантних і зібраних таксонів, оцифрованими фотографіями, виконаними під час перебування на Кий-острові, а також сканованими зразками гербарію.

Результати та обговорення. За ботаніко-географічним районуванням Кий-острів належить до Кольсько-Печорської підпровінції Північно-Європейської тайгової провінції Євразійської тайгової області (Vegetation of European part..., 1980), а за флористичним районуванням – до Східно-Європейської провінції Євросибірської підобласті Циркумбореальної області Бореального підцарства (National Atlas..., 2020).

Панівним типом рослинності Кий-остова є ліси, а саме, скельні сосняки, які ростуть на виходах кристалічних скельних порід (сельгах) по всій території середньої і південної тайги Східної Фенноскандії.

Ліси займають близько три чверті площі острова і представляють собою чисті різновікові одноярусні деревостани *Pinus sylvestris* L. V-V^6 бонітетів, віком 100-400 (500) років, з повнотою 0,1-0,4. Максимальні розміри дерев сягають висот 15-17 м і діаметрів 30-34 см. Трапляються поодинокі екземпляри *Betula pubescens* Ehrh. та *Picea ×fennica* (Regel) Kom. (перехідні форми між *Picea abies* (L.) H. Karst. та *Picea obovata* Ledeb.). Склад підросту – 10С, різновіковий, нерівномірний, фрагментами до 0,5-0,8 тис. шт./га. Підлісок відсутній або представлений поодинокими екземплярами *Juniperus communis* var. *saxatilis* Pall. (=*J. sibirica* Burgsd.), *Betula nana* L. та *Sorbus aucuparia* L. У нижніх ярусах трав'яна рослинність майже повністю відсутня, чагарнички ростуть куртинами, а лишайники на значних ділянках утворюють щільне суцільне вкриття. Окрім того, в пониженнях нанорельєфу, на незначних ділянках у «кишенях» сельг, як результат застою вологи, формуються так звані «скельні ванни», по краю яких виступають фрагменти болотної рослинності, з характерним домінуванням під наметом деревостану чагарників-гігрофітів.

Під час маршрутних обстежень лісових біоценозів особливу увагу звертали на склад і чисельність представників чагарничково-трав'яно-мохового та лишайникового вкриття. Нижче наводимо перелік найпоширеніших видів біоти нижніх ярусів соснових ценозів Кий-острова. Зірочками відзначено гербаризовані таксони. Латинські назви видів подано за двома джерелами: «Myco Bank Database» (лишайники) та «The Plant List» (рослини).

Fungi

Lichenomycota: *Cetraria islandica* (L.) Ach.*, *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda (=*Cladonia alpestris* (L.) Rabenh.)*, *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg.*, *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm.*, *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.*

Plantae

Bryophyta: *Dicranum undulatum* Schrad. ex Brid., *Hylocomium splendens* (Hedw.) Schimp., *Pleurozium schreberi* (Willd. ex Brid.) Mitt., *Polytrichum commune* Hedw., *Ptilium crista-castrensis* (Hedw.) De Not., *Sphagnum* sp.

Equisetophyta: *Equisetum sylvaticum* L.

Polypodiophyta: *Dryopteris carthusiana* (Vill.) H. P. Fuchs, *Gymnocarpium dryopteris* (L.) Newman, *Polypodium vulgare* L.

Magnoliophyta: *Allium lineare* L.*, *Andromeda polifolia* L.*, *Antennaria dioica* (L.) Gaertn., *Arcto-*

staphylos uva-ursi (L.) Spreng.*, *Betula nana* L.*, *Calluna vulgaris* (L.)Hull, *Campanula glomerata* L., *Campanula patula* L., *Carum carvi* L., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench*, *Comarum palustre* L., *Cornus suecica* L.*, *Dactylorhiza maculata* (L.) Soó, *Dianthus acicularis* Fisch. ex Ledeb.*, *Empetrum nigrum* L.*, *Epilobium angustifolium* L., *Eriophorum* sp., *Filipendula ulmaria* (L.) Maxim., *Galium boreale* L., *Juncus* sp., *Ledum palustre* L., *Leucanthemum vulgare* (Vall.) Lam., *Linnaea borealis* L.*, *Maianthemum bifolium* (L.) F.W. Schmidt, *Nardus stricta* L., *Oxalis acetosella* L., *Potentilla argentea* L., *Rubus arcticus* L.*, *Rubus chamaemorus* L.*, *Sedum acre* L., *Sedum maximum* (L.) Suter, *Trifolium aureum* Pollich, *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium oxycoccos* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Vaccinium vitis-idaea* L.

За результатами обстеження, більшість лісових ценозів Кий-острова відповідає таким типам північно-тайгових скельних сосняків: «сосняк лишайниковый каменистый», «сосняк вороничный каменистый», «сосняк лишайниковый скальный», «сосняк воронично-лишайниковый». Аналіз наведених у літературі геоботанічних описів таких сосняків дає підставу прирівняти їх до наступних типів асоціацій: *Pinetum cladinosum petraeum*, *Pinetum empetrosum petraeum* (Rysin, 1975), *Cladino-Pinetum* subass. *polytrichetosum communis*, *Empetro-Cladino-Pinetum* (Kucherov & Zverev, 2012).

Вони характеризуються доволі своєрідним поєднанням видів у нижніх ярусах, де поряд із лишайниками (рис. 3) і мезоксерофітами ростуть типові болотні види. Найбільшою рясністю відзначаються представники родів *Cladonia* та *Cetraria* і низка рослин – *Empetrum nigrum, Arctostaphylos uva-ursi, Vaccinium vitis-idaea*, *Calluna vulgaris, Vaccinium myrtillus.* Поряд з ними, але менш чисельно, ростуть *Ledum palustre, Vaccinium uliginosum, Andromeda polifolia, Equisetum sylvaticum, Pleurozium schreberi, Polytrichum commune, Hylocomium splendens.*

На півночі Фінляндії скельні сосняки описані як *Myrtillus-Calluna-Cladina-Typ*, *Calluna-Cladina* та *Empetrum-Cladina-nodae*, а в північній Швеції – як *Pinus sylvestris-Calluna vulgaris-Empetrum* spp.*-typ* (Rupestrian landscapes..., 2008).

Заболочені фрагменти соснового лісу, іноді навіть з невеличкими дзеркалами водної поверхні, можна прирівняти до такого типу як «сосняк лишайниковый багульниково-вересковый на вершинах сельг» (Rupestrian landscapes..., 2008), та, з різною мірою наближеності, до типів «сосняк голубично-багульниковый» і «сосняк сфагново-багульниковый» з групи асоціацій «сосняки багульниковые» – *Pinetum uliginosi-vaccinioso-ledosum*, *Pinetum sphagnoso-ledosum* (Rysin, 1975). Деревостани цих асоціацій відзначаються мінімальними показниками бонітетів, зімкнутості і висоти. Чагарниково-трав'яно-мохове вкриття дуже густе, іноді суцільне, з домінуванням *Ledum palustre* і значною участю *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium oxycoccos*, *Eriophorum* sp., *Cornus suecica*, *Rubus chamaemorus*, *Polytrichum commune*, *Comarum palustre*.

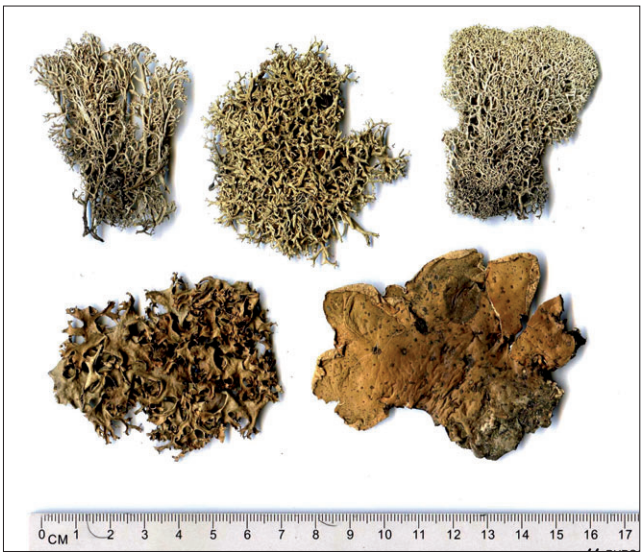


Рис. 3. Домінантні види лишайників Кий-острова. У верхньому ряду зліва направо: *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm., *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda; у нижньому ряду ліворуч – *Cetraria islandica* (L.) Ach., праворуч – *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.

Надмірне зволоження таких екотопів одночасно поєднується з фізіологічною сухістю грунту, що є результатом короткого вегетаційного періоду і незначною глибиною розповсюдження біологічно ефективних температур (Vinogradov, 1964). Характерною ознакою цих холодних грунтів є рослини-психрофіти, серед яких домінують *Andromeda polifolia, Chamaedaphne calyculata, Arctostaphylos uva-ursi*.

Аналізуючи географічно-зональну приналежність перерахованих у переліку видів, варто відзначити вагому частку у його складі рослин з широкими циркумполярними ареалами і таких груп рослинності, як бореальна та гіпоарктична. Найбільша частина – це класичні представники бореальної флори: *Andromeda polifolia*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Calluna vulgaris*, *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Linnea borealis*, *Vaccinium oxycoccos*, *Vaccinium myrtillus*, *Vaccinium vitis-idaea* та інші. На другій позиції знаходяться гіпоарктичні види (рис. 4). Серед них, насамперед, потрібно відзначити *Rubus chamaemorus* із широким циркумполярним ареалом, а також такі види, як *Betula nana*, *Rubus arcticus* і *Cornus suecica* з амфіатлантичними ареалами. *Betula nana* та *Rubus arcticus* належать до домінантів усієї тундрової зони, а дерен шведський – *Cornus suecica* (=*Chamaepericlymenum suecicum* (L.) Asch. & Graebn.) занесений до Червоної книги Східної Фенноскандії (Status: 3 – Rare. In «Red Data Book of East Fennoscandia»), оскільки поширений переважно в арктичній та субарктичній зонах, не властивий для континентальної частини ні Північної Америки, ні Азії та є досить не-

типовим для оліготрофних низькоповнотних сосняків північної частини тайгової зони Європи. Проте у зволожених екотопах Кий-острова *Cornus suecica* формує фрагменти суцільного вкриття на площі від кількох до кільканадцяти квадратних метрів, що надає цим сосновим біоценозам особливої неповторності.

Рис. 4. Рослини Кий-острова, характерні представники гіпоарктичної флори. Зліва направо: морошка (*Rubus chamaemorus* L.), малина арктична (*Rubus arcticus* L.), дерен шведський (*Cornus suecica* L.), береза карликова (*Betula nana* L.)

У складі деревної рослинності острова присутні також сибірські тайгові елементи, серед яких *Juniperus sibirica* та гібридні форми *Picea obovata*. Ну і звичайно ж, як домінанти цих лишайникових сосняків, на значних поверхнях скель, як відкритих ландшафтів, так і під наметом лісу, виступають найхарактерніші елементи північних та південних лишайникових тундр – представники відділу *Lichenomycota*, а, саме, види з родів *Cladonia*, *Cetraria* та *Peltigera.*

Висновки. Зібраний і опрацьований гербарний матеріал достатньою мірою відображає найхарактерніші риси біоти скельних сосняків Кий-острова. У Гербарії НЛТУ України він є єдиною колекцією видів з північної тайги європейської частини Росії і тому, незважаючи на незначну чисельність поданих зразків, може вважатись одним із неперсічних надбань Гербарію.

Аналізуючи результати описів скельних сосняків Кий-острова та опрацьовані на їх основі гербарні збори, потрібно зазначити, що унікальна вразлива природа північної Європи потребує не лише системних комплексних наукових досліджень із залученням фахівців різного профілю, але й активної популяризації вже набутих знань. Нагромадження відповідного фактичного матеріалу у музейних та гербарних колекціях сприятиме цьому якнайкраще, особливо в Україні, де можливості участі науковців у виконанні натурних обстежень будь-яких північних територій на цей час досить обмежені.

Передані до Гербарію Національного лісотехнічного університету України (LWFU) гербарні зразки з Кий-острова є цінним матеріалом для використання у дослідній та дидактичній роботі широкого кола зацікавлених осіб як з навчальних закладів, так і з наукових установ. Завдяки сучасним інтернет-технологіям, виконане сканування гербарних зразків у найближчій перспективі надасть додаткові можливості дистанційного доступу до них в «online»-режимі на сайті Гербарію (http://herbarium.nltu.edu.ua), що не тільки створить додаткові зручності, але й необмежено розширить коло потенційних користувачів.

References

Aleksandrova, V.D. (1977). *Geobotany zones of Arctic and Antarctic regions.* Leningrad: Science (in Russian).

Flora of European part of USSR. (1974-1994). 1-7. Leningrad-Sankt-Petersburg: Science (in Russian).

Herbaria of Ukraine. Index Herbariorum Ucrainicum. (2011). Kyiv: Alterpres (in Ukrainian).

Kucherov, I., Zverev, A. (2012). Scots pine-lichen forests in the middle and northern taiga of European Russia. *Tomsk State University Journal of Biology, 3* (19), 46-80. https://doi.org/10.17223/19988591/19/4 (in Russian).

Minyaev, N.A. (1969). Hypoarctic (arctic-boreal) elements in flora of north-west European part of USSR. In *Ranges of plants of flora of USSR, 2*, (pp. 34-47). Leningrad: Leningrad University (in Russian).

MycoBankDatabase. (2020). Available online: http://www.mycobank.org/quicksearch.aspx. [Accessed 20.04.2020].

National Atlas of Russian Federation. (2020). Available online: http://национальныйатлас.рф/cd2/328-330/328-330.html. [Accessed 20.04.2020].

Osadchuk, L., Soroka M., Shovgan A., Dolatovski, J., & Kolodiy, T. (2017). The collection of wood samples gathered by Yevstakhiy Voloshchak (1835-1918). To the 100th anniversary of the death of an outstanding scientist. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 15,* 163-179. https://doi.org/10.15421/411719 (in Ukrainian).

Pavalake, I.I. (1976). South border of distribution of arctic and arctic-alpine plants at European territory of USSR. In *Ranges of plants of flora of USSR, 3*, (pp. 144-162). Leningrad: Leningrad University (in Russian).

The Plant List. A working list of all plant species. (2020). Available online: http://wwwtheplantlist.org/tpl1/record/kew [Accessed 20.04.2020].

Prykladivska, T. (2018). Plants specimens from the Crimea Mountains in the Herbarium of Ukrainian National Forestry University (LWFU). *Visnyk of the Lviv University. Series Biology, 78*, 126-130. http://dx.doi.org/10.30970/vlubs.2018.78.24 (in Ukrainian).

Rupestrian landscapes of the White Sea Karelian Coast: natural characteristics, economic utilization, conservation (2008). Petrozavodsk: Karelian Research Centre of RAS (in Russian). http://www.krc.karelia.ru/publ.php?id=4415&plang=e

Rysin, L.P. (1975). *Pine forests of European part of USSR*. Moscow: Science (in Russian).

Sokolov, S.J., & Svyazeva, O.A. (1965). *Geography of arbor plants of USSR*. Moscow-Leningrad: Science (in Russian).

Soroka M., Shovgan A., & Lukashchuk H. (2003). Historical herbarium and anatomic collections at the botany department of Ukrainian State Forestry University. *Visnyk of the Lugansk State Pedagogical University, 11* (67), 129-132 (in Ukrainian).

Soroka M., Osadchuk L., & Shovgan A. (2017). The Lviv collection of wood samples gathered by Yevstachiy Voloshchak (1835-1918). *The Polish Dendrology Society Yearbook, 65,* 35-45. http://www.ptd.pl/ptd/wp-content/download/wydawnictwaPTD/rocznik65/4_Lwowska_kolekcja.

Soroka M., & Wozniak A. (2018). Historical collections of Professor Władysław Tyniecki in the Herbarium of the National Forestry University of Ukraine (LWFU) *Visnyk of the Lviv University. Series Biology, 78,* 182-186. http://dx.doi.org/10.30970/vlubs.2018.78.36 (in Ukrainian).

Vegetation of European part of USSR (1980). Leningrad: Science (in Russian).

Vinogradov, B.V. (1964). *Use the plant indicators for the study of nature resources*. Moscow: Higher school (in Russian).

Виды растений и лишайников Кий-острова в Гербарии Национального лесотехнического университета Украины (LWFU)

Т.Р. Прикладовская[1]

Кий-остров, расположенный в Онежском заливе Белого моря (географические координаты 64°00′ с. ш., 37°53′ в. д.), представляет собой выступ гранитной плиты, которая залегает на незначительной глубине и выходит на поверхность моря в виде скал. Геоморфологические и климатические особенности острова, а также близость Полярного круга и Арктической области обусловили формирование на нем своеобразных природных комплексов, преобладающими среди которых являются леса.

Выполненные в июле 1984 г. серии описаний лесных биоценозов Кий-острова позволили определить как основные типы этих лесов (сосняк лишайниковый скальный, сосняк лишайниковый каменистый, сосняк лишайниковый багульниково-вересковый на вершинах сельг, сосняк вороничный каменистый, сосняк воронично-лишайниковый), так и соответствующие им типы ассоциаций (*Pinetum cladinosum petraeum, Myrtillus-Calluna-Cladina-Typ, Pinetum empetrosum petraeum, Cladino-Pinetum* subass. *polytrichetosum communis*, *Empetro-Cladino-Pinetum*). Они характеризуются своеобразным сочетанием видов нижних ярусов, где рядом с лишайниками (*Cladonia* sp., *Cetraria* sp.) и мезоксерофитами (*Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Antennaria dioica* (L.) Gaertn.,) растут типичные болотные виды (*Empetrum nigrum* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Andromeda polifolia* L.).

Заболоченные фрагменты сосновых лесов, иногда с небольшими зеркалами водных поверхностей, представлены такими типами леса, как сосняк голубично-багульниковый и сосняк сфагново-багульниковый, что соответствует типам ассоциаций *Pinetum uliginosi-vaccinioso-ledosum* и *Pinetum sphagnoso-ledosum*. Такие древостои отличаются минимальными показателями бонитетов, сомкнутости и высоты, а в их кустарниково-травяно-моховом покрове преобладают в основном такие виды, как *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium oxycoccos* L., *Eriophorum* sp., *Cornus suecica* L., *Rubus chamaemorus* L., *Polytrichum commune* Hedw., *Comarum palustre* L.

Приведенный перечень доминантных растений и лишайников нижних ярусов лесных биоценозов острова демонстрирует наличие в их составе характерных представителей бореальной и гипоарктической флоры. Наибольшее их количество – это классические бореальные виды: *Andromeda polifolia*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Ledum palustre*, *Linnaea borealis* L., *Nardus stricta* L. и др. На второй позиции находятся гипоарктические виды. Среди них, *Betula nana* L., *Rubus arcticus* L., *Rubus chamaemorus*, *Cornus suecica*. На значительных по площади поверхностях скал выступают характерные элементы северных и южных лишайниковых тундр, представители отдела *Lichenomycota*, а именно, *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda, *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm., *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F.H. Wigg., *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.

Собранный гербарный материал (45 образцов 16-ти таксонов) передан автором Гербарию Национального лесотехнического университета Украины в 2018 году. Он в достаточной мере отображает наиболее характерные черты биоты скальных сосняков Кий-острова и является единственной коллекцией видов северной тайги европейской части России в Гербарии НЛТУ Украины, который официально за-

[1] *Прикладовская Татьяна Ричардовна* – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер 1-й категории отдела благоустройства и репродукции растений Ботанического сада. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-237-88-20, E-mail: prikladivska_tet@i.ua ORCID: 0000-0002-0265-0651

регистрирован в международных базах данных под акронимом LWFU.

Ключевые слова: Кийский архипелаг; Белое море; скальные сосняки; бореальная и гипоарктическая флора; гербарные образцы.

Plants and lichens from the Kiy Island in the Herbarium of the Ukrainian National Forestry University (LWFU)

T. Prykladivska[1]

Kiy Island is an island at the Onega Bay of the White Sea, 8 km off shore, 15 km off the town Onega. Coordinates: 64°00′N; 37°52′E. The island is the massive of the granite rocks. Geomorphology and climate of island, especially proximity to Arctic Circle caused the peculiarity of its nature complexes. The greater part of the island territory is covered by Scotch pine forest.

The author visited the Kiy Island in July 1984 with aime to describe the forest biocenoses. As a result the composition of forest lichens, mosses, herbage and shrub age were described. Some forest associations were defined and predominance species were collected.

The most wide-spread forest associations of Kiy Island are: *Pinetum cladinosum petraeum, Myrtillus-Calluna-Cladina-Typ, Pinetum empetrosum petraeum, Cladino-Pinetum* subass. *polytrichetosum communis*, *Empetro-Cladino-Pinetum*. They include the specific complex of species with wide ecological amplitude. Among them are the lichens of the dry location (*Cladonia* sp., *Cetraria* sp.) and the plants of swampy soil (*Empetrum nigrum* L., *Ledum palustre* L., *Vaccinium uliginosum* L., *Andromeda polifolia* L.). The more rare associations are: *Pinetum uliginosi-vaccinioso-ledosum* and *Pinetum sphagnoso-ledosum*. Their stands characterized by the lowest quality class, low density of canopy and high density of sward with such dominant plants as *Ledum palustre*, *Vaccinium uliginosum*, *Vaccinium oxycoccos* L., *Eriophorum* sp., *Cornus suecica* L., *Rubus chamaemorus* L., *Polytrichum commune* Hedw., *Comarum palustre* L.

The biggest part of all species is represented by the group of boreal plants: *Andromeda polifolia*, *Arctostaphylos uva-ursi* (L.) Spreng., *Chamaedaphne calyculata* (L.) Moench, *Galium boreale* L., *Ledum palustre*, *Linnaea borealis* L., *Nardus stricta* L. and others. The hypoarctic (arctic-boreal) plants such as *Betula nana* L., *Rubus arcticus* L., *Rubus chamaemorus*, *Cornus suecica* take the second place. The large group of collected species is represented by lichens: *Cetraria islandica* (L.) Ach., *Cladonia stellaris* (Opiz) Pouzar & Vězda), *Cladonia rangiferina* (L.) Weber ex F. H. Wigg., *Cladonia sylvatica* (L.) Hoffm., *Peltigera aphthosa* (L.) Willd.

The analyses of species ranges distribution show the predominance t of wide-ranges plants. First of all this is a group with the circumpolar ranges – *Andromeda polifolia*, *Arctostaphylos uva-ursi*, *Calluna vulgaris* L., *Chamaedaphne calyculata*, *Ledum palustre*, *Linnea borealis*, *Vaccinium oxycoccos*, *Vaccinium myrtillus* L., *Vaccinium vitis-idaea* L. and others. Also there are plants with amphiatlantic ranges (*Betula nana*, *Rubus arcticus* i *Cornus suecica*) and the Siberian elements of flora (*Juniperus communis* var. *saxatilis* Pall. and hybrid forms of *Picea obovata* Ledeb.). One of species is a rare plant: *Cornus suecica* includes in«Red Data Book of East Fennoscandia» (Status: 3 – Rare).

The collected herbarium was granted by the author to the UNFU in 2018. It includes 45 samples of 16 species lichens and plants. All of them are typical species from the north taiga and tundra zones. This northern herbal is one and only in the Herbarium of the Ukrainian National Forestry University (UNFU).

Key words: Kiy Archipelago; White Sea; Scotch pine rocks forest; boreal and hypoarctic flora; herbarium samples.

[1] *Tetyana Prykladivska* – PhD in Forestry, the 1-st category engineer in Department of plants reproduction of Botanical garden of Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-032-237-88-20, E-mail: prikladivska_tet@i.ua ORCID:: 0000-0002-0265-0651

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412003
Article received 2019.12.15
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Iryna Rusyn
rib7@i.ua
Stepan Bandera st., 12, Lviv, 79013, Ukraine

УДК 606:621.3+ 620.951/952+574.46

Біоелектрика екосистем лісів, заболочених лук та агроекосистем Західної України

І. Б. Русин[1], О. В. Медведєв[2], Б. Т. Валько[3], С. В. Нікітчук[4]

Отримання біоелектрики з екосистем живих рослин та асоційованих з ними електрогенерувальних ґрунтових мікроорганізмів є інноваційним джерелом альтернативної енергії. In situ здійснено оцінку біоелектропродуктивності екосистем лісових масивів, заболочених луків та агроекосистем Західної України у трьох зонах – північній (Полісся), центральній (Опілля) та південній (межа Покутсько-Буковинських Карпат і Чорногори). Найвищі показники біоелектрики ґрунту зафіксовано у фітомікробоценозах лісів. Середній рівень біоелектричного потенціалу в лісах становив 1080,5 мВ. Тільки дещо нижчими були середні біоелектричні показники в садах і заболочених луках, 1055,3 мВ і 1051,2 мВ, відповідно. Біоелектричний потенціал агрокультур істотно нижчий, за винятком Zea mays L. *Добовий рівень біоелектрики змінюється незначно із несуттєвим зниженням наприкінці світлового дня в частини зразків. Сезонні коливання рівня біоелектричного потенціалу від початку літа до пізньої осені у досліджених мікробно-рослинних асоціаціях є статистично незначними. Досліджено вплив вологості на генерацію біоелектричного потенціалу фітомікробоценозами. Виявлено позитивний вплив вологості ґрунту на генерування біоелектричного потенціалу. Встановлено зростання біоелектричного потенціалу в сухих ґрунтах, зумовлене активним фотосинтезом та акумуляцією вологи рослинами. Отримані результати розкривають перспективи лісових екосистем, екосистем заболочених луків і деяких агроекосистем як джерел поновлюваної та зеленої енергії при подальшому розробленні електробіотехнологічних аспектів.*

Ключові слова: *рослини; ґрунтові мікроорганізми; ґрунт; біоелектричний потенціал; біоелектрохімічна енергія; електроди; відновлювальна енергетика.*

Вступ. Екосистемна карта Західної України представлена мозаїкою лісів, земель сільськогосподарського призначення та заболочених територій, що простягаються на сотні гектарів. Крім безпосереднього еколого-географічного, кліматичного, геологічного, рекреаційного та сільськогосподарського значення ці екосистеми можуть слугувати екологічним джерелом біоелектрики, отриман-

[1] *Русин Ірина Богданівна* – кандидат біологічних наук, доцент кафедри екології та збалансованого природокористування Інституту сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола. Національний університет «Львівська Політехніка», вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.:+38-098-435-67-01. E-mail: rib7@i.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6041-1245

[2] *Медведєв Олександр Валентинович* – провідний інженер-конструктор філії «Науково-дослідний інститут автомобілебудування "Еталон"», вул. Городоцька, 174, Львів, 79022, Україна. Тел.:+38-067-337-10-17. E-mail:mov2@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0824-9893

[3] *Валько Богдан Тарасович* – магістр кафедри екології та збалансованого природокористування Інституту сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола. Національний університет «Львівська Політехніка», вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.:+38-093-709-49-29. E-mail: valkobogdan@mail.ru

[4] *Нікітчук Сергій Вікторович* – магістр кафедри екологічної безпеки та природоохоронної діяльності Інституту сталого розвитку ім. В'ячеслава Чорновола. Національний університет «Львівська Політехніка», вул. Степана Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.:+38-063-074-85-31. E-mail: nikitchyk2015@i.ua

ня якої відбувається без заподіяння будь-якої шкоди довкіллю, що властиво традиційним джерелам енергетики. Суть альтернативного методу отримання біоелектрики, що активно розвивається впродовж останнього десятиліття, полягає у внесенні електродних систем у товщу ґрунту, де ростуть рослини (De Schamphelair et al., 2008; Kaku, Yonezawa, Kodama, & Watanabe, 2008; Strik, Hamelers, Snel, & Buisman, 2008). Електроди акумулюють біоелектрику, продуковану ґрунтовими мікроорганізмами, що живляться кореневими виділеннями продуктів фотосинтезу рослин та продуктами розкладу листяного опаду (Strik et al., 2008; Timmers et al., 2012; Nitisoravut & Regmi, 2017). В утворенні біоелектрики важливу роль відіграють протони, які виділяються мікроорганізмами внаслідок як розкладу органічних сполук, так і дисоціації вугільної кислоти, утвореної з CO_2. Вуглекислий газ виділяється у великих кількостях коренями у ґрунт в процесі дихання рослин та в процесі метаболізму ґрунтових мікроорганізмів (Strik et al., 2008). Мікроорганізми, що беруть участь в утворенні біоелектрики, називають електроактивними чи електрогенерувальними (Kim et al., 2004; Logan & Regan, 2006; Logan, Rossi, Ragab, & Saikaly, 2019).

Біоелектротехнологічні установки, встановлені в лісах та заболочених територіях, мають перспективи використання для живлення польових автономних систем моніторингу за екосистемами, для влаштування бездротових станцій «зеленого» туризму в природних парках з можливістю підзарядки приладів. Біоелектротехнологічні пристрої, вмонтовані в землях сільськогосподарського призначення, можуть живити автономні системи поливу та давачі вологості ґрунту, інноваційні системи моніторингу за складом ґрунту та ростом рослин у межах розумного господарства. За розрахунками нідерландських науковців, теоретичним максимумом рослинно-мікробної електробіотехнології є повне енергозабезпечення цілих оселищ, який можна буде досягнути за умови вдосконалення технології (Strik et al., 2011; Wetser, 2016).

Дослідження біоелектрики болотних екосистем у лабораторних умовах показують вагомі перспективи таких об'єктів як важливого джерела біологічної енергії (Liu, Song, Li, & Yang, 2013; Lu, Xing, & Ren, 2015; Wetser, Liu, Buisman, & Strik, 2015). Причина полягає в тому, що заболочені умови створюють оптимальні умови для акумулювання ґрунтової біоелектрики (Lovley et al., 2011; Helder, Strik, Hamelers, & Buisman, 2012). Низький вміст кисню в болотистих субстратах зменшує втрати акумульованої біоелектрики. У цьому разі генеровані мікроорганізмами протони та електрони працюють на виробництво енергії, а не на відновлення кисневмісних сполук. Проте досліджень з отримання біоелектрики *in situ* на заболочених територіях є небагато. Перші дослідження електропродуктивності було здійснено безпосередньо на рисових плантаціях Японії (Kaku et al., 2008; Takanezawa, Nishio, Kato, Hashimoto, & Watanabe, 2010) та продовжено *in situ* в експериментах на рисових полях Японії та Індонезії (Kouzuma, Kaku, & Watanabe, 2014; Ueoka, Sese, Sue, Kouzuma, & Watanabe, 2016; Sudirjo, Pim de Jager, Cees, Buisman, & Strik., 2019), а також в заболочених лісах Південної Кароліни, США *in situ* (Dai, Wang, Chow, & Conner, 2015).

Потенціал та перспективи електропродуктивності екосистем заболочених луків у східноєвропейських кліматичних умовах залишається недослідженим, як і незаболочених територій лісів та сільськогосподарських угідь, представляючи значний інтерес з погляду можливого їх багатопланового використання як джерела рослинно-мікробної енергії. Тому *вкрай актуальним* є завдання оцінювання *in situ* біоелектричного потенціалу, генерованого численними у Західній Україні як заболоченими, так і незаболоченими екосистемами лісових масивів, луків, земель сільськогосподарського призначення як альтернативних місць для застосування електробіотехнології в ролі джерела зеленої енергії.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єктами досліджень* є біоелектричні параметри найпоширеніших екосистем у Західній Україні: лісових масивів, заболочених луків, сільськогосподарських садів та посівів сільськогосподарських культур (рис. 1). Експерименти проводили у с. Волощина Перемишлянського р-ну Львівської обл. (Опілля), с. Прилісне Маневицького р-ну Волинської обл. (Полісся) та с. Кривопілля Верховинського р-ну Івано-Франківської обл. (на межі Покутсько-Буковинських Карпат і Чорногори) (рис. 2). Всього було проаналізовано 32 найпоширеніші види мікробно-рослинних асоціацій по 50 зразків кожного виду.

Предметом досліджень є добові та сезонні коливання біоелектричного потенціалу. *Мета дослідження* – визначити біоелектричний потенціал рослинно-мікробних асоціацій екосистем, який вимірювали *in situ.*

Біоелектричний потенціал визначали у мікробно-рослинних асоціаціях *Pinus silvestris* L. та *Quercus robur* L., які є панівними деревними видами у лісах України, а також у мікробно-рослинних асоціаціях *Fagus sylvatica* L., *Betula pendula* Roth., *Alnus glutinosa* (L.) Gaerth. та *Carpinus betulus* L., частка яких також досить значна у видовому складі лісових масивів України (Bodnar, 2016). Діаметр стовбурів дерев у середньому становив 0,25-0,47 м. Ґрунт біля досліджуваних деревних видів вкритий шаром опалого листя чи хвої, мохом або трав'яними рослинами.

Об'єктами досліджень в агроекосистемах є показники біоелектрики типових мікробно-рослинних асоціацій фруктових садів: плодових дерев та кущів, за участі низки компонентів, зокрема, деревних видів *Prunus cerasus* L., *Prunus domestica* L., *Malus domestica* Borkh., *Pyrus communis* L., *Juglans regia* L. з діаметром стовбура в середньому 0,10-0,35 м; кущових видів *Ribes nigrum* L., *Ribes rubrum* L., *Rubus idaeus* L., *Ribes uva-crispa* L. заввишки в середньому 1,32-1,95 м; окремих особин *Viburnum*

opulus L. заввишки 2,58-3,42 м, *Vitis vinifera* L. завдовжки в середньому 1,74-3,04 м; а також однорічних сільськогосподарських культур – як низькорослих (*Allium cepa* L., *Petroselinum cripsum* (Mill.) Fuss, *Daucus carota* subsp. *sativus*, *Beta vulgaris* L., *Brassica oleracea* L., *Cucurbita pepo var. giraumontia, Cucurbita pepo* L.), так і високорослих (*Cucumis sativus* L., *Capsicum annuum* L. та *Zea mays* L.).

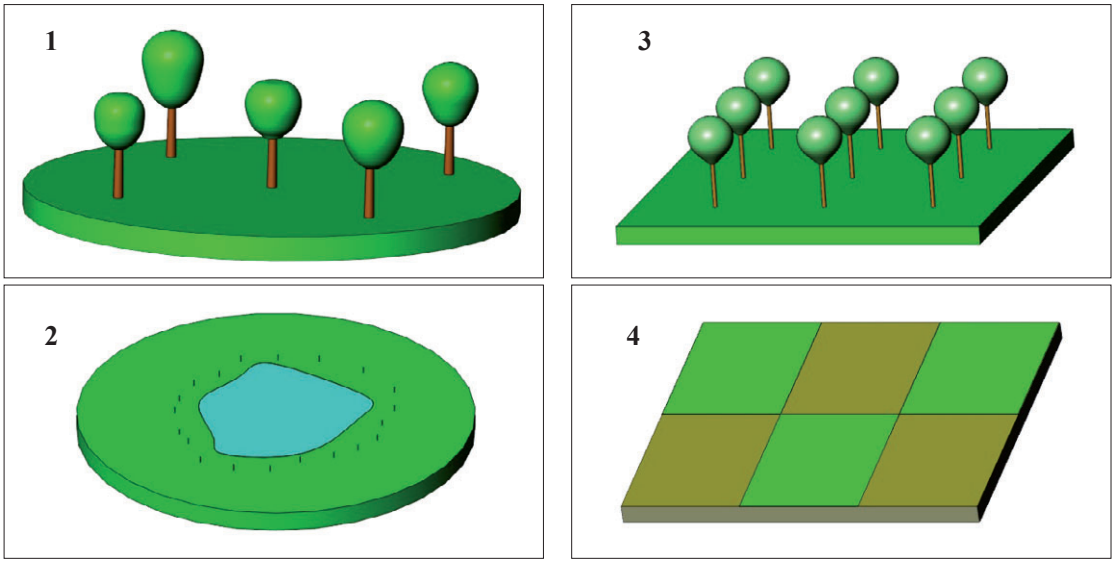


Рис. 1. Схематичне подання типів експериментальних ділянок моніторингу за біоелектричним потенціалом екосистем: лісів (1), заболочених луків (2), плодових садів (3) та посівів сільськогосподарських культур (4)

В екосистемах заболочених луків вивчали біоелектричні параметри фіто-мікробоценозів за участю *Carex hirta* L., *Carex brizoides* L., *Scirpus lacustris* L., *Poa palustris* L. та *Caltha palustris* L.

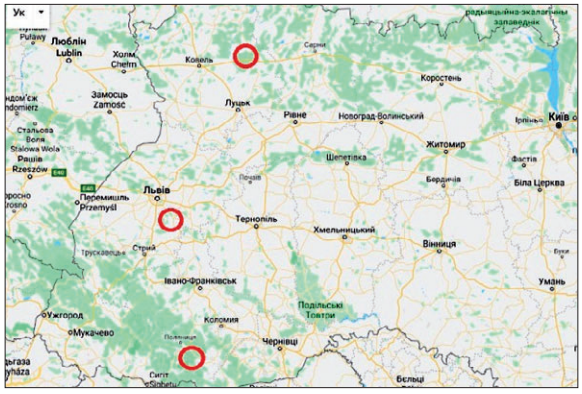


Рис. 2. Місця проведення експериментів у Західній Україні, в межах яких стаціонарно вмонтовано електродні системи для спостережень за біоелектричними параметрами

Для реєстрації біоелектричного потенціалу використовували розроблену нами моноелектродну систему (Rusyn & Medvediev, 2016) із графітових катодів, розміром 90 × 30 × 15 мм та оцинкованостальних або алюмінієвих анодів, розміром 292 × 30 × 0,8 мм або 300 × 0,3 × 0,3 мм, відповідно, з під'єднаними до них полівінілхлорид-ізольованими мідними дротами. Електродну систему розташовували стаціонарно на певній глибині у ґрунті – безпосередньо в зоні асоціації рослинного коріння та мікроорганізмів, де відбувається вивільнення електронів та протонів (рис. 3).

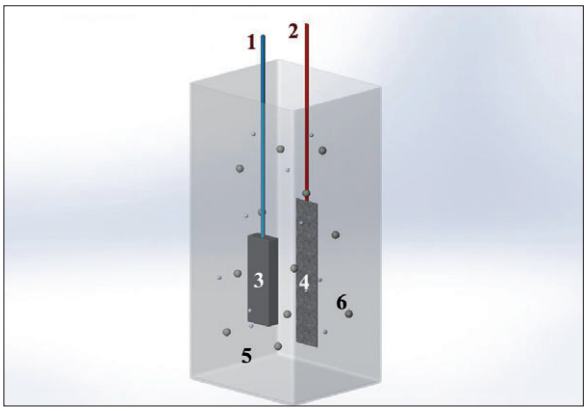


Рис. 3. Схематичне зображення використання електродів для визначення біоелектричного потенціалу у ґрунтах в найактивнішій зоні взаємодії коренів рослин та мікроорганізмів: 1 – вихід дроту, що з'єднує катод; 2 – вихід дроту, що з'єднує анод; 3 – катод; 4 – анод; 5 – субстрат; 6 – ґрунтові електроактивні мікроорганізми

Закінчення мідних дротів виводили на ґрунтову поверхню. Катоди та аноди поміщали на встановленій експериментально оптимальній дистанції між електродами 0,15 м та на відстані 0,5-1,0 м від стовбура; в частині експериментів – на відстані 0,5-3,0 м та 0,1-0,3 м від стебла рослини і на глибині 0,3-0,4 м у товщі ґрунту, де зосереджена основна маса кореневої системи як лісових, так і польових рослин (Zinchenko, Salatenko, & Bilonozhko, 2001; Crow, 2005; Eshel & Beeckman, 2013). За допомогою цифрового мультиметра, щупи якого закріплювали на дротах, що виходили на поверхню ґрунту з його глибини, знімали покази біоелектричного потенціалу. Покази біоелектричного потенціалу

реєстрували в чотирьох різних ділянках біля одного об'єкта, оскільки кореневі системи можуть бути асиметричними (Ganatsas & Spanos, 2005). Біоелектричні параметри вимірювали тричі на добу впродовж 150 днів (з червня по жовтень 2014 р.) та вираховували їхнє середнє значення. Наведені в роботі результати представлені як середнє значення для всіх повторюваних експериментів та їх стандартні похибки (x ± SE). Статистичну оцінку істотності різниці між середніми значеннями обчислено за допомогою F-тесту для 95%-го рівня достовірності.

Результати та обговорення. Експерименти, здійснені *in situ* у різних частинах Західної України впродовж 150 днів, показали досить високі значення отримуваної біоелектрики у найпоширеніших рослинно-мікробних асоціаціях – лісових масивах, заболочених луках та садових територіях, і дещо нижчі – на орних землях з насадженнями агрокультур. Середній рівень біоелектричного потенціалу в лісах становив 1080,5, у садах – 1055,3, заболочених луках – 1051,2 та в агрокультурах – 974,4 мВ (рис. 4).

Пояснення щодо зафіксованих саме у лісових фітоценозах найвищих показників біоелектрики ґрунту може полягати у поєднанні дії значної кількості чинників, основними з яких є такі. Лісові рослинно-мікробні асоціації є стабільними, сформованими впродовж тривалого часу та стабільно функціонуючими впродовж багатьох десятків років. У лісах відсутня щорічна механічна дія на ґрунт, властива землям сільськогосподарського призначення, що руйнує рослинно-мікробні зв'язки. Великий розмір лісових дерев, що сягають багато метрів у висоту, їхня значна фотосинтетична поверхня крони зумовлюють більшу кількість речовин, яку вони можуть віддавати через коріння у навколишнє середовище, ніж менші за розміром рослини, і цим самим інтенсивніше стимулювати розвиток ґрунтових мікроорганізмів. Більшість деревних рослин мають потужно розвинену горизонтальну частину кореневої системи (Kalinin, Huz, & Debryniuk, 1998; Maliuha & Khryk, 2010; Eismont, 2014), локалізовану в товщі ґрунту до 30-60 см від поверхні (Dobson, 1995; Crow, 2005; Eshel & Beeckman, 2013). Так, наприклад, корені *Q. robur* можуть проникати на глибину понад 15 м, однак горизонтальне тонке коріння, важливе для живлення електрогенерувальних мікроорганізмів, зосереджене на глибині 15-40 см (Kalinin, Huz, & Debryniuk, 1998; Mauer, Houskova, & Mikita, 2017). Глибина проникнення коріння *P. silvestris* може сягати понад 10 м, однак на бідних сухих ґрунтах сосна формує потужну поверхневу кореневу систему з короткими дрібними корінцями, зазвичай з мікоризою (Munzenberge, Golldack, Ullrich, Schmincke, & Huttl, 2004; Aucina et al., 2007; Raudaskoski & Salo, 2008). Значна частина коріння сосни зосереджена на глибині до 20 см (Ganatsas & Spanos, 2005; Maliuha & Khryk, 2010). Коренева система *A. glutinosa* та *B. pendula* теж розташована здебільшого поверхнево (Zuzuk, Kutsyk, Radko, Kulahina, & Serbin, 2007; Ostonen et al., 2013) і часто пов'язана мікоризою (Baxter & Dighton, 2001).

Органічні виділення приповерхневого горизонтального коріння дерев є істотними для створення мікроорганізмами біоелектричного потенціалу. Крім того, у лісах зосереджений значний обсяг органічного опаду, який є джерелом поживних речовин для розвитку електропродукувальних мікроорганізмів. Мікориза, що «сполучає» дерева в лісі між собою та простягається на багато кілометрів під землею, розподіляючи ресурси між лісовими деревами (Simard et al., 2015), створює оптимальні умови для розвитку мікроорганізмів, які генерують електричний потенціал. На наш погляд, саме тому у лісових екосистемах зафіксовано найвищі значення біоелектрики.

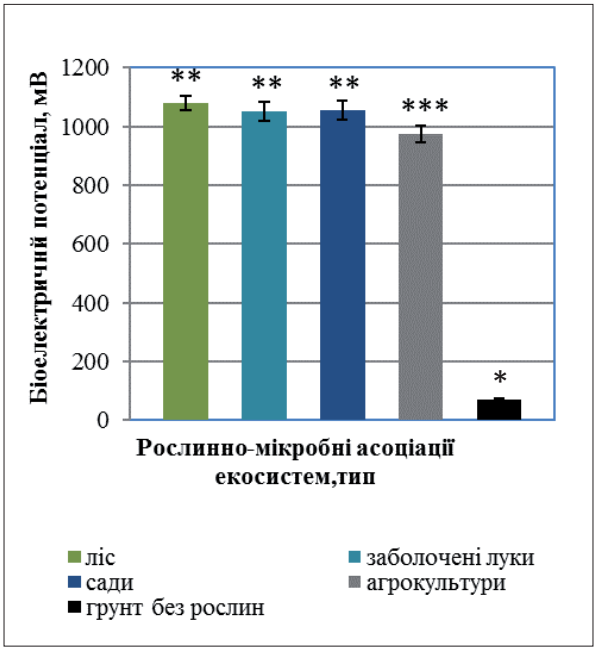


Рис. 4. Біоелектрика мікробно-рослинних асоціацій екосистем лісів, заболочених луків, фруктових садів, агрокультур та ґрунту без рослин (контроль), впродовж 150 днів спостережень протягом червня-жовтня (x ± SE, n = 50)[1]

Перераховані вище численні сприятливі умови для створення мікроорганізмами біоелектричного потенціалу в лісових масивах компенсуються наявними недоліками менш сприятливих умов для акумулювання біоелектрики, порівняно із заболоченими територіями. Тому, з удосконаленням технології «збору електрики ґрунтів», лісові мікробо-рослинні асоціації можуть стати важливим джерелом альтернативної енергії для поселень Волинського Полісся та лісових регіонів Карпат.

[1] 1. Біоелектричний потенціал ґрунту без рослин суттєво відрізняється порівняно з іншими рослинними екосистемами ($P < 0.05$).
2. Між біоелектричними параметрами екосистем лісу, заболочених луків і фруктових садів статистично суттєва різниця відсутня ($P > 0.05$).
3. Різниця між біоелектричними параметрами фітомікробоценозів агрокультур та екосистем лісу є статистично істотною ($P < 0.05$)

Зафіксований високий середній біоелектричний потенціал у садових фітоценозах та заболочених луках є дещо нижчим, ніж у лісах ($P > 0,05$, $p > 0,516$ та $p > 0,492$ відповідно), оскільки садові агроекосистеми наближені за умовами для розвитку електрогенерувальних мікроорганізмів до лісових, а в болотних екосистемах наявні найкращі умови для нагромадження біоелектрики (Lovley et al., 2011; Helder et al., 2012). Поряд з цим, у деяких садових і заболочених екосистемах зафіксовано досить високі значення біоелектричного потенціалу, і навіть вищі від середніх значень біоелектрики лісових екосистем, що підтверджує перспективи використання цих територій як джерела біоелектрики.

Так, середній біоелектричний потенціал садових мікробно-рослинних асоціацій фруктових кущів *R. idaeus* на 90-й та 91-й дні експерименту становив 1220,9 мВ, а екосистем заболочених луків з *C. hirta* – 1111,8 мВ (рис. 5).

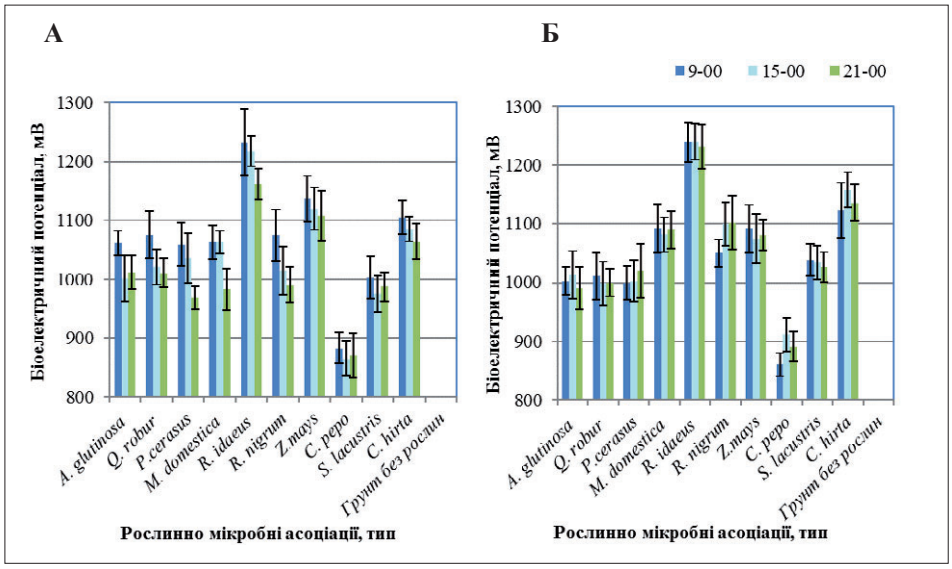


Рис. 5. Добові коливання біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій у лісових екосистемах *A. glutinosa* і *Q. robur*, екосистемах фруктових садів *P. cerasus* і *M. domestica*, ягідних кущів *R. idaeus* і *R. nigrum*, агрокультур *Z. mays* і *C. pepo*, екосистем заболочених луків *S. lacustris* і *C. hirta* та ґрунту без рослин як контролю на 90-й день експерименту (А) та 91-й день експерименту (Б) ($x \pm SE$, $n = 50$).
Величина біоелектричного потенціалу ґрунту без рослин становить 68,7 ± 3,0 мВ (А) та 66,3 ± 2,4 мВ (Б)

Середній рівень біоелектричного потенціалу агроекосистем сільськогосподарських рослин, порівняно з лісовими екосистемами, нижчий у середньому на 106,1 мВ ($P < 0,05$, $p > 0,995$). Таке явище можна пояснити тим, що на орних землях відсутні сформовані багаторічні симбіотичні зв'язки між рослинами та ґрунтовими бактеріями, наявними у лісах, садах, луках, сінокосах та пасовищах, оскільки орні землі декілька разів на рік зазнають механічного впливу (оранка, культивація, боронування тощо), а інокуляція біодобривами малопоширена. Внаслідок таких заходів ефективність надходження кореневих виділень, насичених необхідними речовинами для розвитку електрогенерувальних мікроорганізмів, є нижчою. Рослинний опад, що слугує ще одним джерелом поживних речовин для розвитку мікроорганізмів, відсутній в екосистемах сільськогосподарських культур. Крім цього, активне використання різних пестицидів, гербіцидів та хімічних добрив в умовах неорганічного землеробства пригнічує ріст мікроорганізмів. Вимивання кореневих виділень, важливих для генерації біопотенціалу та розподіл їх по вертикальному профілю відбувається інтенсивніше на ґрунтах, де немає стабільно функціонуючих потужних кореневих систем.

Винятком серед агроекосистем, що характеризуються низькими значеннями біоелектрики, є біоелектрична продуктивність насаджень кукурудзи, яка є високопродуктивною культурою, здатною за короткий час нагромадити більше органічної маси, ніж інші культурні рослини (Mokriienko & Tsentylo, 2011). Фотосинтетична поверхня кукурудзи перевищує більшість агрокультур, що є причиною активного живлення електрогенеруючих мікроорганізмів. Очевидно, через зазначені вище причини біоелектричний потенціал кукурудзи є на рівні екосистем садових кущів та дерев та в середньому становить 1102,5 мВ (див. рис. 5).

Добові коливання продукування біоелектрики усіх проаналізованих екосистем є не істотними ($P > 0,05$, $p > 0,943$) (див. рис. 5). Так, наприклад, середня добова різниця між максимальним та мінімальним значеннями біоелектричного потенціалу, що спостерігалася впродовж 90-го та 91-го днів експерименту, становить 48,38 мВ.

У динаміці коливань біоелектричного потенціалу рослинно-мікробних асоціацій екосистем упродовж доби спостерігається два основні аспекти: 1) найвищі значення біоелектрики зафіксовано зранку о 9.00 та в другій половині дня (15.00 год),

а наприкінці дня (21.00 год) встановлено деяке зниження рівня біоелектричного потенціалу (див. рис. 5А); 2) рівень біоелектрики залишається загалом подібним упродовж дня, а різниця біоелектричного потенціалу становить тільки 22,91 мВ (див. рис. 5Б). Добова різниця біоелектричного потенціалу між ранковим та вечірнім значеннями становить в середньому 50,94 мВ на 90-й день експерименту. У деяких фітоценозах виявлено дещо вищу різницю біоелектричного потенціалу впродовж дня. Так, наприклад, зафіксоване значення біоелектричного потенціалу мікробно-рослинної асоціації *P. cerasus* зранку вище від виявленого наприкінці дня на 90,7 мВ, а *R. nigrum* – на 83,7 мВ.

Подібні результати подано в дослідженнях Nguyen & Nitisoravut (2019), які повідомляють, що вихід біоелектрики є вищим упродовж світлого, порівняно з темним періодом доби. На нашу думку, це явище пов'язано з процесом фотосинтезу. У світлову частину доби рослини активно виділяють у ґрунт асиміляти та інші метаболіти, які використовують для своєї життєдіяльності ґрунтові мікроорганізми. Рівень фотосинтезу та, відповідно, нагромадження органічних сполук для розвитку електроактивних мікроорганізмів, що залежить від погодних умов та фізико-хімічних властивостей ґрунту, є специфічними для кожної екосистеми у світлову частину доби, тому і спостерігаються невеликі коливання рівнів біоелектричного потенціалу.

Експерименти з вивчення впливу вологості ґрунту на рівень біоелектрики *in situ* демонструють дещо інші результати, ніж отримані у сконструйованих лабораторних екосистемах, де встановлена пряма залежність впливу вологості ґрунту на електропродуктивність (Nguyen & Nitisoravut, 2019). Природні екосистеми є значно складнішими, ніж змодельовані та зазнають впливу більшої кількості чинників, які неможливо відтворити у лабораторних умовах. Незважаючи на те, що вологі субстрати є значно кращим середовищем для акумулювання біоелектрики, ніж недостатньо зволожені, проте низка перелічених вище оптимальних чинників для розвитку електроактивних мікроорганізмів у лісах і фруктових садах компенсують певну сухість ґрунту та забезпечують значення біоелектричного потенціалу на рівні вологих місцезростань (див. рис. 4). У деяких екосистемах із сухими ґрунтами (до 30 % вологості) спостерігався рівень біопотенціалу на рівні з вологими (31-70%) та мокрими (71-100%) ґрунтами або навіть вищим (див. рис. 4). Середній біоелектричний потенціал лучних мікробно-рослинних асоціацій, для яких характерна висока вологість ґрунту, є навіть дещо нижчим від біоелектричного потенціалу лісів з невисокою вологістю ґрунту. Так, біоелектричний потенціал лісової мікробно-рослинної асоціації *A. glutinosa* (рис. 6) суттєво не відрізняється від такої у *Q. robur* (рис. 7) на 70-й день експерименту та становить 1001,3 мВ проти 1010,3 мВ ($P > 0.05$), хоча перші дані отримані зі сухого ґрунту із вмістом вологи 15%, а наступні – із ґрунту з вологістю 45%.

Водночас трапляються випадки, коли в тих самих зразках за однакової вологості ґрунту (10-20%), чи за зниження вологості, біоелектричний потенціал суттєво зростає впродовж кількох днів ($P < 0,05$).

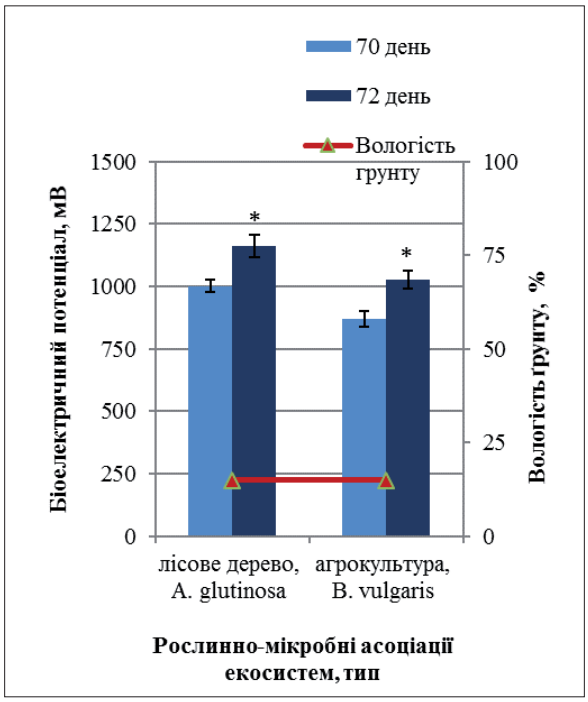


Рис. 6. Біолектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій лісу та агрокультур за однакової вологості ґрунту (15%) на 70-й та 72-й дні експерименту (x ± SE, n = 50). [Рівень біоелектричного потенціалу істотно зростає на 72-й день ($P < 0.05$)]

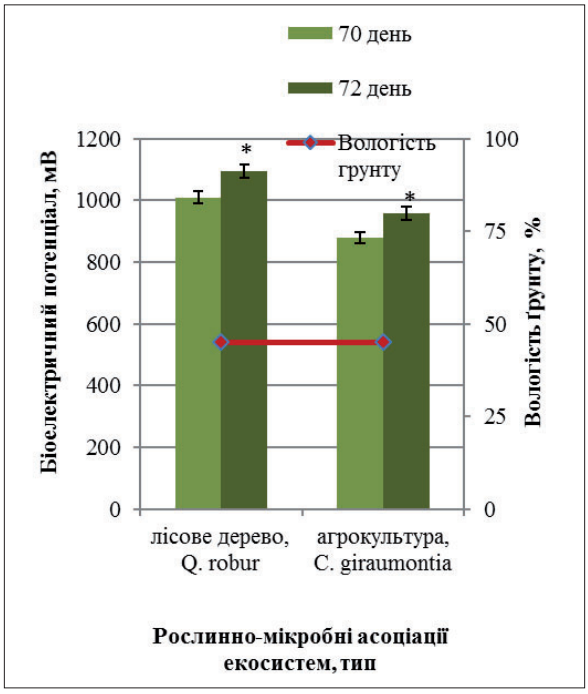


Рис. 7. Біолектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій лісу та агрокультур за однакової вологості ґрунту (45%) на 70-й та 72-й дні експерименту (x ± SE, n = 50). [Рівень біоелектричного потенціалу істотно зростає на 72-й день ($P < 0.05$)]

Наприклад, суттєве зростання рівня біоелектрики спостережено в лісових та садових мікробно-рослинних асоціаціях *A. glutinosa* та *B. vulgaris* за однакової вологості ґрунтових зразків (15%) на 70-й і 72-й дні експерименту; різниця між рівнем біоелектричного потенціалу становить 160,2 та 155,7 мВ ($P < 0,05$) (див. рис. 6). Подібне явище зафіксовано у вологому ґрунті (45%) на 70-й та 72-й дні експерименту у мікробно-рослинних асоціаціях лісу *Q. robur* та агрокультур *C. pepo var. giraumontia*. Підвищення біоелектричного потенціалу на 72-й день експерименту досить істотне і становить 85,2 та 78,8 мВ, відповідно, незважаючи на відсутність змін у вологості ґрунту ($P < 0.05$) (див. рис. 7).

За зниження вмісту вологи у ґрунті від 55% на 81-й день експерименту до 25% на 83-й день, рівень біоелектричного потенціалу також істотно зростає (рис. 8). За цих умов підвищення біоелектричного потенціалу становить 96,3 та 81,7 мВ у садових екосистемах та агроекосистемах *R. rubrum* і *B. oleracea*, відповідно ($P < 0,05$). Ці дані, водночас, є ще одним доказом мікробно-рослинного походження біоелектрики ґрунту: таке явище було б неможливим, якщо б електрика ґрунту була наслідком тільки його катіонно-аніонного складу.

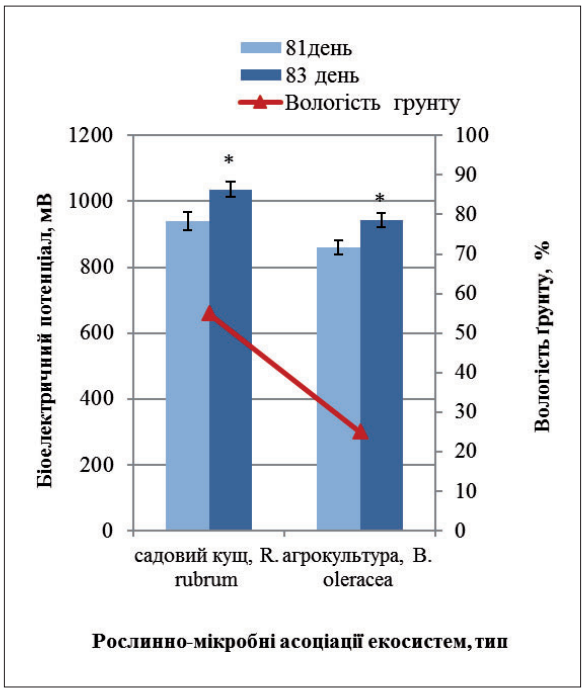


Рис. 8. Біоелектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій саду та агрокультур за зниження вологості ґрунту від 55% на 81-й день експерименту до 25% на 83-й день експерименту (x ± SE, n = 50). [Рівень біоелектричного потенціалу істотно зростає на 83-й день ($P < 0.05$)]

Високі показники біоелектрики сухих ґрунтів, коли електропровідність загалом ґрунту низька, можуть бути наслідком активних рослинних виділень та їх концентрацією у ґрунті. На відміну від сухих ґрунтів, у вологих грунтах значно інтенсивніше відбуваються метаболічні процеси у рослин та мікроорганізмів, що генерують біоелектрику, але й одночасно за наявності вологи можливе інтенсивне вимивання та розподіл кореневих виділень по всій товщі ґрунту по вертикальному профілю, а отже, позбавлення ґрунтових мікроорганізмів ресурсів для генерування біоелектрики. Особливо активним є процес вимивання в агроекосистемах – у культурах з відсутнім супутнім рослинним покривом, який утримує дощову воду. Тому за умов дощової погоди в агрокультурах можуть бути зафіксовані невисокі показники біоелектрики, і навіть нижчі, ніж у сухих ґрунтах.

Виявлений факт високих показників біоелектрики у ґрунтах із низькою вологістю та їх зростання із зниженням рівня вологи у ґрунті є ще одним доказом того, що отримувана біоелектрика залежить, насамперед, від активності рослин. Описане вище явище ілюструє і той факт, що за подібних умов вологості і кислотності, ґрунти з рослинами і без них істотно різняться значеннями біоелектричного потенціалу ($P < 0,05$) (рис. 9). Середнє значення біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій лісу та саду (*B. pendula* та *D. carota*) перевищують потенціал ґрунту без рослин у 15,5 та 10,5 разів. Високі значення біоелектричного потенціалу у сухому ґрунті з рослинами та низькі у такому ж сухому ґрунті без рослин є свідченням того, що низька вологість (10-20%) не є визначальним фактором для розвитку електрогенерувальних мікроорганізмів; вирішальними натомість є рослини, які постачають електроактивним мікроорганізмам необхідне органічне живлення та вологу.

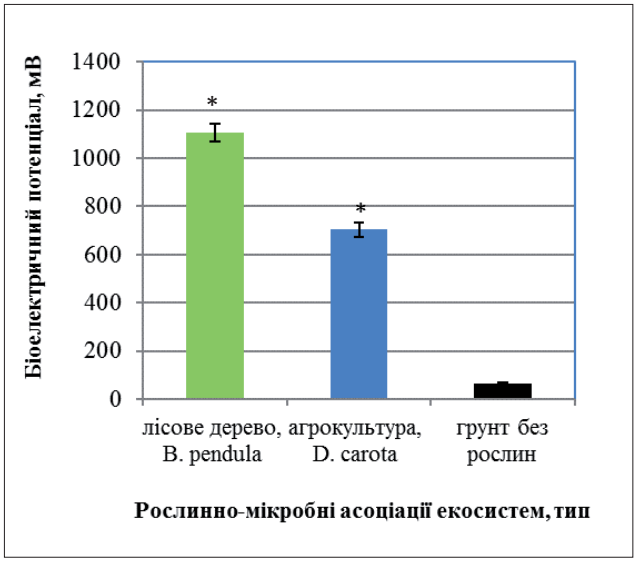


Рис. 9. Біолектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій лісу, агронасаджень та ґрунту без рослин за умов низького вмісту вологи у ґрунті 15% (x ± SE, n = 50). [Середній рівень біоелектричного потенціалу мікробно-рослинної асоціацій лісу та саду істотно перевищує потенціал ґрунту без рослин ($P < 0.05$)]

Водночас у багатьох екосистемах відмічено позитивний зв'язок між зростанням вологості та біоелектрики (рис. 10). Відомо, що за високої вологості ґрунту активніше відщеплюються та мігрують заряджені частинки, активніше відбувається фотосинтез. Якщо вологість за певних умов виступає основним чинником впливу на активність екосистеми, то з підвищенням вологості ґрунту електропровідність тільки зростає. Так, за збільшення вологості ґрунту від 15 до 55% впродовж 80-87-го днів експерименту істотно зростає і рівень біоелектричного потенціалу лісових та садових мікробно-рослинних асоціацій ($P < 0,05$). В цих умовах ріст біоелектричного потенціалу лісових мікробно-рослинних асоціацій *P. silvestris* та садових *M. domestica* складає 159,3 та 115,4 мВ, відповідно ($P < 0,05$) (див. рис. 10).

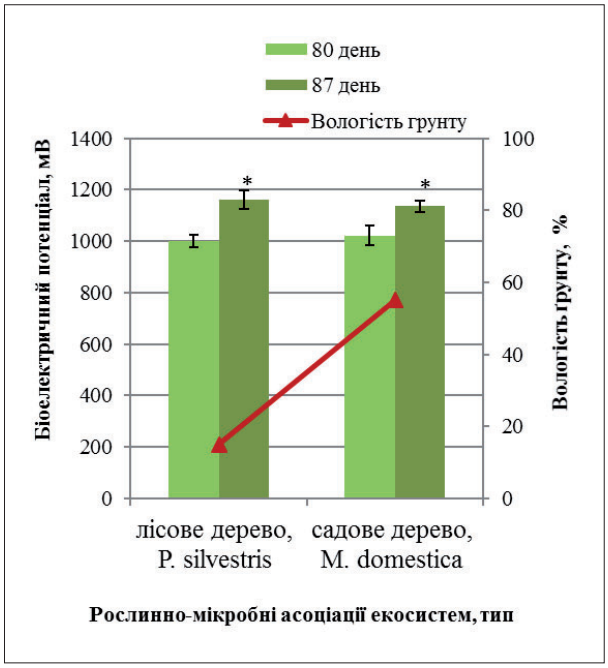


Рис. 10. Вплив вологи на біоелектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій лісу та саду впродовж 80-го та 87-го днів експерименту (x ± SE, n = 50). [Зростання біоелектричного потенціалу на 87-й день експерименту є істотним ($P < 0.05$)]

Незважаючи на щоденні коливання рівня біоелектрики, пов'язані з багатьма чинниками зовнішнього середовища, сезонні зміни біоелектричного потенціалу є неістотними. Так, наприклад, середній біоелектричний потенціал мікробно-рослинних асоціацій саду *P. communis* та *R. idaeus*, як і екосистем заболочених луків за участю *C. brizoides* та *P. palustris*, 1-го та 5-го місяців експерименту відрізнявся неістотно, різниця становила від 34,2 до 60,9 мВ ($P > 0,05$, $p > 0,632$, $p > 0,770$) (рис. 11).

Високі і стабільні середні значення біоелектричного потенціалу мікробно-рослинних асоціацій лісів та заболочених луків, фруктових садів та деяких сільськогосподарських культур з червня по жовтень, зростання потенціалу навіть у засушливих умовах розкривають їхні перспективи як важливого джерела відновлювальної енергії. Ліси та заболочені території змогли би стати додатковим екологічно чистим джерелом енергії як масштабного, так і локального значення. Біоелектротехнологія може мати високу актуальність для Волинської області, заболочені території якої, за даними Державного агентства лісових ресурсів України, займають найбільшу частку серед усіх областей України – 10,3% (Hryhora, Vorobiov, & Solomakha, 2005; Ivchenko, 2007; Bodnar, 2016), а також для північних низовинних територій Полісся та гірських територій України, де частка лісів є досить значною і займає від 40 до 80% всієї території (Ilina, 2007; Barvinskyi & Tykhenko, 2015). Підведення ліній електропередач до цих територій є проблематичним, супроводжується великими фінансовими затратами та руйнуванням довкілля. Землі сільськогосподарського призначення, які становлять значну частку в центральних регіонах Західної України, і, подекуди, охоплюють більшість її території, плодові сади та агрокультура *Zea mays* L. могли би використовуватися як джерело біоелектрики. Використання орних земель для енергопотреб мали б короткочасний характер, пов'язаний з терміном вирощування культур та механічною дією на ґрунт. Натомість, сільськогосподарські сади, сіножаті та пасовища, приватні сади в оселищах, частка яких досить значна у земельному фонді сільськогосподарського призначення (Barvinskyi & Tykhenko, 2015), могли б експлуатуватися цілорічно як джерело «зеленої» електрики.

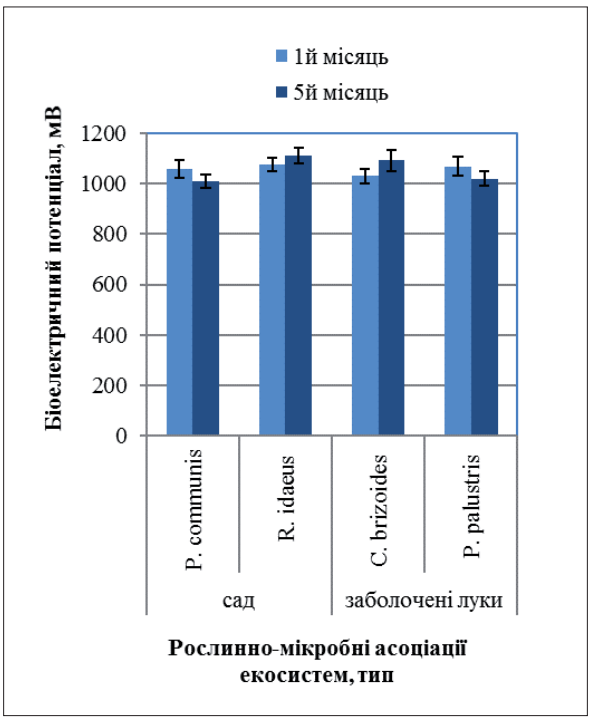


Рис. 11. Середній біоелектричний потенціал болотистих та садових екосистем впродовж 1-го та 5-го місяців експерименту (x ± SE, n = 50)

Висновки. Екосистеми лісів, заболочених луків та деяких агроекосистем, зокрема насаджень плодових дерев, садових кущів та агрокультур мають потенціал як джерело біоелектрики. Коливання біоелектрики впродовж доби у досліджених мікробно-рослинних асоціаціях є несуттєвим. Сезонні коливання рівня біоелектричного потенціалу впродовж червня-жовтня у мікробно-рослинних асоціаціях лісу, заболочених луків, садів та агрокультур є статистично незначними. Для генерування біоелектричного потенціалу необхідний цілий комплекс сприятливих умов температури, вологості та освітлення. Виявлено зростання рівня біоелектричного потенціалу в сухих ґрунтах за незмінної вологості та за зниженої вологості ґрунту, що є наслідком ефективного впливу фотосинтетичної активності рослин на розвиток електрогенерувальних мікроорганізмів. З іншого боку, зростання вологості ґрунту має істотний позитивний вплив на рівень біоелектричного потенціалу. Подальше розроблення електробіотехнологічного напряму відкриває потенційні можливості лісових екосистем, екосистем фруктових садів, екосистем заболочених луків, посівів деяких агрокультур, як джерела поновлюваної та стабільної зеленої енергії.

References

Akhani, H. (2014). *Caltha palustris*. *The IUCN Red List of Threatened Species 2014*: e.T167915A42321925. Retrieved from https://dx.doi.org/10.2305/IUCN.UK.2014-1.RLTS.T167915A42321925.en

Aucina, A., Rudawska, M., Leski, T., Skridaila, A., Riepsas, E., & Iwanski, M. (2007). Growth and mycorrhizal community structure of *Pinus sylvestris* seedlings following the addition of forest litter. *Applied and enviromental microbiology*, *73* (15), 4867-4873. https://doi.org/10.1128/AEM.00584-07

Barvinskyi, A.V., & Tykhenko, R.V. (2015). *Land quality assessment and forecast*. Kyiv: Medinform (in Ukrainian).

Baxter, J.W., & Dighton, J. (2001). Ectomycorrhizal diversity alters growth and nutrient acquisition of grey birch (*Betula populifolia*) seedlings in host-symbiont culture conditions. *New Phytologist*, *152,* 139-149.

Bodnar, V.O. (2016). General characteristics of forests and forestry of Ukraine. *Public report of the State Forest Resources Agency of Ukraine*, Kyiv (in Ukrainian). Retrieved from http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/uk/publish/article?art_id=62921

Crow, P. (2005). *The influence of soils and species on tree root depth*. Edinburgh: Forestry Commission.

Dai, J., Wang, J.-J., Chow, A.T., & Conner, W.H. (2015). Electrical energy production from forest detritus in a forested wetland using microbial fuel cells. *Global Chance Biology Bioenergy, 7,* 244-252. https://doi.org/10.1111/gcbb.12117

De Schamphelaire, L., Van Den Bossche, L., Hai, S.D., Höfte, M., Boon, N., Rabaey, K., & Verstraete, W. (2008). Microbial fuel cells generating electricity from rhizodeposits of rice plants. *Environmental Science & Technology, 42*(8), 3053-3058. https://doi.org/10.1021/es071938w

Dobson, M. (1995). *Tree root systems*. Farnham: Arboricultural Advisory and Information Service.

Eismont, V.S. (2014). Features of the structure of the root system of pine trees on soils with and without rocky rocks in Central Polissya. *Forestry and gardening, 4,* 1-7 (in Ukrainian).

Eshel, A., & Beeckman, T. (2013). *Plant Roots: The Hidden Half*. Fourth Edition. *Boca Raton:* CRC Press.

Ganatsas, P., & Spanos, I. (2005). Root system asymmetry of Mediterranean pines. *Plant and Soil, 278,*75-83. https://doi.org/10.1007/s11104-005-1092-3

Helder, M., Strik, D.P.B.T.B., Hamelers, H.V.M., & Buisman, C.J.N. (2012). The flat-plate plant microbial fuel cell: The effect of a new design on internal resistances. *Biotechnology for Biofuels, 5* (1), 70. doi: 10.1186/1754-6834-5-70

Hroisman, V. (2017). *Strategy to improve the mechanism to control the use and protection of agricultural land state property and disposal*. Kyiv: Cabinet of Ministers of Ukraine (in Ukrainian). https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/413-2017-%D0%BF

Hryhora, I.M., Vorobiov, Ye. O., & Solomakha, V.A. (2005). *Forest swamps of Ukrainian Polissya (origin, dynamics, classification)*. Kyiv: Fitosotsiotsentr (in Ukrainian).

Ilina, O.V. (2007). Volynia swamps: features of distribution and anthropogenic changes. *Scientific works of the Ukrainian Hydrometeorological Research Institute, 256,* 367-372 (in Ukrainian).

Ivchenko, A.S. (2007). Marshlands of Ukraine. In *Great Atlas of the world. Geographic Encyclopedia.* (pp. 333-336). Kyiv: Amerkom Ukraina (in Russian).

Kaku, N., Yonezawa, N., Kodama, Y., & Watanabe, K. (2008). Plant/microbe cooperation for electricity generation in a rice paddy field. *Applied Microbiology and Biotechnology, 79* (1), 43-49. https://doi.org/10.1007/s00253-008-1410-9

Kalinin, M.I., Huz, M.M., & Debryniuk, I.M. (1998). *Forest root science*. Lviv: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian).

Kim, B.H., Park, H.S., Kim, H.J., Kim, G.T., Chang, I.S., J. Lee, & Phung, N.T. (2004). Enrichment of microbial community generating electricity using a fuel-cell-type electrochemical cell. *Applied Microbiology and Biotechnology, 63,* 672-681. https://doi.org/10.1007/s00253-003-1412-6

Kouzuma, A., Kaku, N., & Watanabe, K. (2014). Microbial electricity generation in rice paddy fields: recent advances and perspectives in rhizosphere microbial fuel cells. *Applied Microbiology and Biotechnology, 98 (23),* 9521-9526. https://doi.org/10.1007/s00253-014-6138-0

Li, L., Du, Q., Ren, F., & Ma, X. (2019). Assessing spatial accessibility to hierarchical Urban Parks by multi-types of travel distance in Shenzhen. *China*

International Journal of Environmental Research and Public Health, 16 (1038), 1-23. https://doi.org/10.3390/ijerph16061038

Liu, S., Song, H., Li, X., & Yang, F. (2013). Power generation enhancement by utilizing plant photosynthate in microbial fuel cell coupled constructed wetland system. *International Journal of Photoenergy, Article ID 172010,* 1-10. https://doi.org/10.1155/2013/172010

Logan, B.E., & Regan, J.M. (2006). Electricity-producing bacterial communities in microbial fuel cells. *Trends Microbiology, 14*, 512-518. https://doi.org/ 10.1016/j.tim.2006.10.003

Logan, B.E., Rossi, R., Ragab, A., & Saikaly, P.E. (2019). Electroactive microorganisms in bioelectrochemical systems. *Nature Reviews Microbiology*, *17* (5), 307-319. https://doi.org/10.1038/s41579-019-0173-x

Lovley, D.R., Ueki, T., Zhang, T., Malvankar, N.S., Shrestha, P.M., Flanagan, K. ... Nevin, K.P. (2011). Geobacter: the microbe electric's physiology, ecology, and practical applications. *Advances in Microbial Physiology, 59,* 1-100. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-387661-4.00004-5

Lu, L., Xing, D., & Ren, Z.J. (2015). Microbial community structure accompanied with electricity production in a constructed wetland plant microbial fuel cell. *Bioresource Technology, 195,* 115-121. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2015.05.098

Maliuha, V.M., & Khryk, V.M. (2010). The fastening properties of the root system of the pine tree on the ravine and girder lands. *Scientific reports National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 4* (20)*,* 1-11 (in Ukrainian).

Mauer, O., Houskova, K., & Mikita, T. (2017). The root system of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) at the margins of regenerated stands. *Journal of Forest Science, 63* (1)*,* 22-33. https://doi.org/10.17221/85/2016-JFS

Mokriienko, V.A., & Tsentylo, L.V. (2011). Features of growth and development of corn, depending on the time of sowing and density of plants. *Scientific reports National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 3* (25), 28-35 (in Ukrainian).

Munzenberger, B., Golldack, J., Ullrich, A., Schmincke, B., & Huttl, R.F. (2004). Abundance, diversity, and vitality of mycorrhizae of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in lignite recultivation sites. *Mycorrhiza, 14* (3)*,* 193-202. https://doi.org/10.1007/s00572-003-0257-2

Nguyen, V., & Nitisoravut, R. (2019). Bioelectricity generation in Plant Microbial Fuel Cell using forage grass under variations of circadian rhythm, ambient temperature, and soil water contents. *2019 IEEE Asia Power and Energy Engineering Conference, Chengdu, China,* 240-244. https://doi.org/10.1109/APEEC.2019.8720344

Ostonen, I., Rosenvald, K., Helmisaari, H.-S., Godbold, D., Parts, K., Uri, V., & Lohmus K. (2013). Morphological plasticity of ectomycorrhizal short roots in *Betula* sp and *Picea abies* forests across climate and forest succession gradients: its role in changing environments. *Frontiers in Plant Science, 4,* 335. https://doi.org/10.3389/fpls.2013.00335

Raudaskoski, M., & Salo, V. (2008). Dichotomization of mycorrhizal and NPA-treated short roots in *Pinus sylvestris*. *Plant Signaling & Behavior, 3* (2)*,* 113-115. https://doi.org/10.4161/psb.3.2.4972

Rusyn, I.B., & Medvediev, O.V. (2016). Biological method of producing bioelectricity from deep soil layers. *Patent of Ukraine 112093*, filed March 9, 2016, issued December 12, 2016 (in Ukrainian).

Strik, D.P.B.T.B., Hamelers, H.V.M., Snel, J.F.H., & Buisman, C.J. (2008). Green electricity production with living plants and bacteria in a fuel cell. *International Journal of Energy Research, 32* (9)*,* 870-876. https://doi.org/10.1002/er.1397

Simard, S.W., Asay, A., Beiler, K.J., Bingham, M.A., Deslippe, J.R., He, X., ... Teste, F.P. (2015). Resource transfer between plants through ectomycorrhizal fungal networks. In Horton, T.R. (Ed.), *Mycorrhizal Networks* (Vol. 224, pp. 133-176). (Ecological studies: Analysis and Synthesis). Dordrecht: Springer.

Strik, D.P.B., T.B., Timmers, R.A., Helder, M., Steinbusch, K.J., Hamelers, H.V., & Buisman, C.J. (2011). Microbial solar cells: applying photosynthetic and electrochemically active organisms. *Trends in Biotechnology, 29* (1)*,* 41-49. https://doi.org/10.1016/j.tibtech.2010.10.001

Sudirjo, E., Pim de Jager , Cees J.N., Buisman, C.J.N., & Strik, D.P.B.T.B. (2019). Performance and Long Distance Data Acquisition via LoRa Technology of a Tubular Plant Microbial Fuel Cell Located in a Paddy Field in West Kalimantan. *Indonesia Sensors, 19,* 4647. https://doi.org/10.3390/s19214647

Takanezawa, K., Nishio, K., Kato, S., Hashimoto, K, & Watanabe, K. (2010). Factors affecting electric output from rice-paddy microbial fuel cells. *Bioscience, Biotechnology & Biochemistry, 74,* 1271-1273. https://doi.org/10.1271/bbb.90852

Timmers, R.A., Rothballer, M., Strik, D.P.B.T.B., Engel, M., Schulz, S., Schloter, M. … B., & Buisman, C. (2012). Microbial community structure elucidates performance of *Glyceria maxima* plant microbial fuel cell. *Applied Microbiology & Biotechnology, 94* (2)*,* 537-548. https://doi.org/10.1007/s00253-012-3894-6

Ueoka, N., Sese, N., Sue, M., Kouzuma, A., & Watanabe, K. (2016). Sizes of Anode and Cathode Affect Electricity Generation in Rice Paddy-Field Microbial Fuel Cells. *Journal of Sustainable Bioenergy Systems, 06* (01)*,* 10-15. https://doi.org/10.4236/jsbs.2016.61002

Wetser, K., Liu, J., Buisman, C.J.N., & Strik, D.P.B.T.B. (2015). Plant microbial fuel cell applied in wetlands: Spatial, temporal and potential electricity generation of *Spartina anglica* salt marshes and *Phragmites australis* peat soils. *Biomass & Bioenergy, 83,* 543-550. https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2015.11.006

Wetser, K. (2016). *Electricity from wetlands: Technology assessment of the tubular Plant Microbial Fuel Cell with an integrated biocathode. Part two: PMFCs applied in wetlands.* Wageningen: Wageningen University. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2014.10.006

Zinchenko, O. I., Salatenko, V. N., & Bilonozhko, M. A. (2001). *Plant Growing.* Kyiv: Agricultural education (in Ukrainian).

Zuzuk, B. M., Kutsyk, R. V., Radko, O. V., Kulahina, M. A., & Serbin, A. H. (2007). Alder gray, alder white *Alnus incana* (L.) Moench. *Magazine Pharmacist, 8,* 1-10 (in Ukrainian).

Биоэлектричество экосистем лесов, заболоченных лугов и агроэкосистем Западной Украины

И. Б. Русын[1], А. В. Медведев[2], Б. Т. Валько[3], С. В. Никитчук[4]

Получение биоэлектричества из экосистем живых растений с ассоциированными почвенными электрико-генерирующими микроорганизмами является инновационным источником альтернативной энергии. *In situ* проведена оценка биоэлектропродуктивности экосистем лесных массивов, болотистых территорий, агроэкосистем плодовых садов и насаждений сельско-хозяйственных культур в северной (Полесье), центральной (Ополье) и южной (на границе Покутско-Буковинских Карпат и Черногоры) частях западного региона Украины. Биоэлектрический потенциал определялся в наиболее распространенных типовых микробно-растительных ассоциациях лесных фитоценозов, заболоченных лугов и агроэкосистем с помощью двух-электродной системы, которую размещали стационарно в почве в зоне ассоциации корневой системы растений и электрико-генерирующих микроорганизмов в течение 150 дней (с начала лета до средины осени).

Наиболее высокие показатели биоэлектричества зафиксированы в фито-микробоценозах лесов. Средний уровень биоэлектрического потенциала в лесах составил 1080,5 мВ. В садах и заболоченных лугах биоэлектрические показатели были несколько ниже – 1055,3 и 1051,2 мВ соответственно. Биоэлектрический потенциал большинства агрокультур существенно ниже, кроме культуры *Zea mays* L., которая характеризовалась высокими средними значениями биоэлектрического потенциала на уровне садовых кустов. Установлено, что суточный уровень биоэлектричества в большей части образцов колеблется незначительно с несущественным снижением в конце светового дня. Сезонные колебания уровня биоэлектрического потенциала на протяжении июня – октября в исследованных микробно-растительных ассоциациях являются статистически незначительными. Исследовано влияние влажности на генерацию биоэлектрического потенциала фито-микробоценозами. Выявлено положительное влияние влажности почвы на генерирование биоэлектрического потенциала. Установлено увеличение биоэлектрического потенциала в сухих почвах, обусловленное активным фотосинтезом и аккумуляцией влаги растениями.

Высокие и стабильные средние значения биоэлектрического потенциала микробно-растительных ассоциаций лесов и заболоченных лугов, плодовых садов и некоторых сельскохозяйственных культур в период с июня по октябрь, увеличение биоэлектрического потенциала даже в засушливых условиях раскрывает его перспективы как важного источника возобновляемой энергии. Леса и заболоченные территории, которые занимают значительную часть территории Западной Украины, смогли бы стать дополнительным экологически чистым источником энергии, как масштабного, так и локального значения в случае дальнейшей разработки тех или иных аспектов электробиотехнологии.

Ключевые слова: растения; почвенные микроорганизмы; почва; биоэлектрический потенциал; биоэлектрохимическая энергия; электроды; возобновляемая энергетика.

[1] *Русын Ирина Богдановна* – кандидат биологических наук, доцент кафедры экологии и сбалансированного природопользования Института устойчивого развития им. Вячеслава Чорновола. Национальный университет «Львовская Политехника», ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. Тел.: + 38-098-435-67-01. E-mail: rib7@i.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6041-1245

[2] *Медведев Александр Валентинович* – ведущий инженер-конструктор филиала «Научно-исследовательский институт автомобилестроения "Эталон"», ул. Городоцкая, 174, Львов, 79022, Украина. Тел.: + 38-067-337-10-17. E-mail: mov2@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0824-9893

[3] *Валько Богдан Тарасович* – магистр кафедры экологии и сбалансированного природопользования Института устойчивого развития им. Вячеслава Чорновола. Национальный университет «Львовская Политехника», ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. Тел.: + 38-093-709-49-29. E-mail: valkobogdan@mail.ru

[4] *Никитчук Сергей Викторович* – магистр кафедры экологической безопасности и природоохранной деятельности Института устойчивого развития им. Вячеслава Чорновола. Национальный университет «Львовская Политехника», ул. Степана Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. Тел.: + 38-063-074-85-31. E-mail: nikitchyk2015@i.ua

Bioelectricity of forests ecosystems, wetlands and agro-ecosystems of the Western Ukraine

I. Rusyn[1], O. Medvediev[2], B. Valko[3], S. Nikitchuk[4]

Bioelectricity from ecosystems of living plants and their associated soil electric-generating microorganisms is an innovative source of alternative energy. The bioelectro-productivity of forests ecosystems, marshy areas and agro-ecosystems of orchards and plantations of agricultural crops was assessed *in situ* in three parts of the Western Ukraine in the north, in the Polissia, in the central part, in the Opillia and in the south, on the border of the Pokutsko-Bukovina Carpathians and Chornogora. The bioelectric potential was determined in the most spread and typical microbial-plant associations of forests, swampy meadows and agro-ecosystems of the Western Ukraine using the two-electrode system, which was located stationary in the soil in the zone of association of the plant root system and electric-generating microorganisms during 150 days – from the beginning of summer to late autumn.

The highest rates of bioelectricity were recorded in phyto-microbiocenoses of forests. The average level of bioelectric potential of forests was 1080.5 mV. In the gardens and wetlands, bioelectric performance was slightly lower, 1055.3 mV and 1051.2 mV, respectively. The bioelectric potential of the most agricultural crops was significantly lower, except for the *Z. mays* crop, which was characterized by high average values of bioelectric potential at the level of garden shrubs. It was found that the daily level of bioelectricity fluctuates slightly with slight decrease at the end of the light day in the some samples. We observed small fluctuations in the parameters of bioelectric potential, because the level of photosynthesis and, accordingly, the degree of accumulation of organic compounds that are substrates for the development of electroactive microorganisms, depending on meteorological conditions, physico-chemical soil factors are specific to each ecosystem and each new day. The seasonal fluctuations in the level of bioelectric potential during June – October in the studied microbial-plant associations were statistically insignificant. The influence of humidity on the generation of the bioelectrical potential of phyto-microbocenoses was studied. The positive effect of soil moisture on the bioelectric potential generation was revealed. With increase in humidity of soil from 15% to 55% the level of bioelectric potential of forest and garden microbial-plant associations also increased significantly. The increasing of the bioelectric potential of forest and garden microbial-plant associations of *P. silvestris* and *M. domestica* was 159.3 mV and 115.4 mV, respectively in these conditions. The increasing of bioelectric potential in dry soils was determined, due to active photosynthesis and moisture accumulation by plants. With the decrease in humidity of soil from 55% to 25%, the level of bioelectric potential increased significantly in agricultural and garden microbial-plant associations of *R. rubrum* and *B. oleracea*, the increase in bioelectric potential was 96.3 and 81.7 mV, respectively.

High and stable average values of the bioelectric potential of microbial-plant associations of forests and wetland meadows, orchards and some crops observed for the period from June to October, the rise of potential even in arid conditions were revealed their prospects as an important source of renewable energy. Forests and wetlands, which occupy a significant part of the territory of Western Ukraine, could become an additional environmentally friendly source of energy, both large-scale and local in case of further development of electro-biotechnology.

Key words: plants; soil microorganisms; soil; bioelectric potential; bioelectrochemical energy; electrodes; renewable energy.

[1] *Iryna Rusyn* – PhD of Biological Sciences, Associate Professor of the Department of Ecology and Sustainaible Environmental Management, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development. Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera st., 12, Lviv, 79013, Ukraine. Phone: + 38-098-435-67-01. E-mail: rib7@i.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-6041-1245

[2] *Oleksandr Medvediev* – Leading Design Engineer of the Lviv Department of Automobile Research Institute Etalon, Horodotska st., 174, Lviv, 79022, Ukraine. Tel: + 38-067-337-10-17. E-mail: mov2@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0824-9893

[3] *Bohdan Valko* – Master of Ecology and Balanced Nature Management Department of Ecology and Sustainaible Environmental Management, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development. Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera st., 12, Lviv, 79013, Ukraine. Phone: + 38-093-709-49-29. E-mail: valkobogdan@mail.ru

[4] *Serhii Nikitchuk* – Master of Department of Ecological Safety and Nature Protection Activity, Viacheslav Chornovil Institute of Sustainable Development. Lviv Polytechnic National University, Stepan Bandera st., 12, Lviv, 79013, Ukraine. Phone: + 38-063-074-85-31. E-mail: nikitchyk2015@i.ua

2. ЛІСОЗНАВСТВО ТА ЛІСІВНИЦТВО

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412004
Article received 2020.01.22
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Andriy Bokotey
bokotey.a@gmail.com
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 598.2 (282.247.31)

Репрезентативність та охорона орнітофауни Регіонального ландшафтного парку «Стільське Горбогір'я»

А. А. Бокотей[1], Н. В. Дзюбенко[2], О. А. Дубовик[3]

На підставі аналізу літературних джерел, музейних колекцій та власних досліджень авторів, проведених у 2010-2019 рр. на території сучасного Регіонального ландшафтного парку «Стільське Горбогір'я», розташованого в межах Бібрсько-Стільської височини Львівського Опілля, північно-східної окраїни Подільської височини, встановлено видовий склад, його репрезентативність та представленість орнітофауни в міжнародних, державних та регіональних природоохоронних списках.

В роботі вперше наведено список птахів дослідженої території. Лише окремі дані щодо певних видів можна знайти в колекції Державного природознавчого музею НАН України і нечисленних публікаціях.

Впродовж 2010-2019 рр. за маршрутними обліками на території РЛП встановлено перебування 186 видів птахів, які належать до 18 рядів, 47 родин. Особливістю орнітофауни регіону є кількісне переважання лісових видів (101 вид – 54%) над видами відкритих ландшафтів (85 видів – 46%), що зумовлено значною лісистістю території РЛП. Гніздовими перелітними є 75 видів (40%), осілими – 48 (26%), пролітними – 18 (10%), зимуючими – 17 (9%), залітними – 34 (18%).

Для з'ясування природоохоронного значення території РЛП проаналізовано включення виявлених видів до різних програм охорони природи на державному, регіональному та міжнародному рівнях: Червоної книги України (2009), «Списку рідкісних і зникаючих видів тварин, що підлягають особливій охороні на території Львівської області», червоного списку Міжнародного союзу охорони природи, Європейського списку видів, стан популяцій яких викликає найбільше занепокоєння, європейського списку птахів, які знаходяться під загрозою зникнення, списків Директиви ЄС щодо охорони птахів, додатків до Бернської, Боннської й Вашингтонської конвенцій та їхніх дочірніх угод, спеціальної програми для збереження окремих видів в Європі.

[1] *Бокотей Андрій Андрійович* – кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, докторант. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057. Старший науковий співробітник Державного природознавчого музею НАН України, вул. Театральна, 18, м. Львів, 79008, Україна. Тел.: +38-067-712-57-41. E-mail: bokotey.a@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4626-9585

[2] *Дзюбенко Наталія Вячеславівна* – кандидат біологічних наук, завідувач відділу прикладної музеології. Державний природознавчий музей НАН України, вул. Театральна, 18, м. Львів, 79008, Україна. Тел.: +38-067-660-35-40; E-mail: ndzyubenko@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8464-795X

[3] *Дубовик Олексій Андрійович* – студент Львівського національного університету ім. Івана Франка, вул. Грушевського, 4, м. Львів, 79005. Інженер з еколого-освітньої роботи Природного заповідника «Розточчя», вул. Січових Стрільців, 7, смт Івано-Франкове, Яворівський р-н Львівської обл., 81070, Україна. Тел: +38-063-587-55-09; E-mail: oadubovyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2936-6383

Високий ступінь репрезентативності орнітофауни, який має досліджувана територія, не підкріплений необхідними природоохоронними заходами, насамперед створенням охоронних ділянок навколо гнізд рідкісних видів птахів. Якщо не вжити цих заходів на території «Стільського Горбогір'я», може зникнути низка гніздових видів, серед яких шуліка чорний, лунь лучний, підорлик малий, пугач та сова болотяна. Групу ризику становлять і всі види, пов'язані із заплавними біотопами та старими лісами.

***Ключові слова**: птахи; рідкісні види; Бібрсько-Стільська височина; охорона; міжнародні природоохоронні акти.*

Вступ. Репрезентативність територій та об'єктів природно-заповідного фонду можна аналізувати у трьох основних аспектах: 1) за наявністю (повнотою охоплення) цінних у ботанічному, зоологічному, ландшафтному відношенні об'єктів (видів, ценозів, біотопів); 2) за повнотою представленості та розмірності заповідних об'єктів в одиницях еколого-геоботанічного, фізико-географічного або ландшафтного районування; 3) за просторово-динамічними критеріями (міграційні шляхи видів, сукцесійні процеси ценозів, здатність екосистем витримувати зовнішній вплив, їх ємність та самопідтримка (capacity), характер функціонування тощо (Didukh, Vakarenko, & Vynokurov, 2016).

Одним із найбільших за площею у Львівській області обєктів ПЗФ і найменш дослідженим із зоологічного погляду на сьогодні залишається Регіональний ландшафтний парк «Стільське Горбогір'я». Про важливість цього об'єкту з історико-культурного, археологічного, туристичного, геологічного, лісівничого, ботанічного та інших аспектів свідчить значна кількість опублікованих останнім часом низка праць (Didukh et al., 2016; Pozniak, Papish, Ivaniuk, & Yamelynets, 2018; Kovalchuk & Man'ko, 2018; Horyn, 2018; Brusak & Krychevska, 2019). Поряд з цим наукові праці, що стосуються дослідження птахів цієї території, практично відсутні.

Перша, і чи не єдина, праця, де можна знайти згадки про птахів сучасної території РЛП «Стільське Горбогір'я», є каталог музею ім. Дідушицьких у Львові (Dzieduszycki, 1880). Дослідженнями наступних поколінь орнітологів ця територія не була охоплена. Окремі знахідки зберігаються у фондах Державного природознавчого музею НАН України (Bokotey & Sokolov, 2000). Лише в 2010 р. опубліковано дві монографії, з яких можна почерпнути відомості про орнітофауну Бібрсько-Стільської височини (Bokotey et al., 2010; Andreychuk et al., 2010). Також у 2019 р. з'явилася публікація по рідкісних видах птахів цієї території (Dubovyk, Skyrpan, & Zahorodnyi, 2019).

РЛП «Стільське Горбогір'я» створений згідно рішення Львівської обласної ради від 1.04.2014 р., № 1043. Площа парку становить майже 8910 га. Він розташований в межах Бібрсько-Стільської височини Львівського Опілля, на північно-східній окраїні Подільської височини. Створений на основі комплексної пам'ятки природи «Стільська» з метою охорони і збереження одного із найбільших у Східній Європі городищ VIII-XII ст. та букових лісів на межі їхнього ареалу.

Природна рослинність представлена буковими, грабово-дубовими та дубово-грабовими лісами. Переважають середньо- і високоповнотні деревостани I і II класів бонітету, представлені також і деревостани I^a класу бонітету за домінуванням бука лісового та вільхи чорної.

Цінними у природоохоронному відношенні є деревостани віком 80-100 років з перевагою бука, дуба і клена-явора. Заслуговують на увагу і середньовікові, переважно букові деревостани з грабом, дубом, вільхою і явором.

Незначні площі займають цінні старовікові (100-180 років) букові ліси з домішкою явора, граба і ясена звичайного. Перспективними для збереження є також угруповання з перевагою дуба звичайного віком 60-90 років. Заслуговують на увагу і чисті яворові деревостани, які є малопоширеними в зоні Лісостепу.

Окрім цього, наявні сосняки та смеречники штучного походження віком менше 60 років за участю вільхи, граба, дуба, клена-явора; сосново-ялинові з домішкою вільхи; вільхово-соснові і вільхово-ялинові угруповання та вільшняки. Загалом, переважають вологі дубово-грабові бучини, частина площі припадає на сирі чорновільхові груди (Andreychuk et al., 2010; Ivanov, Andreychuk, Voloshyn, Hnatyuk, & Kovalchuk, 2017).

До сьогодні не існує жодної праці, в якій був би здійснений аналіз видового складу, населення птахів, розглянуто питання репрезентативності та охорони фауни «Стільського горбогір'я».

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – орнітофауна регіонального ландшафтного парку «Стільське Горбогір'я». *Предмет дослідження* – видовий склад орнітофауни РЛП «Стільське Горбогіря», її репрезентативність і представленість в міжнародних, державних та регіональних природоохоронних списках.

Мета досліджень – встановити видовий склад орнітофауни РЛП «Стільське Горбогір'я», довести вагомість її репрезентативності та обгрунтувати необхідність посиленої охорони її раритетної складової.

За основу проведення обліків орнітофауни взято метод лінійних трансект з необмеженою шириною облікової смуги (Jarvinen & Vaisanen, 1977). Облікові маршрути прокладено у різних типах лісу таким чином, щоб облікова смуга якомога повніше охоплювала однотипний лісостан. При цьому унеможливлювали проходження одним маршрутом впродовж одного обліку. Швидкість пересування під час обліку становила 3-4 км/год.

У співочих видів обліку підлягали лише співаючі самці. Самця, якого облікували два й більше разів, вважали гніздовим. У не співаючих птахів обліковували всіх особин. Достовірність гніздування у таких випадках визначали згідно з правилами Комітету європейського орнітологічного атласу. Види, які не гніздилися у конкретному лісостані, обліку не підлягали.

Для порівняння гніздової орнітофауни РЛП «Стільське Горбогір'я» зі списками гніздових птахів інших територій застосовано коефіцієнти подібності Соренсена і Жакара.

Таксономічний порядок розташування видів у таблиці і наукова номенклатура наведені згідно із сучасними вимогами (HBW and BirdLife International, 2019). Українські назви птахів наведені за Fesenko, Bokotey (2007).

Результати досліджень та їх обговорення. За результатами досліджень в межах РЛП «Стільське Горбогір'я» виявлено 186 видів птахів, які належать до 18 рядів та 47 родин (табл.). Особливістю орнітофауни цього регіону є кількісне переважання лісових видів (101 вид або 54%) над видами відкритих ландшафтів (85 видів або 46%), що зумовлене значною лісистістю території РЛП та незначною кількістю непротічних водойм. Спостерігається значне переважання гніздових – 123 (66% від загальної кількості сучасної орнітофауни РЛП), над не гніздовими – 63 (34%) видами. Осілими є 48 (26%) видів, 75 (40%) – гніздовими перелітними, 18 (10%) – пролітними, 34 (18%) – залітними, 17 (9%) – зимуючими.

Оскільки найбільшу приуроченість до середовища існування птахи проявляють в період розмноження, для оцінки репрезентативності обрано саме гніздову орнітофауну досліджуваної території. Якщо порівнювати існуючий на сьогодні видовий склад птахів РЛП «Стільське Горбогір'я», то репрезентативність її становить 73,7% від гніздової орнітофауни Львівської області загалом (Tatarynov, 2001; Bashta et al., 2013), 71,8% – від гніздової орнітофауни басейну верхнього Дністра (Bokotey et al., 2010) та 51,5% – від гніздової орнітофауни західного регіону України (Fesenko & Bokotey, 2007). Це підтверджується і розрахунками коефіцієнтів подібності Жаккара (64,40%, 63,40% і 45,22%) та Сьоренсена (78,34%, 77,60% і 62,28%) відповідно.

Таке багатство гніздової орнітофауни наявне далеко не в кожному заповіднику чи національному природному парку, що ще раз підтверджує важливість РЛП «Стільське Горбогір'я», як ключової природоохоронної території.

Таблиця

Фауна птахів РЛП «Стільське Горбогір'я» у 2010-2019 рр. та охоронні статуси видів

Вид	Природоохоронні законодавчі акти											Статус виду
	ЧКУ-ІІІ	Львів. обл.	SPEC	ETS	IUCN	Birds Directive	Bern Convention	Emerland Network	Bonn Convention	AEWA	CITES	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Coturnix cotunix			3	(H)	LC	II	III					Г, П
Phasianus colchicus			__	(S)		II, III	III					О
Perdix perdix			3	VU	LC	II, III	III					О
Bonasa bonasia	ВР	В	__	S	LC	I; II	III					О
Cygnus olor			__e	S	LC	II	III		II	✓		За
Anser anser			__	S	LC	II; III	III		II	✓		Тр
A. fabalis					LC	II	III		II	✓		Тр
A. albifrons					LC	II, III	III		II	✓		Тр
Aythya ferina			2	(D)	VU	II, III	III		II	✓		Г, П
Ay. fuligula			3	(D)	LC	II, III	III		II	✓		Г, П
Spatula querquedula			3	(D)	VU	II	III		II	✓		Г, П
S. clypeata		Р	3	(D)	LC	II, III	III		II	✓		Г, П
Mareca strepera	РД	В	3	(H)	LC	II	III		II	✓		Тр
M. penelope					VU	II, III	III		II	✓		Тр
Anas platyrhynchos			__	(S)	LC	II; III	III		II	✓		Г, П, З
A. crecca					LC	II, III	III		II	✓		Тр
Tachybaptus ruficollis			__	S	LC		II			✓		Г, П
Podiceps cristatus			__	S	LC		III			✓		Тр
Columba oenas	ВР	Р	__e	S	LC	II	III					Г, П

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
C. livia f. domestica			__	(S)	LC	II	III					О
C. palumbus			__e	S	LC	II; III		✓				Г, П
Streptopelia turtur			3	D	VU	II	III		II			Г, П
S. decaocto			__	S	LC	II	III					О
Caprimulgus europaeus		P	2	(H)	LC	I	II	✓				Г, П
Apus apus			__	(S)	LC		III					Г, П
Cuculus canorus			__	S	LC		III					Г, П
Rallus aquaticus			__	(S)	LC	II	III			✓		Г, П
Crex crex		P	1	H	LC	I	II	✓	II	✓		Г, П
Porzana porzana			__e	(S)	LC	I	II	✓	II	✓		Г, П
Zapornia parva			__e	(S)	LC	I	II	✓	I	✓		Г, П
Gallinula chloropus			__	S	LC	II	III			✓		Г, П
Fulica atra			__	(S)	NT	II; III	III			✓		За
Grus grus	РД	B	2	(H)	LC	I	II	✓	II	✓	II	П
Gavia arctica				VU	LC	I	II	✓		✓		За
Ciconia nigra	РД	B	2	R	LC	I	II	✓	II	✓	II	Г, П
C. ciconia			2	H	LC	I	II	✓	II	✓		Г, П
Botaurus stellaris		P	3	H	LC	I	II	✓	II	✓		Г, П, З
Ixobrychus minutus		P	3	(H)	LC	I	II	✓	II	✓		Г, П
Nycticorax nycticorax		B	3	H	LC	I	II	✓		✓		За
Ardea cinerea			__	S	LC		III			✓		За
Ardea alba			__	S	LC	I	II	✓		✓		За
Egretta garzetta			__	S	LC	I	II	✓		✓		За
Phalacrocorax carbo			__	S	LC		III			✓		За
Charadrius dubius			__	(S)	LC		II		II	✓		За
Vanellus vanellus			2	VU	VU	II	III		II	✓		За
Numenius arquata	ЗК	B	2	D	VU	II	III		II	✓		Тр
Limosa limosa		P	2	VU	VU	II	III		II	✓		За
Calidris pugnax					LC	I, II	III	✓	II	✓		Тр
Scolopax rusticola			3	(D)	LC	II; III	III			✓		Г, П
Gallinago gallinago			3	(D)	LC	II; III	III		II	✓		За
Actitis hypoleucos			3	(D)	LC		II		II	✓		За
Tringa ochropus		P	__	S	LC		II		II	✓		Тр
T. totanus			2	D	LC	II	III		II	✓		За
T. glareola					LC	I	II	✓	II	✓		Тр
Larus ridibundus			__e	(S)	LC	II	III			✓		За
L. argentatus			__e	S	NT	II				✓		За
L. cachinnans			__e	S	LC	II	III			✓		За
Chlidonias hybrida			3	H	LC	I	II	✓		✓		За
Ch. niger			3	(H)	LC	I	II	✓	I	✓		За
Sterna hirundo			__	S	LC	I	II	✓	II	✓		За
Athene noctua			3	(D)	LC		II				II	О
Asio outs			__	(S)	LC		II				II	О
A. flammeus	РД	B	3	(H)	LC	I	II	✓			II	За
Strix aluco			__e	S	LC		II				II	О
S. uralensis	НВ	H	__	(S)	LC	I	II	✓			II	О
Bubo bubo	РД	B	3	(H)	LC	I	II	✓			II	О

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Pernis apivorus		Р	__e	(S)	LC	I	III	✓	II		II	Г, П
Clanga pomarina	РД	Р	2	(D)	LC	I	III	✓	II		II	Г, П
C. clanga	РД			EN	EN	I	III	✓	I; II		II	Тр
Aquila chrysaetos	ВР	Р	3	R	LC	I	III	✓	II		II	За
Hieraaetus pennatus	РД	З	3	(R)	LC	I	III	✓	II		II	Тр
Circus aeruginosus			__	S	LC	I	III	✓	II		II	Г, П
C. cyaneus	РД	Р	3	H	NT	I	III	✓	II		II	З, П
C. macrourus	ЗК			EN	NT	I	III	✓	II		II	Тр
C. pygargus	ВР	В	__e	S	LC	I	III	✓	II		II	Г, П
Accipiter nisus			__	S	LC		III		II		II	О
A. gentilis			__	S	LC		III		II		II	О
Haliaeetus albicilla	РД	В	1	R	LC	I	III	✓	I; II		I	Тр
Milvus migrans	ВР	З	3	VU	LC	I	III	✓	II		II	Г, П
Buteo lagopus					LC		III		II		II	З
B. buteo			__	S	LC		III		II		II	Г, П, З
Upupa epops			3	(D)	LC		II					Г, П
Merops apiaster		З	3	(H)	LC		II		II			Г, П
Alcedo atthis			3	H	VU	I	II	✓				О
Jynx torquilla			3	(D)	LC		II					Г, П
Picus canus			3	(H)	LC	I	II	✓				О
P. viridis	ВР		2	(H)	LC		II					О
Dryocopus martius			__	S	LC	I	II	✓				О
Leiopicus medius			__e	(S)	LC	I	II	✓				О
Dryobates minor			__	(S)	LC		II					О
Dendrocopos leucotos	РД		__	(S)	LC	I	II	✓				О
D. syriacus			__e	(S)	LC	I	II	✓				О
D. major			__	S	LC		II					О
Falco tinnunculus			3	D	LC		II		II		II	Г, П
F. vespertinus		В	3	VU	NT	I	II	✓	I, II		II	Г, П
F. columbarius					LC	I	II	✓	II		II	З, Пр
F. subbuteo		В	__	(S)	LC		II		II		II	Г, П
F. cherrug				EN	VU	I	II	✓	II		II	Тр
F. peregrinus					LC	I	II	✓	II		I	Тр
Oriolus oriolus			__	S	LC		II					Г, П
Lanius collurio			3	(H)	LC	I	II	✓				Г, П
L. excubitor	РД	Н	3	(H)	VU		II					З
Garrulus glandarius			__	S	LC	II						О
Pica pica			__	S	LC	II						О
Nucifraga caryocatactes			__	S	LC		II					За
Corvus monedula			__e	(S)	LC	II						О
C. frugilegus			__	(S)	LC	II						О
C. cornix			__	S	LC	II						О
C. corax			__	S	LC		III					О
Periparus ater			__	(S)	LC		II					О
Poecile palustris			3	D	LC		II					О
P. montanus			__	S	LC		II					О
Cyanistes caeruleus			__e	S	LC		II					О

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Parus major			__	S	LC		II					O
Remiz pendulinus			__	(S)	LC		III					Г, П
Lullula arborea			2	H	LC	I	III	✓				Г, П
Alauda arvensis			3	(H)	LC	II	III					Г, П
Galerida cristata			3	(H)	LC		III					За
Hippolais icterina			__e	(S)	LC		II		II			Г, П
Acrocephalus schoenobaenus			__e	S	LC		II		II			За
A. palustris			__e	(S)	LC		II		II			Г, П
A. scirpaceus			__e	S	LC		II		II			За
A. arundinaceus			__	(S)	LC		II		II			Г, П
Locustella luscinioides			__e	(S)	LC		II		II			За
L. fluviatilis			__e	(S)	LC		II		II			Г, П
L. naevia		P	__e	(S)	LC		II		II			Г, П
Delichon urbica			3	(D)	LC		II					Г, П
Hirundo rustica			3	H	LC		II					Г, П
Riparia riparia			3	(H)	LC		II					Г, П
Phylloscopus sibilatrix			2	D	LC		II		II			Г, П
Ph. trochilus			__	S	LC		II		II			Г, П
Ph. collybita			__	S	LC		II		II			Г, П
Aegithalos caudatus			__	S	LC		III					O
Sylvia atricapilla			__e	S	LC		II		II			Г, П
S. borin			__e	S	LC		II		II			Г, П
S. nisoria		P	__e	S	LC	I	II	✓	II			Г, П
Sylvia curruca			__	S	LC		II		II			Г, П
S. communis			__e	S	LC		II		II			Г, П
Certhia brachydactyla		H	__e	(S)	LC		II					O
C. familiaris			__	S	LC		II					O
Sitta europaea			__	S	LC		II					O
Troglodytes troglodytes			__	S	LC		II					O
Sturnus vulgaris			3	D	LC	II						Г, П, З
Turdus viscivorus			__e	S	LC	II	III					Г, П
T. philomelos			__e	S	LC	II	III					Г, П
T. iliacus			__eW	(S)	NT	II	III					Тр
T. merula			__e	S	LC	II	III					Г, П
T. pilaris			__eW	(S)	LC	II	III					O
Muscicapa striata			3	H	LC		II		II			Г, П
Erithacus rubecula			__e	S	LC		II		II			Г, П, З
Luscinia luscinia			__e	S	LC		II		II			Г, П
L. megarhynchos			__e	(S)	LC		II		II			Г, П
Ficedula parva			__	(S)	LC	I	II	✓	II			Г, П
F. hypoleuca			__e	S	LC		II		II			Г, П
F. albicollis			__e	S	LC	I	II	✓	II			Г, П
Phoenicurus ochruros			__	S	LC		II		II			Г, П
Ph. phoenicurus			2	(H)	LC		II		II			Г, П
Saxicola rubetra			__e	(S)	LC		II		II			За
S. torquatus			__	(S)	LC		II		II			За

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Oenanthe oenanthe			3	(D)	LC		II		II			Г, П
Regulus regulus			__e	S	LC		II					О
R. ignicapilla	НО	Н	__e	(S)			II					О
Bombycilla garrulus					LC		II					З
Prunella modularis			__e	S	LC		II					Г, П
Passer domesticus			3	D	LC							О
P. montanus			3	(D)	LC		III					О
Anthus trivialis			__	S	LC		II					Г, П
A. pratensis			__e	(S)	NT		II					За
Motacilla flava			__	(S)	LC		II					За
M. citreola			__	(S)	LC		II					За
M. alba			__	S	LC		II					Г, П
Fringilla coelebs			__e	S	LC		III					Г, П, З
F. montifringilla					LC		III					З
Coccothr. coccothraustes			__	S	LC		II					О
Carpodacus erythrinus			__	(S)	LC		II					За
Pyrhula pyrhula			__	(S)	LC		III					З
Chloris chloris			__e	S	LC		II					О
Linaria cannabina			2	D	LC		III					О
Acanthis flammea					LC		II					З
Loxia curvirostra			__	(S)	LC		II					З
Carduelis carduelis			__	S	LC		II					О
Serinus serinus			__e	S	LC		II					Г, П
Spinus spinus			__e	S	LC		II					З
Emberiza calandra			2	(D)	LC		III					За
E. citrinella			__e	(S)	LC		II					О
E. schoeniclus			__	S	LC		II					О

Примітки. **Львів. обл.** – Список регіонально рідкісних видів тварин, що не занесені до Червоної книги України і потребують охорони в межах Львівської області із зазначенням категорій (В – вразливий, Р – рідкісний, З – зникаючий, Н – статус невідомий); **ЧКУ-ІІІ** – Червона книга України, 3-є видання із зазначенням категорій (ЗК – зникаючий, ВР – вразливий, РД – рідкісний, НО – неоцінений, НВ – недостатньо відомий; **SPEC** – європейський охоронний статус видів птахів з зазначенням категорій («1» – знаходиться під загрозою глобального зникнення, «2» – несприятливий охоронний статус, сконцентрований в Європі, «3» – несприятливий охоронний статус, не сконцентрований в Європі, «__e» – сприятливий охоронний статус, сконцентрований в Європі, «__» – сприятливий охоронний статус, не сконцентрований в Європі, «W» – категорія стосується зимової популяції; **ETS** – європейський список видів птахів із зазначенням категорії загрози для виду («EN» – вид перебуває у небезпечному стані, «VU» – вразливий вид, «D» – чисельність виду знижується, «R» – рідкісний, «H» – виснажений вид, «S» – вид перебуває у безпеці); якщо категорія взята у дужки ( ), то статус виду тимчасовий і може бути переглянутим; **IUCN** – Червона книга Міжнародного союзу охорони природи із зазначенням категорій (VU – вразливий, EN – вид перебуває у небезпечному стані; NT – близький до стану зникнення, LC – відносно сприятливий); **Birds directive** – Директива Ради Європейського Союзу щодо охорони диких птахів із зазначенням додатку, до якого потрапляє вид (I, II, III – номери додатків); **Bern convention** – Бернська конвенція про охорону дикої флори та фауни і природних середовищ існування в Європі із зазначенням додатку, до якого потрапляє вид («II» – додаток II, перелік видів фауни що підлягають особливій охороні, «III» – додаток III, перелік видів фауни, що підлягають охороні); **Emerald Network** – Смарагдова мережа – дочірня рекомендація Бернської конвенції із вихідною Резолюцією №6; **Bonn Convention** – Боннська конвенція про збереження мігруючих видів тварин із зазначенням додатку до якого потрапляє вид; **AEWA** – угода про збереження афро-євразійських водно-болотяних птахів, дочірня угода Боннської конвенції; **CITES** – Вашингтонська конвенція про міжнародну торгівлю видами дикої фауни і флори, що перебувають під загрозою зникнення із зазначенням додатку, до якого потрапляє вид; **Статус перебування видів**: О – осілий, Г – гніздовий, Л – літуючий, З – зимуючий, [З] – спорадично зимуючий, П – перелітний, Тр – транзитно пролітний, За – залітний.

Для з'ясування природоохоронного значення території РЛП «Стільське Горбогір'я» здійснено аналіз включення видів з наведеного вище списку до різних природоохоронних законодавчих актів на державному, регіональному та міжнародному рівнях. На державному та регіональному рівнях брали до уваги Червону книгу України (Red Book ..., 2009) та затверджений Львівською обласною радою народних депутатів № 342 від 13.06.2007 р «Список рідкісних і зникаючих видів тварин, що підлягають особливій охороні на території Львівської області» (Bashta et al., 2013). На міжнародному рівні аналізували червоний список Міжнародного союзу охорони природи; Європейський список видів, охоронний статус яких викликає найбільше занепокоєння; європейський список птахів, які знаходяться під загрозою знищення; списки Директиви ЄС щодо охорони птахів; додатки до Бернської, Боннської й Вашингтонської конвенцій та їхніх дочірніх угод, а також спеціальні програми для збереження окремих видів, що існують в Європі (Tucker & Heath, 1994; Convention on the Conservation ..., 1998; Convention on the International Trade ..., 1998; Birds of Ukraine ..., 2003; Birds in Europe ..., 2004; Godlevskaya et al., O., ..., 2010; European Red List of Bird, 2015).

Червона книга України й регіональні червоні списки. До третього видання Червоної книги України (2009) внесено 22 види птахів, виявлених у межах РЛП, що становить 12% від усієї його орнітофауни. З них до «зникаючих» належать два види: лунь степовий і кульон великий, до «вразливих» – шість видів: шуліка чорний, лунь лучний, беркут, орябок, голуб-синяк, жовна зелена; до «рідкісних» – 12 видів: лелека чорний, нерозень, лунь польовий, орел-карлик, підорлики великий та малий, орлан-білохвіст, журавель сірий, пугач, сова болотяна, дятел білоспинний, сорокопуд сірий. До «недостатньо відомих» належать сова довгохвоста і золотомушка червоночуба (рис. 1).

Рис. 1. Лелека чорний *Ciconia nigra*
(Фото проекту «Ciconia Ukraina»)

Оскільки територія регіонально-ландшафтного парку «Стільське Горбогір'я» повністю знаходиться в адміністративних межах Львівської області, доцільно брати до уваги список тварин, охорона яких є обов'язковою на всій території області. Цей перелік затверджений рішенням Львівської обласної ради народних депутатів № 342 від 13.06.2007 р. «Про заходи щодо охорони рідкісних і зникаючих видів тварин, що підлягають особливій охороні на території Львівської області».

Згідно з цим списком, з фауни «Стільського Горбогір'я» особливій охороні підлягає 32 види птахів, що становить 18% від орнітофауни РЛП.

Міжнародні Червоні книги та списки. До Червоної книги Міжнародного союзу охорони природи (МСОП) належать п'ять видів з фауни «Стільського Горбогір'я»: луні степовий і польовий в категорії NT, тобто їхні популяції близькі до зникнення; підорлик великий до категорії EN – вид у небезпеці; кульон великий і сорокопуд сірий віднесені до VU – вразливі.

До Європейського червоного списку включено вісім видів фауни «Стільського Горбогір'я»: підорлик великий та балабан мають дуже високий ризик зникнення у дикий природі; гагара чорношия, шуліка чорний, куріпка сіра, кібчик, чайка та грицик великий мають високий ризик зникнення у дикій природі.

Базовим документом, на підставі якого розробляються природоохоронні міжнародні програми щодо птахів Європи, є Європейський список птахів зі статусами загрози – European Threat Status (ETS). У списку ETS той чи інший ступінь загрози (від «критично загрозливого» до «безпечного») наданий кожному європейському виду. Види, що мають статус «загрозливий» і вище, автоматично потрапляють до Європейського червоного списку. «Безпечний» статус у «Стільському Горбогір'ї» мають 110 видів (59%), причому для 42-х видів такий статус є тимчасовим і може бути переглянутий будь-коли. 11 видів (6%) належать до «виснажених», чисельності їхніх популяцій зазнали значних скорочень впродовж 1970-1990 рр. і досі не відновилися. До «рідкісних» належать чотири види (2%), європейська гніздова популяція яких не перевищує 10 тис. гніздових пар; 24 види (13%) знизили чисельність у межах Європи на понад 10% – впродовж 10 років.

Окрім списку ETS, в Європі існує Список європейських видів птахів із зазначенням їхнього природоохоронного статусу (Species of European Conservation Concern – SPEC). За цим списком визначаються види, на які природоохоронні дії повинні бути скеровані насамперед. Сприятливий європейський охоронний статус у «Стільському Горбогір'ї» мають 109 видів. Несприятливий охоронний статус у Європі (SPEC 3) мають 42 види (23%), але існування їхніх основних популяцій не пов'язане з Європою. Несприятливий охоронний статус у Європі (SPEC 2) отримали 16 видів (9%), основна частина світової популяції яких знаходиться в Європі. До найвищої категорії, SPEC 1 за-

несені два види, які знаходяться під загрозою глобального зникнення в Європі – орлан-білохвіст і деркач (рис. 2).

Рис. 2. Орлан-білохвіст *Haliaeetus albicilla* (Фото А. А. Бокотея)

Важливим кроком України до покращення стану охорони природи є підписання та ратифікація низки міжнародних конвенцій і угод, присвячених охороні біологічного різноманіття та збереженню середовищ існування видів – Бернська, Боннська, Вашингтонська та інші.

Бернська конвенція про охорону дикої флори і фауни підписана Україною в 1996 р. і ратифікована в 1999 році. З фауни «Стільського Горбогір'я» під дію Бернської конвенції підпадають 176 види птахів (це 95% від усієї орнітофауни РЛП). З них 109 видів занесені до II додатку (потребують особливої охорони), і 68 видів занесені до III додатку (потребують охорони). При чому, ще 10 років тому до II додатку були занесені лише три види. Окрім спеціальних планів дій зі збереження окремих видів, у Бернській конвенції існує дочірня угода Emerald Network або Смарагдова мережа. Види, що потрапили під дію цієї угоди, потребують особливих заходів охорони щодо середовища їхнього існування. Ця угода діє за принципами мережі Natura 2000 і має на меті залучити країни, які не є членами Європейського союзу, до європейських засад охорони середовища. У «Стільському Горбогір'ї» під дію цієї угоди підпадають 48 (26%) видів птахів.

Боннська конвенція – конвенція про збереження мігруючих видів тварин, підписана і ратифікована Україною в 1999 році. У «Стільському Горбогір'ї» 83 (45%) види птахів підлягають дії цієї конвенції: п'ять видів – орлан-білохвіст, підорлик великий, кібчик, погонич малий, крячок чорний включені до I додатку, тобто знаходяться під загрозою зникнення; 81 (44%) вид включені до II додатку (мігруючі види, які мають несприятливий статус і для збереження яких необхідна міжнародна співпраця). Як і Бернська конвенція, Боннська має дочірні угоди. З метою збереження афро-євразійських мігруючих водно-болотних птахів підписана угода AEWA, яка ратифікована Україною. Види, які потрапили під її дію, вимагають скоординованих міжнародних заходів з відновлення їхнього сприятливого охоронного статусу чи підтримання такого статусу. У «Стільському Горбогір'ї» налічується 30 (16%) таких видів.

Вашингтонська конвенція – про міжнародну торгівлю видами дикої фауни та флори, які знаходяться під загрозою зникнення (CITES) підписана і ратифікована Україною в 1999 році. З фауни птахів «Стільського Горбогір'я» до I додатку потрапляють лише орлан-білохвіст і сапсан. До II додатку – 27 (15%) видів.

Враховуючи географічне розташування України, на нашу думку, доцільно також звернути увагу на природоохоронні директиви Європейського союзу. Вони не є угодами у прямому розумінні, проте кожна директива затверджується Європарламентом і є документом, впровадження якого є обов'язковим для кожної з країн ЄС.

Директива ради Європейського союзу про охорону диких птахів та середовищ їхнього існування (79/409/EEC, «Birds Directive») має три додатки. Види, що входять до додатку I, потребують спеціальних охоронних заходів щодо біотопів їхнього існування. Країни, що підписали директиву, зобов'язані створювати спеціальні охоронні території (Special Protection Areas, SPAs) для птахів. Додаток II регулює правила полювання на внесені до нього види на території країн Євросоюзу. Додаток III регулює торгову діяльність стосовно видів, внесених до нього на території країн членів Євросоюзу. Загалом, зі списку цієї директиви у фауні «Стільського Горбогір'я» є 92 (49%) види. До додатку I належать 45 (24%), додатку II – 43 (23%) та додатку III – 13 (7%) видів птахів.

Висновки. Встановлено, що видовий склад орнітофауни РЛП «Стільське Горбогір'я» налічує 186 видів, з яких 91 вид є гніздовим. Порівняння видового складу птахів РЛП «Стільське Горбогір'я» з існуючим регіональним показало, що в досліджуваному регіоні знаходиться 73,7% від гніздової орнітофауни Львівської області, 71,8% – від гніздової орнітофауни басейну верхнього Дністра та 51,5% – від гніздової орнітофауни західного регіону України. Високий ступінь подібності підтверджений коефіцієнтами подібності Жаккара (64,40%, 63,40% і 45,22%) та Сьоренсена (78,34%, 77,60% і 62,28%) відповідно.

Незважаючи на високе видове різноманіття птахів РЛП «Стільське Горбогір'я», природоохоронні заходи, які проводяться у регіоні, є недостатніми і часто не зовсім адекватними. Про це свідчить подвоєння кількості видів з цього регіону в останньому виданні Червоної Книги України. Необхідно звернути увагу на те, що внесені до останнього видання ЧКУ види – це птахи, пов'язані з водно-болотними біотопами, особливо заплавними, зі старими лісами, а також денні і нічні хижі птахи.

Якщо терміново не вжити заходів щодо охорони вище зазначених видів птахів, то з території «Стіль-

ського Горбогір'я», як гніздові види, можуть зникнути шуліка чорний, лунь лучний, підорлик малий, пугач та болотяна сова. Групу ризику становлять і всі інші види, пов'язані з заплавними біотопами та старовіковими лісами.

References

Andreychuk, Yu., Bokotey, A., Vovk O., Voloshyn, P., Hnatyuk, R., Hrytsyk, I., … Chornobay, Yu. (2010). *Geoecologic modelling of the condition of nature and historic monuments* Lviv: Ivan Franko LNU Publishing Centre (in Ukrainian).

Bashta, A.T.-V., Kanarskyi, Yu V., Andrianov, O.V., Bokotey, A.A., Heriak, Yu.M., Horban, I.M., ... Cheremnykh, N.M. (2013). *Rare and threatened animal species of the Lviv region (Ukraine)*. Lviv: Liga-Press (in Ukrainian).

Birds in Europe: population estimates, trends and conservation status. (2004). Cambrige, UK: BirdLife International.

Birds of Ukraine protected by the Bern Convention (2003). Kyiv: Ukrainian Fitosociological Centre (in Ukrainian).

Bokotey, A.A., & Sokolov, N. Yu. (2000). *Catalogue of ornithological collection of State Museum of Natural History*. Lviv (in Ukrainian).

Bokotey, A.A., Dzyubenko, N.V, Gorban, I.M., Kuchynska, I.V., Bashta, A.-T.V., Pohranychnyi, V.O., Buchko, V.V., & Senyk, M.O. (2010). *Breeding avifauna of the Upper Dniester basin*. Lviv: Kolir pro service (in Ukrainian).

Brusak, V., & Krychevska, D. (2019). The network and the structure of complex, geological and hydrological monuments of non-living nature of Lviv oblast, Ukraine. *Problems of geomorphology and paleogeography of the Ukranian Carpatians and adjacent areas*, *2* (10), 3-17. https://doi.org/10.30970/gpc.2019.2.3060 (in Ukrainian).

Convention on the International Trade in endangered species of Wild Fauna and Flora (Washington, 1973) (1998). Kyiv: Khimjest (in Ukrainian).

Convention on the Conservation of European Wildlife and Natural Habitats (Bern, 1979) (1998). Kyiv: Khimjest (in Ukrainian).

Didukh, Ya.P., Vakarenko, L.P., & Vynokurov, D.S. (2016). Evaluation of Ukraine network of natural reserve objects representativeness (botanical aspect). *Ukrainian geographical gournal, 2*, 13-19. https://doi.org/10.15407/ugz2016.02.013 (in Ukrainian).

Dubovyk, O., Skyrpan, M., & Zahorodnyi, I. (2019). Regional landscape park «Stilske Horbohirya» – important territory for breeding, wintering and migration of the rare bird species. *Materials to 4 edition of the Red Book of Ukraine. Animals. Series: «Conservation Biology in Ukraine», 7* (3), 127-130 (in Ukrainian).

Dzieduszycki, W. (1880). *Muzeum imienia Dzieduszyckich we Lwowie. Ptaki*. Lwów: Drukarnia Muzeum imienia Dzieduszyckich (in Polish).

European Red List of Bird (2015). Luxembourg, EU: BirdLife International.

Fesenko, H.V., & Bokotey, A.A. (2002). *Birds of Ukraine.* Kyiv: New print (in Ukrainian).

Fesenko, H.V., & Bokotey, A.A. (2007). *The Annotated list of the Ukrainian Scientific Names of the Bird Species Belonging to the Fauna of Ukraine (with Characteristics of Status of the Species)*. Kyiv-Lviv: Romus-Poligraf (in Ukrainian).

Godlevskaya, O., Parnikoza, I., Rizun, V., Fesenko, H., Kutsokon, Yu., Zagrodniuk, I., Shevchenko, M., & Inozemtseva, D. (2010). *Fauna of Ukraine: conservation categories.* Kyiv: Fitosociocentr (in Ukrainian).

HBW and BirdLife International (2019). Handbook of the Birds of the World and BirdLife International digital checklist of the birds of the world. Version 4. Available at http://datazone.birdlife.org/userfiles/file/Species/Taxonomy/HBW-BirdLife_Checklist_v4_Dec19.zip [.xls zipped 1 MB].

Horyn, I. (2018). Tourist-recreational resources of Lviv region: structure, estimation of potential and character of modern using. *Proceedings of the Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University*. Geographical Series, *2* (45), 129-146. Available at http://dspace.tnpu.edu.ua/handle/123456789/12532 (in Ukrainian).

Ivanov, Ye, Andreychuk, Yu, Voloshyn, P., Hnatyuk, R., & Kovalchuk, I. (2017). The natural conditions analysis of complex monument of nature, history and culture «Stilske». *Stilskyi hrad, 1,* 56-65 (in Ukrainian).

Jarvinen, O., & Vaisanen, R.A. (1977). Line transect method: a standard for field-work. *Polish Ecological Studies, 3* (4), 11-15.

Kovalchuk, A., & Man'ko, A. (2018). Paganism in Ukraine as a potential for the development of religious tourism. *Bulletin of the Lviv University. Series Geography, 52,* 132-142. Available at http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10179 (in Ukrainian).

Poznyak, S., Papish, I., Ivaniuk, H., & Yamelynets, T. (2018). Soil-geographical zonation of Lviv oblast: structure and principles. *Bulletin of the Lviv University. Series Geography., 52,* 251-265. Available at http://dx.doi.org/10.30970/vgg.2018.52.10191 (in Ukrainian).

Red Book of Ukraine. Animals (2009). Kyiv: Globalkonsulting (in Ukrainian).

Tatarynov, K.A. (2001). Faunistical diversity of the Lviv region. *Proceedings of the Taras Shevchenko Scientific Society. Ecological series, 7,* 159-169 (in Ukrainian).

Tucker, G.M., & Heath, M.F. (1994). *Birds in Europe: their conservation status* Cambridge: Cambridge University Press.

Репрезентативность и охрана орнитофауны регионального ландшафтного парка «Стильское Горбогорье»

А. А. Бокотей[1], Н. В. Дзюбенко[2], А. А. Дубовик[3]

На основании анализа литературных источников, музейных коллекций и собственных исследований, проведенных в 2010-2019 гг. на территории современного регионального ландшафтного парка «Стильское Горбогорье», расположенного в пределах Бибрско-Стильской возвышенности Львовского Ополья и северо-восточной окраины Подольской возвышенности. Парк создан 1.04.2014 г. на площади 8910 га.

В работе впервые приводится список птиц исследованной территории. Лишь отдельные данные по определенным видам можно найти в коллекции Государственного природоведческого музея НАН Украины и немногочисленных научных публикациях.

В течение 2010-2019 гг. авторами проведены маршрутные учеты птиц на территории РЛП и установлено пребывания 186 видов птиц, относящихся к 18 отрядам, 47 семействам. Особенностью орнитофауны региона является количественное преобладание лесных видов (101 вид – 54%) над видами открытых ландшафтов (85 видов – 46%), что обусловлено значительной лесистостью территории РЛП. Доминируют гнездящиеся – 123 (66% от общего количества орнитофауны РЛП) над не гнездящимися – 63 (34%) видами. Учтено 75 гнездящихся перелетных (40%), оседлых – 48 (26%), 18 (10%) – пролетных, 34 (18%) – залетных и 17 (9%) – зимующих видов.

Для выяснения природоохранного значения территории РЛП «Стильское Горбогорье» проанализировано включение обнаруженных видов в различные программы охраны природы на государственном, региональном и международном уровнях: Красную книгу Украины (2009); «Список редких и исчезающих видов животных, подлежащих особой охране на территории Львовской области»; список Международного союза охраны природы; Европейский список видов, охранный статус которых вызывает наибольшее беспокойство; европейский список птиц, находящихся под угрозой уничтожения; списки Директивы ЕС по охране птиц; приложения к Бернской, Боннской и Вашингтонской конвенциям и их дочерних соглашений, а также специальные программы для сохранения отдельных видов, существующих в Европе.

Высокая степень репрезентативности орнитофауны исследуемой территории не подкреплен необходимыми природоохранными мероприятиями, в частности, созданием охранных зон вокруг гнезд редких видов птиц. Об этом свидетельствует удвоение числа видов, выявленных в регионе в последнем издании Красной книги Украины (ККУ), большинство из которых являются представителями пойменных водно-болотных биотопов и старовозрастных лесов.

Если не принимать меры по охране птиц на территории «Стильского Горбогорья», то как гнездовые виды, могут исчезнуть чёрный коршун, луговой лунь, малый подорлик, филин и болотная сова. Группу риска составляют и все виды, связанные с пойменными биотопами и старовозрастными лесами.

О недостатках природоохранной политики свидетельствует и тот факт, что отдельные виды, которые в Европе имеют безопасный статус, в Украине находятся на грани исчезновения. Среди них, занесенные в ККУ луговой лунь, клинтух, длиннохвостая неясыть, белоспинный дятел.

Ключевые слова: птицы; редкие виды; Бибрско-Стильская возвышенность; охрана; международные природоохранные акты.

[1] *Бокотей Андрей Андреевич* – кандидат биологических наук, старший научный сотрудник, докторант. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057. Старший научный сотрудник Государственного природоведческого музея НАН Украины, ул. Театральная, 18, г. Львов, 79008, Украина. Тел.: +38-067-712-57-41. E-mail: bokotey.a@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4626-9585

[2] *Дзюбенко Наталия Вячеславовна* – кандидат биологических наук, заведующая отделом прикладной музеологии. Государственный природоведческий музей НАН Украины, ул. Театральная, 18, г. Львов, 79008, Украина. Тел.: +38-067-660-35-40; E-mail: ndzyubenko@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8464-795X

[3] *Дубовик Алексей Андреевич* – студент Львовского национального университета им. Ивана Франко, ул. Грушевского, 4, Львов, 79005, инженер по эколого-просветительской работе Природного заповедника «Расточье», ул. Сичевых Стрельцов, 7, пгт Ивано-Франково, Яворовский р-н Львовской обл., 81070, Украина. Тел.: +38-063-587-55-09; E-mail: oadubovyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2936-6383

Representativeness and conservation of bird fauna in the Regional Landscape Park «Stilske Gorbogiria»

A. Bokotey[1], N. Dziubenko[2], O. Dubovyk[3]

The analysis conducted on the basis of a literature review, museum collections and our own surveys in 2010-2019 on the territory of the current Regional Landscape Park «Stilske Gorbogiria», which is located on the north-east margin of the Bibrsko-Stilsk highland area of Lviv Opilia. The park was established in 2014 with an area of 8909.9 ha.

In the paper, we present for the first time the list of birds of the studied territory, because in the past this territory wasn't studied. Only some fragmented information can be found in the collections of State Museum of Natural History of the National Academy of Sciences of Ukraine and in the few publications.

In 2010-2019 the authors conducted line transect bird counts on the territory of the Regional Landscape Park and identified 186 species of birds, that belong to 18 systematic orders and 47 families. The peculiarity of the bird fauna in the region is in the numeric domination of forest species (101 species — 54%) over species of open landscapes (85 species – 46%), what is caused by a high proportion of forests in the park. We found noticeable dominance of breeding species – 123 (66% of total number of species in modern bird fauna of the park) over non-breeding – 63 (34%). 48 (26%) species are sedentary, 18 (10%) – transit, 75 (40%) – migratory, 34 (18%) vagrants and 17 (9%) are wintering.

To estimate the conservation value of the territory of Regional Landscape Park «Stilske Gorbogiria» we analysed the presence of different bird species in various protection lists on national, regional and international levels: the Red Book of Ukraine (2009), the «List of rare and endangered species of animals subject to special protection in the Lviv region» approved by the Lviv Regional Administration were taken into account, the list of International Union for the Conservation of Nature, the European List of Species of Conservation Concern, the European List of Endangered Birds, lists of the EU Birds Directive, annexes to the Bern, Bonn and Washington agreements, as well as special programs for the conservation of certain species existing in Europe.

Despite the high bird species diversity in the Bibyrsko-Stilske Gorbogiria, nature conservation activities in the region are considered insufficient and often not entirely adequate. This is evidenced by the doubling of the number of species found in this region, in the latest edition of the Red Book of Ukraine, most of which are representatives of floodplain wetlands and old growth forests, as well as day and night raptors.

If protection measures will not be undertaken on the territory of the Bibyrsko-Stilske Gorbogiria, following nesting species may disappear: Black Kite, Montagu's Harrier, Lesser Spotted Eagle, Eagle Owl, and Short-eared Owl. All species associated with floodplain biotopes and old forests are also at risk.

The disadvantages of environmental policy are proved by the fact that certain species that have a safe status in Europe are in the extinction state in Ukraine. For example, listed in the third edition of the Red Book Montagu's Harrier, Wood Pigeon, Ural Owl, and White-backed Woodpecker.

Key words: birds; rare species; Bibyrsko-Stilske highland; protection; protection lists of international level.

[1] *Andriy Bokotey* – PhD in Biological Sciences, senior researcher, doctorant. Ukrainian National Forestry University. General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057. Senior researcher State Museum of Natural History NAS of Ukraine, Teatralna st., 18, Lviv, 79008, Ukraine. Tel .:+38-067-712-57-41. E-mail: bokotey.a@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4626-9585

[2] *Natalia Dzyubenko* – PhD in Biological Sciences, Supervisor of Applied Museology department. State Museum of Natural History NAS of Ukraine, Teatralna st., 18, Lviv, 79008, Ukraine. Tel.: +38-067-660-35-40; E-mail: ndzyubenko@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8464-795X

[3] *Oleksiy Dubovyk* – Master student Ivan Franko National University of Lviv, Hrushevskyy st., 4, Lviv, 79005. Environmental engineer, «Roztochya» Nature Reserve, 7 Sichovykh Striltsiv st., Ivano-Frankove, Yavorivskiy district of Lviv region, 81070, Ukraine. Tel.: +38-063-587-55-09. E-mail: oadubovyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2936-6383

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412005
Article received 2019.11.25
Article accepted 2020.06.04

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*561.24 : 581.5*

Вплив метеорологічних чинників на радіальний приріст дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудів Полісся України

І. Д. Іванюк[1], Я. Д. Фучило[2]

Встановлено оптимальні параметри метеорологічних чинників, які забезпечують максимальний приріст штучних насаджень дуба звичайного за діаметром в умовах свіжих і вологих сугрудів Центрального Полісся України.

Аналіз залежностей між метеорологічними чинниками і радіальним приростом дерев дуба за період 1946-2018 рр. показав, що незначний позитивний вплив на радіальний приріст виявляють річна сума опадів (r= 0,16), сума опадів за вегетаційний період (r = 0,22) та опади осінніх і зимових місяців попереднього року (r = 0,14). Встановлено, що роки найбільш високих і низьких величин радіального приросту слабо відрізняються за середньомісячними температурами повітря. У той же час встановлено наявність тісного зв'язку індексу ширини річного кільця з показниками гідротермічного коефіцієнта – відношення суми опадів (P) за вегетаційний період до десятої частини суми температур (t) вище 10°C (ГТК = P / 0,1∑ $t_{\geq 10^{\circ}C}$). У понад 90% дерев дуба звичайного підвищені прирости з індексом > 80 формуються в роки з ГТК від 1,4 до 1,8. За межами цього інтервалу знаходиться зона пригнічення росту дерев зі зниженими індексами радіального приросту.

На основі математичного моделювання залежності між індексом радіального приросту і гідротермічним коефіцієнтом встановлено, що оптимальними для росту деревостанів дуба звичайного є показники ГТК для свіжих і вологих сугрудів, відповідно, 1,65 та 1,62. При цьому, індекс радіального приросту значно більший у свіжому сугруді (125,7 проти 114,8 у вологих умовах), що вказує на більшу чутливість дерев дуба звичайного у свіжому сугруді до зміни погодних умов.

Виявлені кореляційні зв'язки параметрів радіального приросту з кліматичними показниками у наступних дослідженнях можуть бути використані для побудови реконструкцій клімату та прогнозу продуктивності дубових деревостанів у майбутньому.

Ключові слова: *Quercus robur* L.*; деревостани старших вікових груп; кількість опадів; сума температур повітря; гідротермічний коефіцієнт; річний приріст за діаметром; індекс радіального приросту дерев.*

Вступ. Дерева, як своєрідна життєва форма, мають здатність до внутрішньої компенсації і стабілізації своїх ростових і морфологічних реакцій на дію зовнішніх чинників. При цьому об'єктивним індикатором змін, які відбуваються у природному середовищі, біологічним маркером кліматичного, лісівничого та інших впливів на ріст деревного виду є річний радіальний приріст, його кількіс-

[1] *Іванюк Ігор Дмитрович* – кандидат сільськогосподарських наук, доцент, директор Малинського лісотехнічного коледжу, представник Колективного члена ЛАН України. 11643, с. Гамарня Малинського району Житомирської області, 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

ні та якісні характеристики. Динаміка радіального приросту дерев відображає не тільки багаторічну мінливість, в якій фіксуються результати внутрішньовидової конкуренції між деревами, але й інші складні процеси, що відбуваються у природних угрупованнях, включаючи антропогенний чинник (Debryniuk, Krynitskyy, & Tselen, 2016; Fuchylo, 2011; Kobal et al., 2015; Sopushynskyy, Kharyton, Teischinger, Mayevskyy, & Hrynyk, 2019; Szaban, Kowalkowski, Karaszewski, & Jakubowski, 2014; Wasik, Michalec, & Barszcz, 2015). Тому, з погляду причинного аналізу деревостанів, які є головним продуцентом екосистеми, важливо вивчати радіальний приріст не тільки як показник біотичної продуктивності цих систем, але й як фактичну основу для оцінки багаторічної мінливості чинників, що визначають стійкість деревостану до стресових ситуацій, зокрема, з'ясування причин індивідуальної та групової мінливості під впливом метеорологічних чинників (Maksymchuk, Sopushynskyy, & Tymochko, 2017).

Основними чинниками мінливості радіального приросту є температура повітря та сума опадів, про що свідчать численні публікації (Bitvinskas, 1987, 1998; Ivanyuk, Zborovska, & Zhukovskyi, 2019; Kairukshtis, Galaziy, & Shiyatov, 1986; Kazmierczak, Zawieja, 2014; Maksymchuk et al., 2018; Osazuwa-Peters, Wright, & Zanne, 2014; Sopushynskyy, 2016; Zhang, Jiang, Zhao, Jiao, & Wen, 2018).

Деревні породи володіють певною стабільністю приросту, у зв'язку з чим незначний вплив будь-якого чинника достатньою мірою може не проявлятися і під час виконання досліджень зазвичай не фіксується. Це істотно ускладнює аналіз залежностей між приростом і мінливістю погодних умов.

Вплив температури на величину щорічного радіального приросту простежено дендрокліматологами Норвегії (Kairukshtis et al., 1986). Встановлено, що роки найбільш високих і низьких величин радіального приросту мало відрізняються за температурним режимом, зокрема – за середньомісячними температурами. Цей висновок узгоджується з даними Bitvinskas (1987, 1998), який не виявив кореляційного зв'язку між приростом і середніми температурами за червень–серпень.

Важливим показником, який, крім температурного режиму, враховує також вологозабезпечення території, є гідротермічний коефіцієнт (*ГТК*) – відношення суми опадів (*P*) за вегетаційний період до десятої частини суми температур (*t*) вище 10°C ($ГТК = P / 0,1\sum t_{\geq 10°C}$). Цей показник використовують як комплексну характеристику кліматичних умов в екології загалом і дендрохронології – зокрема (Agricultural Encyclopedic Dictionary, 1989).

Зважаючи на важливе господарське, екологічне та соціальне значення насаджень за участю дуба звичайного, *особливої актуальності* набувають дослідження їхнього стану, росту, розвитку та біотичної стійкості в різних ґрунтово-кліматичних умовах, зокрема – у регіоні Полісся в період суттєвих кліматичних змін.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єктом досліджень* слугували середньовікові, пристигаючі і стиглі штучні насадження дуба звичайного Центрального Полісся України. *Предмет дослідження* – особливості росту штучних деревостанів дуба звичайного за діаметром в умовах свіжих і вологих сугрудів. *Метою досліджень* було встановити оптимальні параметри метеорологічних чинників, які забезпечують максимальний приріст дерев дуба звичайного за діаметром в умовах свіжих і вологих сугрудів досліджуваного регіону.

Метеорологічні умови регіону досліджень охарактеризовані за даними метеостанції м. Коростень, яка найближче розташована до закладених тимчасових пробних площ і має довгострокову базу системних спостережень (рис. 1, 2).

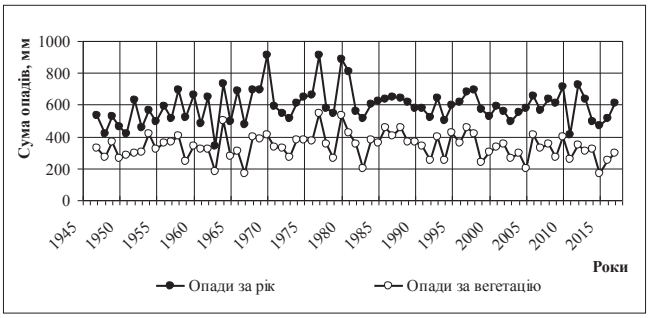


Рис. 1. Динаміка суми опадів у 1946-2018 рр.

За аналізом даних метеостанції м. Коростень, незважаючи на те, що в окремі роки спостерігаються різкі екстремуми температур і опадів, загалом встановлено тенденцію до зростання середньої температури повітря за рік та зменшення кількості опадів. При цьому, якщо кількість річних опадів наближається до кліматичної норми, то температура повітря в останні десятиріччя її перевищує.

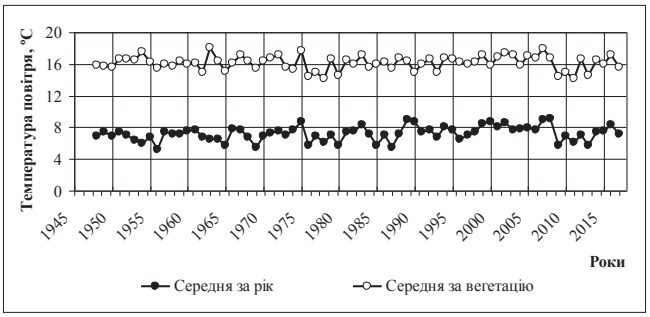


Рис. 2. Динаміка середньої температури повітря у 1946-2018 рр.

Для оцінки річного приросту було закладено низку тимчасових пробних площ у насадженнях дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудів.

На тимчасових пробних площах підбирали модельні дерева (10-25 для пробної площі) шляхом випадкового розподілу майданчиків площею 200-250 м^2. Вимірювання ширини річних кілець здійснювали за допомогою інструмента Corim Maxi з точністю до 0,01 мм. Всього було оброблено 288 кернів, в яких виміряно 29684 радіальних

приростів. На їх основі побудовано графік динаміки радіального приросту дубових деревостанів Центрального Полісся України за останні 70 років (рис. 3). За отриманими результатами, лінія тренду радіального приросту описується складним параболічним рівнянням третього порядку з дуже високою тіснотою зв'язку (r = 0,91). На початкових етапах росту (до 20 років) приріст характеризувався максимальними значеннями (до 4,0 мм), що можна пояснити біологічними особливостями дуба звичайного, а також впливом кліматичних умов. Упродовж 1958-2003 рр. спостережено поступовий спад радіального приросту, після чого крива приростів до часу закінчення досліджень загалом стабілізується.

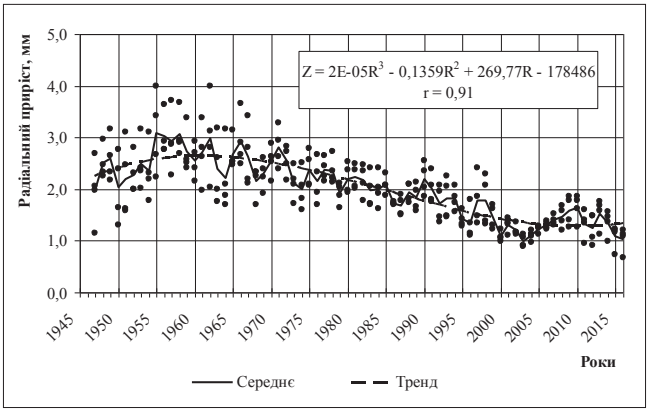


Рис. 3. Динаміка радіального приросту дуба звичайного

Вплив метеорологічних чинників (температури і опадів) на стовбурову продуктивність деревостану у насадженнях дуба звичайного оцінювали за коефіцієнтом кореляції між метеозначеннями і фактичним радіальним приростом.

Після обробки даних методом дисперсійного аналізу обчислено показники сили впливу. Як результативну ознаку використовували відносні індекси приросту для градацій чинників: річна сума опадів, опади за вегетаційний період, сума активних температур.

Аналіз зі встановлення зв'язку між радіальним приростом дуба і окремими метеорологічними чинниками здійснено шляхом зіставлення індексів приросту з відхиленням опадів і температури повітря від середньої багаторічної норми. При цьому обчислювали коефіцієнти кореляції між мінливістю радіального приросту і метеорологічних чинників за тривалі проміжки часу або окремі роки.

Впродовж усього періоду спостережень виявлено стійкі періодичні зміни (флуктуації) абсолютних значень радіальних приростів поблизу середнього (див. рис. 3). Середні значення приросту змінюються в межах вузького діапазону величин (1,0-3,0 мм).

Оскільки приріст є інтегральною характеристикою цілої низки чинників, під час обробки результатів досліджень і побудови порівняльних кривих динаміки радіального приросту за роками, залежно від впливу температури повітря і кількості опадів, застосовано метод індексів радіального поточного приросту, розроблений Rudakov (1958), який відображає радіальний приріст дерев у відносних безрозмірних величинах:

$$I = i / i_{сер.} \cdot 100,$$

де I – індекс річного приросту в долях одиниці; i – ширина річного шару; $i_{сер.}$ – середня ширина річного шару на даному віковому етапі

Для досліджуваних лісорослинних умов графіки індексів радіального приросту дещо подібні, але мають певні відмінності на окремих вікових етапах (рис. 4).

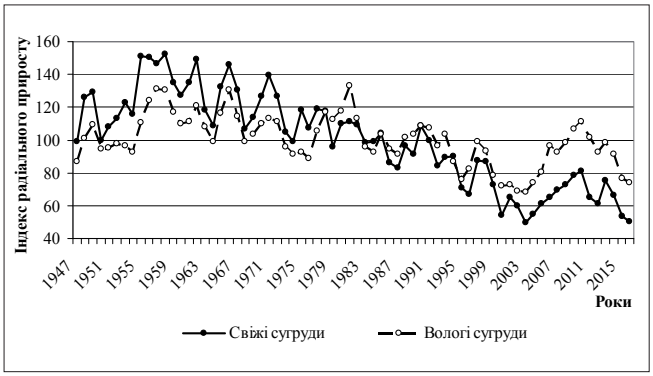


Рис. 4. Коливання індексів радіальних приростів у різних типах лісорослинних умов

Для виявлення загальних закономірностей динаміки радіальних приростів використано прийом обчислень індексів і згладжування цих величин у відношенні до ковзної середньої за 3-5 років. Біологічне обґрунтування та особливості проведення цих визначень викладені у роботах Bitvinskas (1987, 1998) (рис. 5).

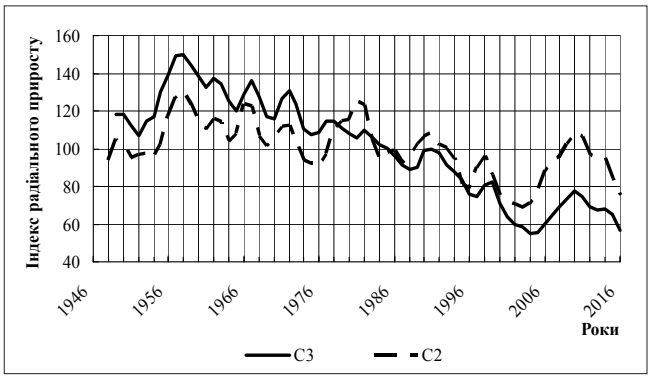


Рис. 5. Згладжені значення коливань індексів радіальних приростів дерев дуба звичайного у різних типах лісорослинних умов

Аналіз показав очевидне загальне зниження величин індексів радіальних приростів впродовж 1956-2002 рр. за збереження тенденції на обох типах з 2-4-річними циклічними коливаннями.

Для аналізу отриманих результатів застосовували методи математичної статистики (Shmidt, 1984) за залучення пакета MS Excel.

Результати та обговорення. Аналіз середніх багаторічних даних суми опадів за рік і вегетаційний період, а також суми активних температур у регіо-

ні досліджень підтвердив, що ці показники загалом близькі до середньої багаторічної норми, характерної для Полісся. Статистична оцінка значень метеорологічних чинників (табл. 1) показала, що вони мають досить значну варіабельність середньої величини (18-26%) за винятком суми активних температур, де коефіцієнт варіації становить лише 6,4%.

Подібні статистичні показники варіабельності величин метеорологічних чинників отримали також інші дослідники (Bitvinskas, 1998; Kairukshtis et al., 1986; Kazmierczak, Zawieja, 2014; Maksymchuk et al., 2018), що вказує на доцільність використання згаданих вище метеорологічних чинників для з'ясування їх зв'язків з радіальним приростом дерев.

Статистична оцінка значень індексів радіального приросту дерев дуба звичайного у свіжих і вологих сугрудах показала, що за практично однакового середнього значення вони відзначаються суттєвими коливаннями за високого коефіцієнта мінливості, відповідно, 28,3 та 15,3% (табл. 2). Це вказує на відчутнішу реакцію дерев дуба звичайного у свіжому сугруді на зміну кліматичних чинників, порівняно з дубовими насадженнями вологого сугруду.

Таблиця 1

Статистичні показники досліджених метеорологічних чинників (1947-2017 рр.)

Показник	Сума опадів, мм		Сума температур $> t_{ак}10°$	ГТК
	щорічна	за V-IX місяці		
Середнє значення	593,4	343,7	2380,3	1,45
Стандартна похибка	13,84	10,05	19,32	0,048
Стандартне відхилення	109,0	79,2	152,13	0,38
Дисперсія	11875,1	6266,6	23143,0	0,14
Мінімум	342	164	2007	0,63
Максимум	912	546	2716	2,55
Коефіцієнт варіації (V), %	18,4	23,0	6,4	25,8
Точність досліду, %	2,3	2,9	0,8	3,3

Примітка: чисельник – ГТК – гідротермічний коефіцієнт.

Таблиця 2

Варіаційно-статистичні показники індексів радіальних приростів дуба звичайного в сугрудах різних гігротопів

Показник	Тип лісорослинних умов	
	C_2	C_3
Середнє значення	100,0	99,9
Стандартна похибка	3,38	1,83
Стандартне відхилення	28,3	15,3
Дисперсія	799,6	234,5
Мінімум	49,6	68,2
Максимум	152,3	133,1
Коефіцієнт варіації (V), %	28,3	15,3
Точність досліду, %	3,3	1,8

За наведеними даними (див. рис. 4, 5) екстремуми (мінімуми і максимуми) індексів радіального приросту дуба звичайного у свіжих і вологих сугрудах в основному співпадають. Найглибші депресії приросту пов'язані з посушливими роками.

Реакція дерев дуба звичайного на зміну умов середовища проявляється по-різному. Після катастрофічних посух 1972 та 2002 рр. приріст дерев дуба знижувався істотніше у свіжих гігротопах сугрудів порівняно з вологими.

Аналіз реакції узагальненого радіального приросту, його індексу на метеорологічні показники (температура повітря, атмосферні опади і похідний від них гідротермічний коефіцієнт зволоження) показав, що незначний позитивний вплив на радіальний приріст дерев дуба має сума опадів за вегетацію, ще менший – за рік. Значення коефіцієнта кореляції склали від 0,16 до 0,22 (при $p < 0,05$).

Опади осінніх і зимових місяців попереднього року також мають невеликий позитивний вплив, як наслідок нагромадження певних запасів вологи у ґрунті до моменту початку камбіальної активності ($r = 0,14$). Достовірного зв'язку індексу радіального приросту з опадами за окремі місяці весняно-літнього періоду на цьому етапі досліджень не виявлено.

Причини низької кореляції приросту з опадами заслуговують детальнішого аналізу і обговорення з урахуванням ефектів післядії і специфічності реакцій дерев на значні відхилення суми опадів від середніх багаторічних значень.

Стосовно впливу температури повітря встановлено, що роки з найбільш високими і низькими значеннями радіального приросту слабо відрізняються за середньомісячними температурами. Цей висновок узгоджується з даними Bitvinskas (1987, 1998), який не виявив корелятивного зв'язку між приростом і середніми температурами за червень–серпень.

У той же час встановлено наявність тісного зв'язку між індексом ширини річного кільця та показниками гідротермічного коефіцієнта. У понад 90% дерев дуба звичайного підвищені прирости з індексом > 80 формуються у зволожені роки з характерним зональним середнім багаторічним ГТК не меншим 1,5. За межами значень ГТК (від 1,4 до 1,8) знаходиться зона пригнічення зі зниженими індексами радіального приросту (рис. 6, 7).

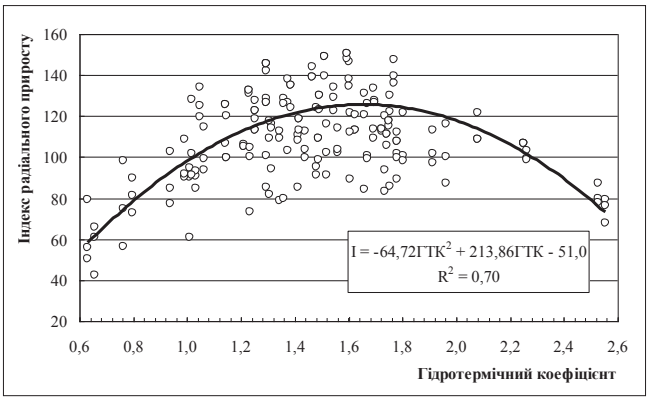


Рис. 6. Залежність індексів радіального приросту дуба від гідротермічного коефіцієнта в умовах свіжого сугруду

Залежність між індексом приросту дуба в умовах свіжого сугруду і гідротермічним коефіцієнтом апроксимується параболічною кривою за значного показника ступеня зв'язку ($r^2 = 0,70$).

Згідно отриманої залежності, оптимум зростання дуба у свіжих сугрудах (максимальне значення індексу радіального приросту I = 125,7) досягається за ГТК = 1,65.

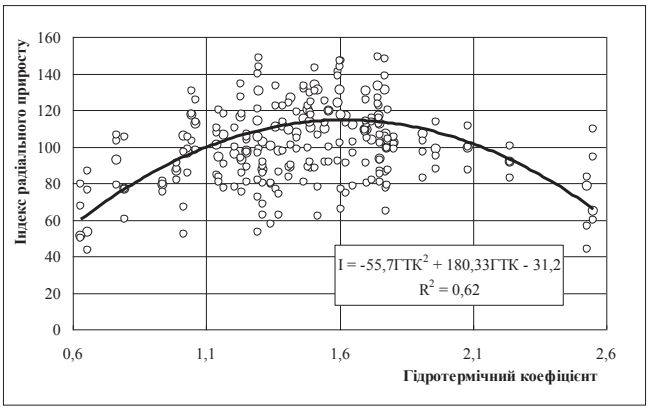


Рис. 7. Залежність індексів радіального приросту дуба від гідротермічного коефіцієнта в умовах вологого сугруду

Залежність індексу радіального приросту дуба від гідротермічного коефіцієнта в умовах вологого сугруду за характером апроксимації подібна до попередньої за значного показника тісноти зв'язку ($r^2 = 0,62$). Ця функція досягає максимального значення (I = 114,8) за ГТК = 1,62.

Отже, оптимальні для росту деревостанів дуба звичайного показники ГТК для свіжих і вологих сугрудів відрізняються несуттєво – на 1,9%. При цьому, індекс радіального приросту значно більший у свіжому сугруді (125,7 проти 114,8 у вологих умовах), що підтверджує висновок про вищу чутливість дерев дуба звичайного у свіжому сугруді до дії метеорологічних чинників.

Висновки. Незначний позитивний вплив на радіальний приріст дерев дуба звичайного виявляють річна сума опадів (r = 0,16), сума опадів за вегетаційний період (r = 0,22) та опади осінніх і зимових місяців попереднього року (r = 0,14). Роки з найбільш високими і низькими величинами радіального приросту слабо відрізняються за показниками середньомісячних температур повітря. Встановлено наявність тісного зв'язку між індексом ширини річного кільця з показниками гідротермічного коефіцієнта. У понад 90% дерев дуба звичайного підвищені прирости з індексом > 80 формуються в роки зі значеннями ГТК від 1,4 до 1,8.

Оптимальні для росту деревостанів дуба звичайного значення ГТК для свіжих і вологих сугрудів становлять, відповідно, 1,65 та 1,62. При цьому індекс радіального приросту значно більший в умовах свіжого сугруду (125,7 проти 114,8 у вологих умовах), що вказує на більшу чутливість дерев дуба у свіжому сугруді до поліпшення погодних умов.

Виявлені кореляційні зв'язки між радіальним приростом і кліматичними показниками в подальшому можуть бути використані для побудови кліматичних реконструкцій та прогнозу продуктивності дубових деревостанів.

References

Agricultural Encyclopedic Dictionar (1989). Moskov: Soviet encyclopedia. Retrieved from https://www.twirpx.com/file/375104/ (in Russian).

Bitvinskas, T. (1987). Formulation of the fundamentals of dendroclimatological research in Lithuanian SSR. Soviet publications in dendrochronology (eds. V. Lamarche, M. Gibson). *Tucson, Tree Ring Society*, *3,* 4-48.

Bitvinskas, T. (1998). Development and trends of dendrochronology in Lithuania. *Proceedings of International Conference «Eurodendro-98»: Dendrochronology and Environmental Trends* (eds. V. Stravinskienė and R. Juknys). Kaunas, Vytautas Magnus University, 77-83.

Debryniuk, Iu. M., Krynitskyy, G. T., & Tselen, Ya. P. (2016). *Technology of forest plantation cultivation in the western region of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).

Ivanyuk, I., Zborovska, O., & Zhukovskyi, O. (2019). Dynamics of radial increment of the premature oak stands in fairly fertile site type with varying humidity degree of Polissya in Ukraine. *Miškininkystė, 2* (84), 71-76. Retrieved from https://www.google.com/search?q=Mi%C5%A1kininkyst%C4%97%2C%202019%20Nr.%202%20(84)

Fuchylo, Ya. D. (2011). *Plantation Forestry: Theory, Practice, Perspectives*. Kyiv: Logos (in Ukraine).

Kairukshtis, L.A., Galaziy, G.I., & Shiyatov, S.G. (1986). *Dendrochronology and dendroclimatology*. Novosibirsk: Science, Siberian Branch (in Russian).

Kazmierczak, K., & Zawieja, B. (2014). The influence of weather conditions on annual height increments of Scots Pine. *Biometrical Letters, 51* (2), 143-152. https://doi.org/10.2478/bile-2014-0010

Kobal, M., Grcman, H., Zupan, M., Levanic, T., Simoncic P., Kadunc, A., & Hladnik, D. (2015). Influence of soil properties on silver fir (*Abies alba* Mill.) growth in the Dinaric Mountains. *Forest Ecology and Management, 337,* 77-87. http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.10.017.

Maksymchuk, R.T., Sopushynskyy, I.M., & Tymochko, I. Ya. (2017). Peculiarities of the formation of the annual ring and the base density of straight-fibrous and undulating-wavy wood of *Abies alba* Mill. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University, 27.9*, 30-33. https://doi.org/10.15421/40270906. (in Ukrainian)

Maksymchuk, R.T., Sopushinskyy, I.M., Kopolovets, Ya. M., & Zayachuk, V. Ya. (2018). Internal species differentiation of Abies alba Mill. behind the structure of wood. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *28.7*, 44-48. https://doi.org/10.15421/40280709 (in Ukrainian)

Osazuwa-Peters, O.L., Wright, S.J., & Zanne, A.E. (2014). Radial variation in wood specific gravity of tropical tree species differing in growth-mortality strategies. *American Journal of Botany, 101*, 803-811. https://doi.org/10.3732/ajb.1400040.

Rudakov, V.E. (1958). On the methodology for studying the influence of climate fluctuations on the width of tree rings. *Botanical journal, 43* (12), 1709-1712 (in Russian).

Shmidt, V.M. (1984). *Mathematical Methods in Botany: schoolbook*. Leningrad*:* Publishing house of Leningrad University (in Russian).

Sopushynskyy, I., Kharyton, I., Teischinger, A., Mayevskyy, V., & Hrynyk, H. (2016). Wood density and annual growth variability of *Picea abies* (L.) Karst. growing in the Ukrainian Carpathians. *European Journal Wood Products*, *75* (3), 419-428. https://doi.org/10.1007/s00107-016-1079-1.

Sopushynskyy, I., Kopolovets, Ya., Tymochko, I., & Maksymchuk, R. (2019). The influence of forest types on the volumetric mass of Scots pine wood in the forest conditions of the Carpathian region. *Ştiinţa agricolă, 2*, 79-84. https://doi.org/10.5281/zenodo.3596664 (in Russian)

Szaban, J., Kowalkowski, W., Karaszewski, Z., & Jakubowski, M. (2014). Effect of tree provenance on basic wood density of Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) grown on an experimental plot at Siemianice Forest Experimental Station. *Drewno, 57* (191), 135-144. https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.061.10.

Wasik, R., Michalec, K., & Barszcz, A. (2015). The variability of certain macrostructural features and the density of grand fir (*Abies grandis* Lindl.) wood from selected stands in southern Poland. *Drewno, 58* (195), 45-58. https://doi.org/10.12841/wood.1644-3985.118.04

Zhang, L., Jiang, Yu., Zhao, Sh., Jiao, L. & Wen, Ya. (2018). Relationships between Tree Age and Climate Sensitivity of Radial Growth in Different Drought Conditions of Qilian Mountains, Northwestern China. *Forests, 9*, 135. https://doi.org/10.3390/f9030135.

Влияние метеорологических факторов на радиальный прирост деревьев дуба черешчатого в условиях свежих и влажных сугрудов Полесья Украины

И.Д. Иванюк[1], Я.Д. Фучило[2]

Учитывая важное экономическое, экологическое и социальное значение лесов с участием дуба черешчатого, изучение их состояния, роста, развития и биологической устойчивости в различных природных зонах под воздействием климатических факторов является особенно актуальным.

Объектом исследования стали древостои дуба черешчатого старших возрастных групп, произрастающие в условиях Полесья Украины. Цель исследования – установление оптимальных параметров метеорологических факторов, обеспечивающих максимальный прирост деревьев дуба по диаметру в условиях свежих и влажных сугрудов Полесья.

Для оценки годового прироста дуба черешчатого было заложено ряд временных пробных площадей в свежих и влажных условиях с последующим выделением модельных деревьев (10-25 на каждой пробной площади). Измерения ширины годичных колец модельных деревьев проводили с помощью инструмента «Corim Maxi» с точностью до 0,01 мм.

Для анализа результатов использован индекс радиального прироста: $I = i / i_{среднее} \cdot 100$, где I – показатель годичного прироста по диаметру в долях единицы; i – ширина годового слоя; $i_{среднее}$ – средняя ширина годового слоя в этом возрасте. Анализ зависимостей между метеорологическими факторами и радиальным приростом деревьев дуба показал, что незначительное положительное влияние на радиальный прирост имеют годовая сумма осад-

[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

ков (r = 0,16), сумма осадков за вегетацию (r = 0,22), осадки осенних и зимних месяцев предыдущего года (r = 0,14). Установлено, что годы наиболее высоких и низких величин радиального прироста мало отличаются по среднемесячным температурам воздуха. В то же время установлено наличие тесной связи индекса ширины годичного кольца с показателями гидротермического коэффициента – отношения суммы осадков (P) за вегетационный период к десятой части суммы температур (t) выше 10°C (ГТК = P / 0,1Σt ≥ 10°C). У более 90% деревьев дуба обыкновенного повышенные приросты с индексом > 80 формируются в годы с показателями ГТК от 1,4 до 1,8. Вне этого интервала находится зона торможения роста деревьев с пониженными показателями радиального прироста. На основе математического моделирования зависимости между индексом радиального прироста и гидротермическим коэффициентом установлено, что оптимальные для роста древостоев дуба черешчатого показатели ГТК для свежих и влажных сугрудов составляют соответственно 1,65 и 1,62. При этом индекс радиального прироста значительно больше в свежем сугруде (125,7 против 114,8 во влажных условиях), что указывает на большую чувствительность деревьев дуба в свежем сугруде к изменению погодных условий.

Выявленные корреляционные связи параметров радиального прироста с климатическими показателями в дальнейшем могут быть использованы для построения климатических реконструкций и прогноза продуктивности дубовых древостоев в будущем.

Ключевые слова: *Quercus robur* L.; древостои старших возрастных групп; количество осадков; сумма температур воздуха; гидротермический коэффициент; годовой прирост по диаметру; индекс радиального прироста.

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

I. Ivanyuk[1], Y. Fuchylo[2]

The important economic, ecological and social functions of the forests with the participation of English oak are presented., The study of their growth conditions, development and biological stability in different natural zones under the climatic factors influence is especially relevant.

The research object is the of English oak stand of older age groups which grows in the Ukrainian Polissya.

The research purpose is to establish the optimal parameters of meteorological factors that provide the maximum growth in diameter of oak trees in the conditions of fresh and moist fairly fertile forest type of the Polissya.

To assess the annual increment of English oak, a number of temporary test plots were laid in the fresh and wet conditions.

The model trees (10-25 for each trial plots) were selected. Measurements of the width of the annual rings of model trees were performed with the tool «Corim Maxi» with an accuracy of 0.01 mm.

To analyze the results relative indicators used: the index of radial increase: $I = i / i_{average} \cdot 100$, where I – annual growth index in shares of the unit; i – the width of the annual layer; $i_{average}$ – the average width of the annual layer at this age. An analysis of the correlation among the meteorological factors and the radial growth of oak trees showed that the annual precipitation (r = 0.16), the amount of precipitation during the vegetation season (r = 0.22) and the rainfall of the autumn and winter months of the previous year (r = 0.14) have a slight positive effect on the radial increase of oak trees. It has been established that the years of the highest and lowest values of radial increase depended little in average monthly air temperatures. At the same time, it was found that there is a close correlation between the annual ring width index and the hydrothermal coefficient (HTK – the ratio of precipitation quantity over the growing season (P, mm) to a tenth of the sum of temperatures (t, °C) above 10 °C ($HTK = P / 0.1\Sigma t \geq 10$ °). In more than 90% of English oak trees, highest growths with an index > 80 are formed in the years with HTK indices from 1.4 to 1.8. Outside this interval there is a zone of inhibition of trees growth with the lowered indices of radial increase.

On the basis of mathematical modelling of the correlation between the radial growth index and the hydrothermal coefficient, it was found that the HTK values for fresh and wet fairly fertile forest types optimal for the growth of ordinary oak stands are 1.65 and 1.62, respectively. At the same time, the radial growth index is much higher in fresh fairly fertile forest type (125.7 versus 114.8 in humid conditions), which indicates a greater sensitivity of oak trees in fresh fairly fertile forest type to changes in weather conditions.

The revealed correlations between the parameters of radial growth and climatic indicators can be used in the future for constructing climatic reconstructions and forecasting the oak stands productivity in the future.

Key words: *Quercus robur* L.; stands of older age groups; rainfall; total air temperature; hydrothermal coefficient; annual diameter increase; radial growth index.

[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

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412006
Article received 2020.01.28
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Iryna Koval
Koval_Iryna@ukr.net
Pushkinska st., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine.

УДК: 630.561.24

Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату в Поліссі та Лісостепу

І. М. Коваль[1]

Досліджено стиглі та перестиглі дубові насадження в Поліссі та Лісостепу, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого груду. Встановлено кліматичні чинники, які впливають на радіальний приріст дуба звичайного (Quercus robur L.*) в Поліссі та Лісостепу і порівняно його реакції на зміни клімату в обох природних зонах. Виявлено реперні роки максимального (1891, 1902, 1924, 1931, 1957, 1971, 1987) та мінімального (1895, 1906, 1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) радіального приросту дуба звичайного для Полісся, а також позитивні (1971, 1978, 1987) та негативні (1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005 реперні роки для Лісостепу. Негативні реперні роки характеризуються дефіцитом опадів, посухами вегетаційного періоду, холодними або занадто теплими зимовими та ранньовесняними періодами, а позитивні – сприятливим для росту дерев співвідношенням тепла і вологи.*

Для першого періоду (1960-1988 рр.) виявлено позитивний вплив зимових та ранньовесняних температур на радіальний приріст дуба у Поліссі і Лісостепу. У другому періоді (1989-2013 рр.) відбувся протилежний сценарій – значне підвищення зимових та ранньовесняних температур призвело до зменшення радіального приросту. У другому періоді дубові насадження в Поліссі більше потерпали від теплих зим, ніж насадження в Лісостепу. Негативний вплив посух вегетаційного періоду на приріст посилився у другому періоді для обох насаджень. Упродовж другого періоду опади суттєво втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу.

Підтверджено гіпотезу щодо посилення чутливості реакції радіального приросту дуба звичайного до змін клімату в Поліссі та Лісостепу.

Ключові слова: *стиглі та перестиглі дубові насадження; кліматичні чинники; річні кільця; позитивні та негативні реперні роки; посухи, чутливість дуба звичайного; кореляційний аналіз, функція відгуку.*

Вступ. *Quercus robur* L. є поширеним деревним видом в Європі, зокрема і в Україні (Ducousso et al., 2004). Його насадження займають 26,3% площі державного лісового фонду України. Сучасне суттєве погіршення санітарного стану і деградація лісів України внаслідок їх масового всихання в умовах глобального потепління клімату зумовлює актуальність досліджень реакції дуба звичайного як лісотвірної породи на зміни клімату.

Майже в усіх частинах Європи кліматичні сценарії Міжурядової групи з питань зміни клімату (IPCC) передбачають підвищення рівня опадів взимку та зниження рівня опадів влітку, а також підвищення температури повітря (Fischer et al., 2011). Середня температура в Україні за останні десять років підвищилася на 0,3-0,6°С (за останні 100 років – на 0,7°С), що може призвести до втрати стійкості низки деревних видів (Didukh, 2009).

[1] *Коваль Ірина Михайлівна* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, провідний науковий співробітник лабораторії екології лісу. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, м. Харків, 61024, Україна. Тел.: +38-057-707-80-45, +38-063-28-21-995. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418

Кліматичні умови є визначальним чинником росту дерев (Fritts, 1976). Стратегії адаптації, спрямовані на пом'якшення наслідків глобального потепління для лісових екосистем, таких як посилення стресової посухи (Orlowsky & Seneviratne, 2012), є предметом гострої дискусії (Kätzel & Höppner, 2011).

Для збереження насаджень за участю *Quercus robur* потрібні знання не тільки про їхній сучасний стан, але й про зміни за більш тривалий період. З огляду на це дедалі більшого значення набувають дендрохронологічні дослідження дуба звичайного (Melekhov, 1979; Williams, 1992; Speer, 2010; Cedro, 2007; Roibu et al., 2020; Cook, 1990).

Реакція радіального приросту дуба в Україні на зміни умов довкілля недостатньо вивчена, тому дендрохронологічні дослідження мають високу актуальність, оскільки дають змогу покращити розуміння реакції дуба звичайного на зміни клімату.

Опис об'єкту та методики досліджень. *Об'єктами дослідження* є стиглі та перестиглі дубові насадження в Поліссі та Лісостепу, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого груду на підзолистих і темно-сірих грунтах (рис. 1, табл. 1). *Предметом дослідження* є динаміка величин радіального приросту дуба звичайного у зв'язку з кліматичними змінами. *Мета дослідження* – виявити кліматичні чинники, які впливають на радіальний приріст дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу і порівняти його реакцію на зміни клімату в обох природних зонах.

Основною гіпотезою дослідження є збільшення чутливості радіального приросту дуба звичайного в умовах кліматичних змін у Полісі та Лісостепу.

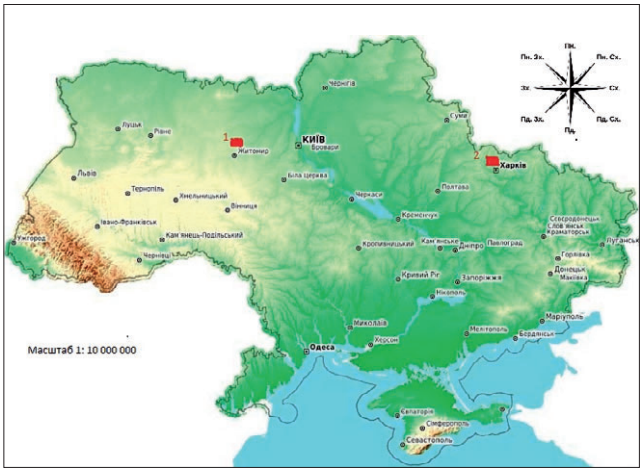


Рис. 1. Розташування місць відбору зразків у Поліссі (1) та Лісостепу (2)

У Поліссі об'єкти досліджень знаходились на території лісового фонду Пилиповецького л-ва ДП «Новоград-Волинське ДГ» (кв. 2, вид. 5), у Лісостепу – у лісовому фонді Південного л-ва Харківської лісової науково-дослідної станції (кв. 116, вид. 9).

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних дубових насаджень

Природна зона	Географічні координати	Висота над рівнем моря, м	Склад насаджень	ТЛУ	Вік, років	Повнота	D_c, см	H_c, м	Бонітет	Запас, $м^3 \cdot га^{-1}$
Полісся	50°35′00″ пн. ш. 27°37′13″ сх. д.	218	$10Д_з + С_з$, Ос, Гз	$С_2$	155	0,5	44	28	2	260
Лісостеп	50°05′31″ пн. ш. 36°17′40″сх. д.	202	10Дз	D_2	100	0.6	40	25	2	270

У регіоні Полісся клімат помірно-континентальний. Літо – тепле та вологе, зима – м'яка. Середня річна температура змінюється від +6,5 до +7,5°С. Середня температура січня варіює від -4.5 до -8°С. Температура липня становить +18–+19°С, середня температура липня коливається від +17 до +19,5°С. Річна кількість атмосферних опадів становить 550-650 мм, а найбільша їх кількість випадає в червні та липні.

У Лісостепу клімат помірно-континентальний. Середня температура липня становить від +18° до +22°С. Середня температура січня змінюється від -5 до -8°С. Опадів випадає в середньому близько 550-700 мм (Geographical encyclopedia of Ukraine, 1990).

У процесі досліджень використано дані Житомирської (50°15′53″ пн. ш., 28°40′36″ сх. д.) та Харківської (49°55′28″ пн. ш., 36°17′24″ сх. д.) метеостанцій, які розташовані найближче до районів досліджень.

Взаємозв'язки між радіальним приростом дуба та кліматичними чинниками розглянуто за 1960-1988 та 1989-2013 рр. для порівняння реакції радіального приросту до варіацій клімату за ці періоди у Поліссі і Лісостепу.

У Поліссі середньорічні температури були вищими у першому періоді, порівняно з другим, на 19% (8,1 та 6,8ºС), у березені–вересені – на 10% (13,6 та 12,4ºС), взимку – на 41% (-2,8 та -4,7ºС), а березневі температури були вищими майже вчет-

веро (1,8 та -0,5ºС). Опадів у другому періоді випало на 5,8% більше порівняно з першим періодом (642 та 607 мм), у березні–вересні – на 6% (491 та 463 мм), однак у квітні–червні опадів випало на 11% менше (192 та 173 мм). Взимку опадів випало на 8% більше (108 та 99 мм).

У Лісостепу середньорічні температури були вищими у другому періоді на 17% (8,7 та 7,5ºС), у березні–вересні – на 7% (17,7 та 16,8ºС), у квітні–червні – на 4%, взимку – на 34% (-3,5 та -5,2ºС). Найшвидше температури підвищувалися у другому періоді у березні – більше ніж в три рази і це підвищення становило у 1960-1988 рр. -0,7ºС, у 1989-2013 рр. – +1,8 ºС. Опадів у другому періоді випало більше, ніж у першому за рік на 6% (574 та 542 мм), за березень–серпень – на 10%, за квітень–червень – на 17% (159 та 135 мм), однак впродовж зими на 10% менше (121 та 135 мм). Також спостережено зменшення опадів упродовж липня–серпня – на 12% (107 та 123 мм).

Отже, для обох природних зон відбулося підвищення температури у другому періоді, порівняно з першим, на 17-19%. Найшвидшими темпами підвищилися зимові температури (на 34-41%) та ранньовесняні (березневі температури) – майже вчетверо в Поліссі та майже втричі – в Лісостепу. Тенденції опадів подібні для обох природних зон – відбулося підвищення річної кількості опадів, але впродовж вегетаційного періоду їх випало менше у квітні–червні для Поліської зони – на 11%, а для Лісостепової – упродовж липня–серпня та зимового періоду – на 10% менше.

У процесі досліджень використано стандартні дендрохронологічні методи (Cook et al., 1990). У 2014-2016 рр. у дубових насадженнях Полісся та Лісостепу було відібрано керни буравом Преслера зі стовбурів дерев на висоті 1,3 м по 15 зразків для кожної природної зони. Після повітряного висушування поверхня кернів була підготовлена за допомогою гострого леза, а контраст між межами річних кілець покращували за допомогою крейди. Шари річної деревини вимірювали цифровим приладом для вимірювання шарів деревини HENSON з точністю до 0,01 мм. Проведено перехресне датування (візуальне зіставлення всіх графіків індивідуальних хронологій), щоб встановити точну дату формування для кожного шару річної деревини (Cook et al., 1990). Результати перехресного датування перевірено за програмою COFECHA, при цьому мінімальний поріг синхронності встановлювали на рівні 90%. Крім того, взаємозв'язок між кліматом та шириною річного кільця досліджували за допомогою аналізу функцій відгуку (Cook & Kairiukstis, 1990). Функції відгуку обчислили за програмою RESPO з програмного пакету DPL (Holmes, 1994). Методика охоплює багатофакторний регресійний аналіз, в якому середня місячна температура повітря та місячна сума опадів є незалежними змінними. Програма RESPO обчислює коефіцієнти лінійної кореляції (k) та множинної регресії (r^2). Аналіз функції відгуку застосовували для відстеження впливу кліматичних чинників на радіальний приріст за 15-місячний період (від липня попереднього року до вересня поточного року) для двох періодів – 1960-1988 та 1989-2013 роки.

Результати та обговорення. Результати статистичного аналізу річних кілець *Quercus robur* у Поліссі та Лісостепу свідчать про придатність деревно-кільцевих хронологій для подальшого аналізу зважаючи на те, що ці серії мають міжсерійний коефіцієнт кореляції 0,36 для Полісся та 0,65 для Лісостепу за критичного значення 0,32. Середня чутливість є середньою для обох насаджень, тому що значення цього коефіцієнта перевищує 0,2 та менше 0,3. Чутливішими до варіацій умов довкілля є насадження в Лісостепу, що свідчить про менш сприятливі умови для росту дерев. Автокореляція є високою для обох насаджень, що свідчить про значний вплив умов попереднього року на приріст поточного року (табл. 2).

Таблиця 2

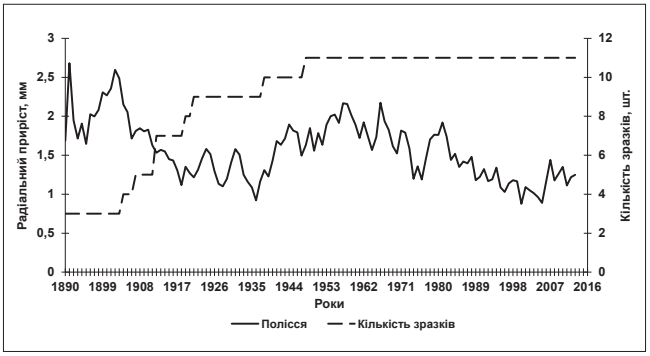
Статистична характеристика деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу, обчислених за програмою COFECHA

Природна зона	Кількість річних кілець	Часовий інтервал	R^2	Середня величина річного кільця (мм)	Стандартне відхилення	Середня чутливість	Автокореляція першого порядку
Полісся	1164	1870-2013	0,360	1,45	0,600	0,212	0,716
Лісостеп	971	1914-2016	0,665	2,39	1,241	0,293	0,624

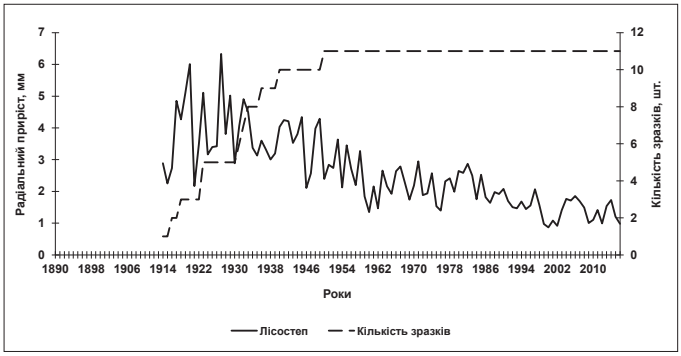
Примітка: R^2 – міжсерійний коефіцієнт кореляції

Виявлено реперні роки, тобто роки максимального та мінімального приростів дуба звичайного для Полісся та Лісостепу (рис. 2, табл. 3).

Локальні хронології Полісся та Лісостепу є основою для аналізу реперних років. Для дуба звичайного було визначено вісім реперних років з однаковою тенденцією зростання (один рік з позитивними та сім з негативними тенденціями) для обох насаджень. Для Полісся виявлено 11 реперних років максимального приросту та 14 років мінімального; для Лісостепу, відповідно, виявлено 8 та 22 років за досліджувані періоди.



а) Полісся



б) Лісостеп

Рис. 2. Динаміка радіального приросту дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу

Таблиця 3

Реперні роки у деревно-кільцевих хронологіях *Quercur robur* L. у Поліссі та Лісостепу

Рік	П.	Л.	Рік	П.	Л.	Рік	П.	Л.	Рік	П.	Л.	Рік	П.	Л.
1890			1917			1944	+		1971	+	+	1998		
1891	+		1918	–	–	1945			1972			1999		
1892			1919			1946			1973			2000	–	–
1893			1920			1947			1974			2001		
1894			1921			1948			1975			2002		
1895	–		1922	–	–	1949			1976	–	–	2003		
1896			1923			1950	–	–	1977			2004		
1897			1924	+		1951			1978		+	2005	–	–
1898			1925			1952			1979		–	2006		+
1899			1926			1953			1980			2007	+	
1900			1927			1954		–	1981	+		2008		
1901			1928			1955			1982		+	2009		
1902	+		1929	–		1956			1983			2010		
1903			1930		–	1957	+	–	1984		–	2011		
1904			1931	+		1958			1985		+	2012		
1905			1932			1959			1986			2013		–
1906	–		1933			1960		–	1987	+	+	2014		
1907			1934			1961			1988		–	2015		+
1908			1935		–	1962			1989			2016		
1909			1936	–		1963			1990					
1910			1937			1964			1991					
1911			1938		–	1965			1992	–	–			
1912			1939			1966	+		1993	–	–			
1913			1940			1967		+	1994					
1914			1941			1968			1995		–			
1915			1942			1969		–	1996	–				
1916			1943		–	1970			1997		+			

Примітка: П – Полісся, Л – Лісостеп; реперні роки (+ позитивні реперні роки, – негативні реперні роки); загальні реперні роки мінімального приросту для Полісся та Лісостепу марковані сірим кольором, реперні роки максимального приросту – темно-сірим кольором.

Позитивні реперні роки пов'язані з високою сумою опадів за рік, а також упродовж осінньо-зимового періоду і, насамперед, у травні–липні, коли їхня кількість перевищує середнє значення.

Для негативних реперних років характерні низька кількість річних опадів, які є нижчими, ніж багаторічні, а також посухи влітку, холодні або надто теплі зими. Водночас позитивний тренд відображає достатній запас води в місцях зростання дерев, особливо влітку. Зокрема, 1976 р. наведено як приклад негативного реперного року. У Поліссі сума опадів за квітень–червень цього року була нижчою на 29%, порівняно зі середніми значеннями (123 мм випало у квітні–червні у 1976 р., середнє багаторічне значення за цей період становило 174 мм). Температури впродовж цього періоду перевищили середні значення майже на 12% (для 1976 р. вони становили 15,1ºС, а багаторічні значення – 13,3ºС). До того ж у Поліссі була надзвичайно холодна зима у 1976 р., коли середні зимові температури становили -5,9ºС (за норми -3,8 ºС), тобто температури були нижчими більше ніж у 1,5 раза. До того ж посушливим був попередній 1975 р., який ослабив насадження. Опадів випало на 15% менше від норми (відповідні дані – 518, 2 мм та 607,4 мм). Температура була вищою від норми цього року на 16% (середньорічна температура за 1975 р. становила +8,5ºС, а норма – +7,3 ºС).

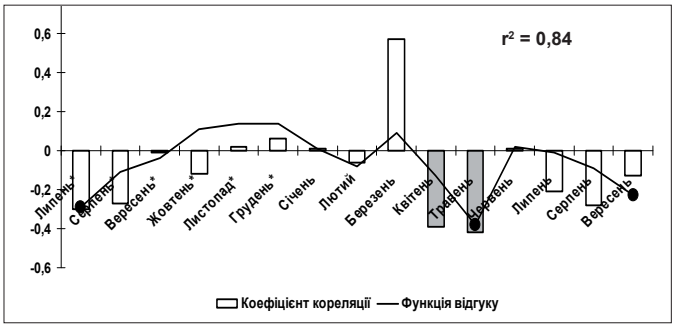
Тобто, незважаючи на те, що загалом температури за рік були вищими у 1975 р. порівняно з 1976 р., а опадів випало менше як у Поліссі, так і в Лісостепу, мінімальні прирости спостерігалися у 1976 р., тому що весняний та ранньолітній періоди виявилися посушливими в період активного формування річних кілець. До того ж надзвичайно низькі температури взимку негативно вплинули на приріст.

Упродовж позитивних реперних років спостерігалося сприятливе співвідношення тепла та вологи. Зазвичай кількість опадів протягом такого року була вищою від норми. Наприклад, у Поліссі, у 2007 р. випало за рік 764 мм, водночас норма становила 607 мм, що майже на 26% вище від норми. Для Лісостепу позитивним реперним роком був 2014-й, протягом квітня–серпня якого випало 318,46 мм опадів за норми 260,70 мм, що на 22% вище від норми.

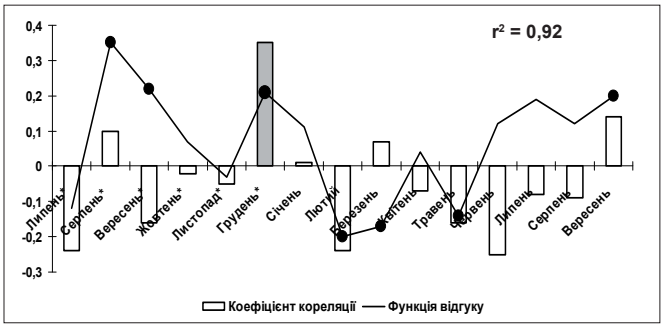
Загальні реперні роки мінімального приросту для насаджень обох природних зон відзначено у 1918, 1922, 1950, 1976 та 2005 рр., а максимального приросту – 1971 та 1987 роках.

Подібні результати отримано під час дослідження дубових насаджень в умовах Центрального Полісся, де приріст обмежували низькі та високі температури впродовж зими та ранньої весни, а також посухи вегетаційного періоду (Andrushchenko &, Koval, 2014).

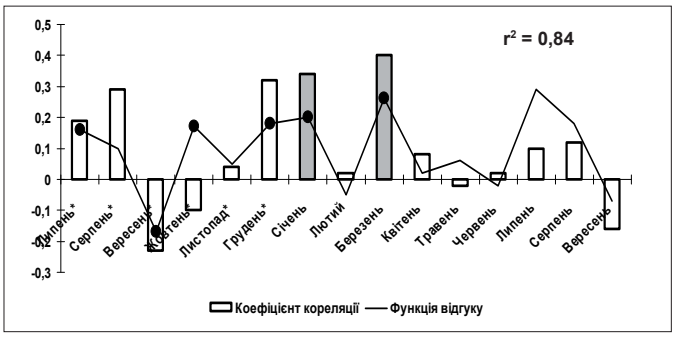
У Поліссі у перший період (1960-1988 рр.) радіальний приріст дуба звичайного обмежували температури травня та червня. Також негативно впливали температури вересня, протягом якого закінчується процес формування річних кілець. Упродовж другого періоду (1989-2013 рр.) серпневі, вересневі та грудневі температури попереднього року позитивно вплинули на приріст поточного року (рис. 3).



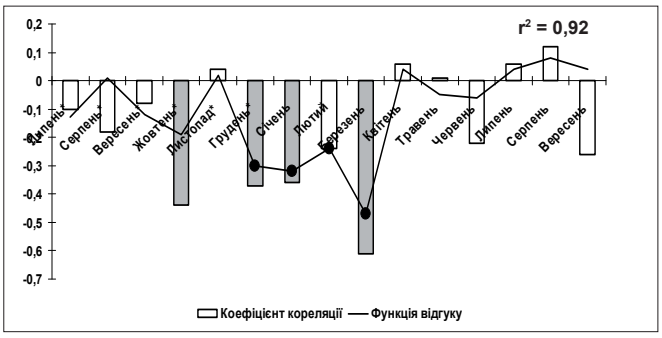
a) Температура. 1960-1988 рр.



b) Температура. 1989-2013 рр.



c) Опади. 1960-1988 рр.

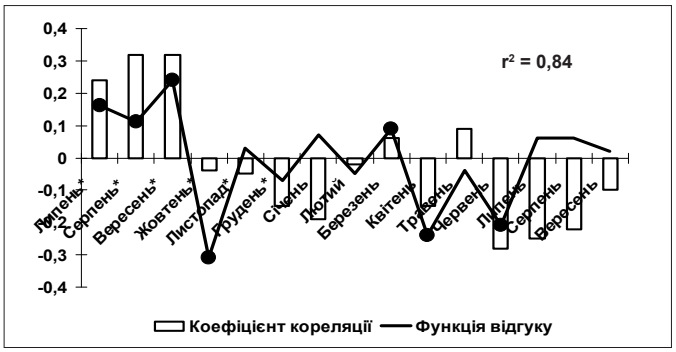


d) Опади. 1989-2013 рр.

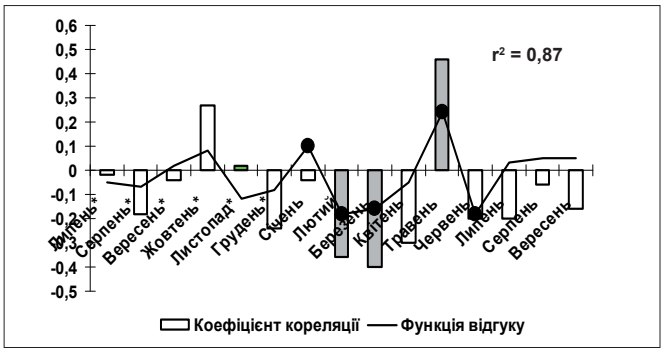
Рис. 3. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Поліссі. Значущі кореляції на рівні 0,05 позначено сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($p \leq 0.05$). Місяці попереднього року позначено зірочками.

У першому періоді опади позитивно впливали на радіальний приріст у липні та упродовж майже всієї зими та ранньої весни. У другому періоді опади обмежували приріст як у жовтні попереднього року, коли дерева входили у стан зимового спокою та відбувалося вологонагромадження в грунті, так і упродовж зими та ранньої весни (див. рис. 3).

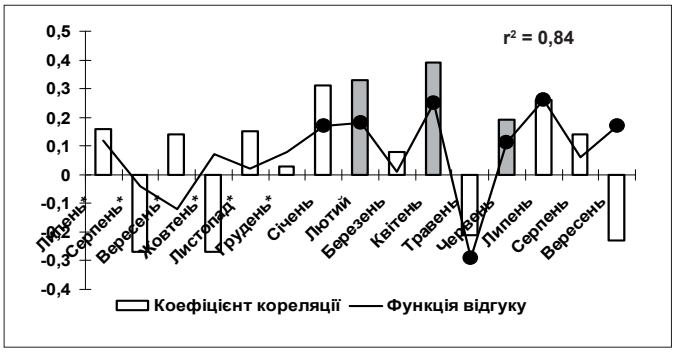
У Лісостепу позитивний вплив температур вегетаційного періоду попереднього року, характерний для першого періоду, зник у другому періоді. Потепління у лютому та березні негативно вплинуло на формування річних кілець. Червневі температури обмежували приріст як у першому, так і у другому періодах. У другому періоді потепління у квітні позитивно вплинуло на приріст. У першому періоді виявлено загалом позитивний вплив опадів на приріст протягом вегетаційного періоду, за винятком червня. У другому періоді в цей час температури обмежували приріст і лише в серпні-вересні відмічено позитивні кореляції (рис. 4).



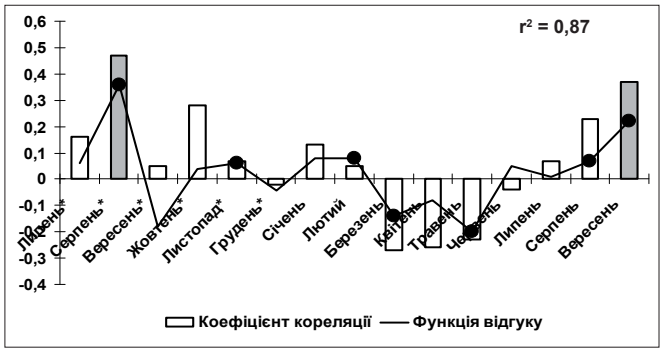
a) Температура. 1960-1988 рр.



b) Температура. 1989-2013 рр.



c) Опади. 1960-1988 рр.



d) Опади. 1989-2013 рр.

Рис. 4. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Лісостепу. Значущі кореляції на рівні 0,05 позначено сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($p \leq 0.05$). Місяці попереднього року позначено зірочками

Отже, для обох природних зон у першому періоді відзначено істотний позитивний вплив температур взимку та ранньою весною (з грудня попереднього року по березень поточного року в Поліссі та з січня по квітень у Лісостепу). Однак у другому періоді ситуація змінюється на протилежну – упродовж холодного періоду температури обмежують приріст. Вірогідно, відбувається, по-перше, порушення зимового спокою дерев внаслідок підвищених температур та, по-друге, внаслідок порушення стійкого снігового покриву зменшується вологозапас у грунті навесні, що також негативно впливає на радіальний приріст дуба. Значущий позитивний вплив температур виявлено лише для Лісостепу для серпня–вересня, що може свідчити про пізніше закінчення сезонного процесу ксилогенезу. У першому періоді в Лісостепу, на відміну від Полісся, виявлено значущий позитивний вплив температур декількох місяців вегетаційного періоду (липень–вересень) попереднього року на радіальний приріст дуба. У Поліссі ж виявлено негативний вплив липневих температур попереднього року на формування річних кілець. У Лісостепу негативно вплинули на приріст жовтневі температури, тобто їх підвищення у цей період могло негативно вплинути на вологонагромадження у грунті і як наслідок – зменшення приросту в наступному році. Березневі температури, які є важливими для початку процесу ксилогенезу, позитивно та достовірно впливали на радіальний приріст дуба у Лісостепу. Негативний вплив температур квітня–вересня виявлено для обох насаджень, але значущі негативні впливи розраховано для Полісся в квітні–травні (інтенсивний приріст) та вересні (завершення вегетаційного сезону) та для Лісостепу в квітні та червні (див. рис. 3, 4).

У другому періоді в Поліссі виявлено значущий позитивний вплив температур серпня, вересня та грудня попереднього року на приріст, на відміну від Лісостепу. Негативний вплив температур лютого і березня на приріст спостерігався в обох насадженнях. Порівняно з першим періодом, ці зв'язки посилилися, а для Лісостепу у першому періоді навіть спостерігався позитивний вплив березневих температур на приріст. У Поліссі травневі температури позитивно впливали на приріст, а в Лісостепу навпаки – негативно. Для Полісся позитивний вплив температур на приріст є характерним для вересня: підвищення температур у цьому місяці могло продовжити процес ксилогенезу, тобто процес формування річних кілець. Для обох насаджень загальним є те, що у другому періоді, порівняно з першим, значно посилився негативний вплив температур на приріст наприкінці зими – на початку весни.

Під час порівняння впливу опадів на радіальний приріст дуба у Поліссі та Лісостепу у першому періоді виявлено**,** що для обох насаджень характерний позитивний вплив опадів на приріст у зимово-весняний період. Однак для Полісся він починається раніше – у грудні і закінчується в березні, тоді як для Лісостепу цей позитивний вплив починається у грудні і завершується у квітні. У Лісостепу приріст обмежують квітневі температури. Для Полісся характерний позитивний вплив для місяців попереднього року та місяців холодного періоду (з грудня попереднього року по березень поточного року, виняток – лютий) та ранньої весни (березень). Для Лісостепу характерним є позитивний вплив опадів з січня по квітень, за винятком березня, для якого значущих зв'язків не виявлено. Для літньо-ранньоосіннього періоду характерний позитивний вплив опадів тільки для Лісостепу.

Упродовж другого періоду як для Полісся, так і для Лісостепу загальним є те, що вплив опадів на приріст протягом зимово-весняного періоду для Полісся та Лісостепу став негативним, на відміну від першого періоду, коли спостерігався позитивний вплив опадів на приріст. Для Полісся цей період триває з листопада по квітень та для Лісостепу – з березня по травень. Упродовж вегетаційного періоду опади значуще обмежували приріст лише у серпні–вересні у Лісостепу.

Отже, упродовж другого періоду опади істотно втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу.

Дендрокліматологічний аналіз *Taxus baccata* L. у Польщі вказав на негативний вплив температури взимку та ранньою весною як основний чинник, що обмежує приріст. Літня посуха була додатковим чинником, який обмежив формування річних кілець. Для дерев *Sorbus torminalis* L. прохолодні та вологі літні місяці у вегетаційний період сприяють формуванню широких річних кілець (Cedro & Cedro, 2015).

У південних районах регіону Балтійського моря радіальний приріст *Quercus robur* найбільш сильно та значуще пов'язаний з червневими та літніми опадами для 1943-1972 та 1973-2002 років. Червневі опади в рік формування річного кільця були найбільш послідовно та позитивно пов'язані з шириною річного кільця дуба. Найбільшу зміну реакції радіального приросту дуба виявлено до температур лютого упродовж двох періодів – 1943-2002 рр. та 1973–2002 років (Harvey et al., 2020).

Деревно-кільцеві хронології *Quercus robur* країн Східної Європи показали, що протягом 1943-1972 рр. формування річних кілець було позитивно пов'язане із середньою температурою лютого, однак ці взаємозв'язки знижуються за останні десятиліття. Радіальний приріст дуба залежить насамперед від кількості опадів. Висока щорічна кількість опадів, зокрема рясний дощ навесні та влітку, призводить до появи широких кілець дерева. Опади у вигляді дощу та снігу взимку також сприяють росту дерев, підвищуючи рівень ґрунтових вод та покращуючи водопостачання в середовищі існування впродовж наступної весни. Засухи навесні і влітку у поєднанні з високою температурою повітря призводять до формування вузьких кілець. Висока чутливість дуба до тривалих дій посухи, що безпосередньо впливають на ріст дерев, може використовуватися як ознака раннього попередження необхідності прийняття належних планів та стратегій управління лісами, які мають вирішальне значення для підвищення їхньої стійкості до майбутніх екстремальних подій (Roibu et al., 2020).

Радіальний приріст дуба звичайного з південно-східної України має значущі зв'язки з весняними та літніми опадами, а також з температурами квітня, червня та липня, з пізньозимовими та ранньовесняними температурами (Netsvetov et al., 2017).

За результатами кореляційного аналізу виявлено негативний вплив опадів на радіальний приріст дуба у липні–серпні 1951-1987 років. У наступні 1988-2011 рр. зимові опади позитивно вплинули на формування шарів річної деревини дуба. Для 1988-2011 рр. значущих зв'язків індексів радіального приросту дуба з опадами за вегетаційний період не виявлено (Коваль & Kostyashkin, 2015).

Загальний кліматичний сигнал у кільцях дуба в Центральній Європі вказав на загальну позитивну реакцію приросту на опади навесні та влітку (березень і червень) та негативну реакцію на температуру навесні і влітку (квітень та червень), а також на загальну позитивну реакцію на опади, особливо навесні (травень), та негативну – на високі літні температури (особливо в серпні), з вираженим градієнтом з півночі на південь. Теплий попередній грудень і теплий поточний вересень позитивно впливають на ріст дерев, особливо у південно-західній частині досліджуваної території (Cufar et al., 2014).

Аналіз функцій відгуку приросту на кліматичні чинники показали, що радіальний приріст дуба звичайного в заплавних умовах найбільшою мірою пов'язаний з температурами на початку вегетаційного сезону. Для дерев, що ростуть в мезотрофних умовах, основний вплив на приріст виявляє режим опадів (Knysh & Ermokhin, 2019).

Висновки. У Поліссі та Лісостепу відбулося підвищення температури у другому періоді (1988-

2013 pp.), порівняно з першим (1960-1988 pp.), на 17-19%. Найшвидшими темпами підвищувалися зимові температури (на 34-41%) та ранновесняні (березневі температури) – майже вчетверо в Поліссі та майже втричі – в Лісостепу. Тенденції опадів подібні для обох природних зон – відбулося підвищення річної кількості опадів, але впродовж вегетаційного періоду їх випало менше у Поліссі у квітні–червні на 11%, а в Лісостепу упродовж липня–серпня та зимового періоду – на 10% менше.

Виявлено реперні роки максимального (1891, 1902, 1924, 1931, 1957,1971, 1987) та мінімального (1895, 1906, 1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) радіального приросту дуба звичайного для Полісся, а також позитивні (1971, 1978, 1987) та негативні (1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) реперні роки для Лісостепу. Негативні реперні роки характеризуються дефіцитом опадів, посухами вегетаційного періоду, холодними або занадто теплими зимовими та ранньовесняними періодами, а позитивні – сприятливим для росту дерев співвідношенням тепла і вологи.

Для першого періоду (1960-1988 pp.) виявлено позитивний вплив зимових та ранньовесняних температур на радіальний приріст дуба у Поліссі і в Лісостепу У другому періоді (1989-2013 pp.) відбувся протилежний сценарій – значне підвищення зимових та ранньовесняних температур призвело до зменшення радіального приросту. У другому періоді дубові насадження в Поліссі більше потерпали від теплих зим, ніж насадження Лісостепу. Негативний вплив посух вегетаційного періоду на приріст посилився у другому періоді для обох насаджень.

Упродовж другого періоду опади істотно втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу.

Отже, є підстава вважати підтвердженою гіпотезу щодо посилення чутливості реакції радіального приросту дуба звичайного до змін клімату в Поліссі та Лісостепу.

References

Andrushchenko, R.O., & Koval, I.M. (2014). Radial growth of oak (*Quercus robur* L.) phenoforms in places of winter moth (*Operophera brumata* L.) mass reproduction in Cenral Woodland Forests. *Scientific reports National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 5*. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nd_2014_5_21 (in Ukrainian).

Cedro, A. (2007) Tree-ring chronologies of downy oak (Quercus pubescens), pedunculate oak (*Q. robur*) and sessile oak (*Q. petraea*) in the Bielinek Nature Reserve: comparison of the climatic determinants of tree-ring width. *Geochronometria*, *26*, 39-45. https://doi.org/10.2478/v10003-007-0005-2.

Cedro, A., & Cedro, B. (2015). Growth-climate relationships at yew and wild service trees on the eastern edge of their range in Europe. *Forest Systems*, *24* (3). Retrieved from https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6240057.

Cufar, K., Grabner, M., Morgós, Martínez del Castillo E., Merela M, & de Luis M. (2014). Common climatic signals affecting oak tree-ring growth in SE Central *Europe*. *Trees, 28*, 1267-1277. https://doi.org/10.1007/s00468-013-0972-z.

Didukh, Y. (2009). Ecological aspects of the global climate changes: reasons, consequences and actions. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 2,* 34-44 (in Ukrainian). Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12 (in Ukrainian).

Ducousso, A., & Bordacs, S. (2004). *Technical Guidelines for genetic conservation and use for pedunculate and sessile oaks (Quercus robur and Q . petraea)*. International Plant Genetic Resources Institute, Rome, Italy. Retrieved from https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/user_upload/online_library/publications/pdfs/1038.pdf.

Fischer, R., Beck, W., Calatayud, V., Cools, N., De Vos B., Dobbertin M., & Stofer, S. (2011). *The condition of forests in Europe.* 2011 executive report. Hamburg: Institute for World Forestry.

Fritts, H., C. (1976). *Tree rings and climate*. London: Acad. press.

Geographical encyclopedia of Ukraine: in 3 volumes (1990). Editor.: O.M. Marynych (ed.) and others. Kyiv: Ukrainian Soviet Encyclopedia named after M.P. Bazhana (in Ukrainian).

Grissino-Mayer, H.D. (2001). Evaluating accuracy: a manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-ring research, 57* (2), 205-221. Retrieved from https://repository.arizona.edu/bitstream/handle/10150/251654/trr-57-02-205-221.pdf?sequence=1.

Harvey, J.E., Smiljanić, M., Scharnweber, T., Buras, A., Cedro, A., Cruz-García, R. ... Wilmking, M. (2020). Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Global Change Biology, 26*, 2505-2518. https://doi.org/10.1111/gcb.14966.

Holmes, R.J. (1994) *Dendrochronology Program Library-Users Manual.* University of Arizona: Tucson, AZ, USA.

Kaennel, M., & Schweingruber, F.H. (1995). *Multilingual glossary of dendrochronology. Terms and definitions in English, German, French, Spanish, Italian, Portuguese and Russian*. Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape Research: Berne, Haupt, 467.

Kätzel, R., & Höppner, K. (2011). Adaptation strategies in forest management under the conditions of climate change in Brandenburg. *Folia Forestalia Polonica, series A, 53* (1), 43-51. Retrieved from https://pdfs.semanticscholar.org/b8ad/e9ba16eeb600a1e1cdb5c67c7c86c7296dd6.pdf.

Knysh, N.V., & Ermokhin, M.V. (2019). Influence of climatic factors on the growth of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in the southern regions of Belarus.

Proceedings of the National Academy of Sciences of Belarus. Series of biological sciences Volume, 64 (2), 156-168 https://doi.org/10.29235/1029-8940-2019-64-2-169-179 (in Russian).

Koval, I.M., & Kostyashkin, D.C. (2015). Influence of Climate and Recreation on Formation of Layers of Annual Wood of Early and Late Forms *Quercus robur* L. in Kharkiv Greenbelt. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *25* (6), 52-58 Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2015/25_6/11.pdf (in Ukrainian).

Melekhov, I.S. (1979). Significance of the structure of annual layers and its dynamics in forestry and dendroclimatology. *Forest Journal*, *4*, 6-14 (in Russian).

Netsvetov, M., Sergeyev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., & Prokopuk, Yu. (2017). The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia, 44*, 31-38. https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004.

Orlowsky, B., & Seneviratne, S. (2012) Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, *110*, 669-696. https://doi.org/10.1007/s10584-011-0122-9.

Roibu, C., Sfeclă, V., Mursa, A., Ionita, M., Nagavciuc, V., Chiriloaei, F., Les, I., & Popa, I. (2020). The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests, 11*, 19. Retrieved from https://www.mdpi.com/1999-4907/11/5/600/htm.

Speer, J.H. (2010). *Fundamentals of tree-ring research*. The University of Arizona Press: Tucson.

Williams, J.T. (1992). International aspect of biodiversify. *Forest. Choron, 4*, 454-458.

Cook, E.R., & Kairiukstis, L. (1990). *Methods of Dendrochronology – Applications in the Environmental Sciences*. Dordrecht, Nether-lands: Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis.

Реакция радиального прироста *Quercus robur* L. на изменения климата в Полесье и Лесостепи

И.М. Коваль[1]

Исследованы спелые и перестойные дубовые насаждения в Полесье и Лесостепи, которые растут в условиях свежего сугруда и свежего груда. Установлены климатические факторы, влияющие на радиальный прирост *Quercus robur* L. в Полесье и Лесостепи, сравнены его реакции на изменения климата в обеих природных зонах.

Использованы стандартные дендрохронологические методы, которые позволили создать древесно-кольцевые хронологии дуба и оценить взаимосвязи между этими хронологиями и климатическими показателями.

Выявлены особенности реакции радиального прироста дуба к варьированию климата для 1960-1988 и 1989-2013 годов.

Для обеих природных зон произошло повышение температуры во втором периоде, по сравнению с первым, на 17-19%. Самыми быстрыми темпами повысились зимние температуры (на 34-41%) и ранневесенние (мартовские температуры) – почти в четыре раза в Полесье и почти втрое – в Лесостепи. Выявлено, что тенденции осадков были похожими для обеих природных зон – произошло повышение годового количества осадков, но в течение вегетационного периода их выпало меньше в апреле–июне для Полесья – на 11%, а для Лесостепи – в течение июля–августа и зимнего периода – на 10% меньше.

Вычислены реперные годы максимального (1891, 1902, 1924, 1931, 1957, 1971, 1987) и минимального (1895, 1906, 1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) радиального прироста дуба обыкновенного для Полесья, а также положительные реперные года для Лесостепи (1971, 1978, 1987) и негативные (1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005). Негативные реперные годы характеризуются дефицитом осадков, засухами вегетационного периода, холодными, или слишком теплыми зимами и аномальными температурами в ранневесенний период. Положительные реперные годы характеризуются благоприятным для роста деревьев соотношением тепла и влаги.

Для первого периода (1960-1988 гг.) выявлено положительное влияние зимних и весенних температур (с декабря предыдущего года по март текущего года) на радиальный прирост в Полесье и в Лесостепи (с января по апрель). Во втором периоде (1989-2013 гг.) значительное повышение зимних и ранневесенних температур привело к нарушению зимнего покоя деревьев и устойчивого снежного покрова, что стало причиной уменьшения влагозапасов в почве весной и вследствие этого произошло уменьшение радиального прироста. Насаждения в Полесье больше страдали от теплых зим, чем насаждения в Лесостепи во втором периоде. Негативное влияние засух вегетационного периода усилилось во втором периоде для обоих насаждений.

Во втором периоде как для Полесья, так и для Лесостепи характерно то, что влияние осадков на радиальный прирост дуба обыкновенного в течение периода с ноября прошлого года по апрель текущего для Полесья и для Лесостепи в течение марта–мая стало отрицательным, в отличие от первого

[1] *Коваль Ирина Михайловна* – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, старший научный сотрудник, ведуший сотрудник лаборатории экологии леса. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им Г.Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, Харьков, 61024, Украина. Тел.: +38-057-707-80-45, +38-063-28-21-995. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418

периода, когда наблюдалось положительное влияние осадков на прирост.

Гипотеза об усилении чувствительности реакции радиального прироста дуба обыкновенного к изменениям климата в Полесье и Лесостепи подтверждена.

Ключевые слова: спелые и перестойные дубовые насаждения; климатические факторы; годичные кольца; положительные и негативные реперные годы; засухи; чувствительность дуба обыкновенного; корреляция, функция отклика.

Radial growth of *Quercus robur* L. response to climate change in Polissya and Forest-Steppe

I. Koval[1]

The objects of the study are the old oak stands in Polissya and Forest Steppe, growing in conditions of fresh sugrud and fresh grud. The aim of the study is to identify climatic factors affecting the oak (*Quercus robur* L.) radial growth in Polissya and the Forest-Steppe and to compare its response to climate change in both natural areas.

Standard dendrochronological methods were used to generate the *Quercus Robur* L. tree-ring chronologies and to evaluate the relationship of the chronology with the meteorological records.

In comparison, the influence of climate on the European oak radial growth in 1960-1988 and 1989-2013 for both natural areas there was in temperature increase in the second period compared with the first by 17-19%. In the second period in comparison with the first period temperatures increased most rapidly in Winter (by 34-41%) and early spring almost by four times in Polissya iand Forest Steppe. Precipitation trends are similar for both natural zones – there was an increase in the annual amount of precipitation, but during the growing season they fell less in April-June of the Polissya zone – by 11%, and for the forest-steppe zone – during July-August and the winter period – by 10% less.

The reference years of maximum (1891, 1902, 1924, 1931, 1957, 1971, 1987) and minimum (1895, 1906, 1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) radial growth of European oak for Polissya were revealed as well as positive signature years for and Forest-Steppe (1971, 1978, 1987) and negative reference years (1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005). Negative reference years are characterized by a deficit of precipitation, droughts of the growing season, cold or too warm winter and early spring periods, and positive – favorable for tree growth ratio of temperature and moisture.

For the first period (1960-1988) the positive influence of winter and early spring temperatures on the radial growth of oak in Polissya and in the Forest-Steppe was revealed. In the second period (1989-2013) the opposite scenario took place – a significant increase in winter and early spring temperatures growth. In the second period, oak stands in Polissya suffered more from warm winters than plantations in the Forest-Steppe. The negative impact of vegetation droughts on growth increased in the second period for both plantations.

During the second period, precipitation significantly lost its positive effect on plantations growth both in the Polissya and Forest-Steppe.

The hypothesis of increasing the sensitivity of the European oak radial growth response on climate change in Polissya and Forest-Steppe has been confirmed.

Key words: old oak stands; climatic factors; annual rings; positive and negative reference years; droughts; sensitivity of European oak; correlation, response function.

[1] *Iryna Koval* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Ph.D. in Agricultural Sciences, senior researcher of Laboratory of Forest Ecology. Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration after G.M. Vysotsky, 86 Pushkinska st., Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: +38-057-707-80-01, +38-063-28-21-995. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412007
Article received 2020.01.11
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Rimma Matveeva
matweevarn@yandex.ru
peace Avenue, 82, Krasnoyarsk, 660049, Russia

УДК 630.232.5

Изменчивость *Pinus sibirica* Du Tour по образованию шишек за 10-летний период на прививочной гибридно-семенной плантации

Р. Н. Матвеева[1], О. Ф. Буторова[2], Н. П. Братилова[3], Ю. Е. Щерба[4], В. В. Комарницкий[5]

Приведены данные по образованию шишек на привитых деревьях кедра сибирского за 10-летний период на гибридно-семенной плантации, расположенной на территории Караульного лесничества Учебно-опытного лесхоза СибГУ. Черенки кедра сибирского для прививок нарезаны с 21-22-летних (маточных) экземпляров, произрастающих в географических посадках на территории дендрария СибГУ, выращенных из семян популяций, отличающихся местом произрастания. Черенки были привиты на подвой сосны обыкновенной в 1982 году. Цель исследований – проанализировать урожайность клонового потомства на привитых деревьях кедра сибирского с использованием привоя разного географического происхождения за 10-летний период (2007-2016). Установлена изменчивость количества шишек в зависимости от географического происхождения и клоновой принадлежности деревьев. Наибольшее количество шишек зафиксировано на деревьях кемеровского и свердловского происхождений в сравнении с алтайскими, бирюсинскими и тюменскими. Обильное семеношение зафиксировано в 2009, 2013 и 2016 годах. На побеге (в пучке) формировалось по 1-5 шишек. Деревьев с шишками, в зависимости от географического происхождения привоя, в отдельные годы было от 58 до 100%. Клоны и отдельные раметы отселектированы по количеству шишек. Выделены раметы, которые ежегодно формировали шишки или имели короткий межурожайный период. Данные раметы и отселектированные маточные деревья рекомендуются для дальнейшего размножения прививкой с целью создания высокоурожайных лесосеменных плантаций.

Ключевые слова: *кедр сибирский; географическое происхождение; популяция; привой; подвой; клон; рамета; урожайность; 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: matweevarn@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] *Братилова Наталья Петровна* – доктор сельскохозяйственных наук, заведующий кафедрой селекции и озеленения, профессор. 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: nbratilova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2918-9690

[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

[5] *Комарницкий Виталий Витальевич* – 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)227-58-09. E-mail: komarnitskiy.vitaliy@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0387-382X

Введение. *Pinus sibirica* Du Tour является одним из главных лесообразующих древесных видов Сибири, отличающийся не только высокими лесоводственными показателями, но и пищевой ценностью кедровых «орешков». В них содержатся жиры, белки, углеводы, микроэлементы, аминокислоты и др. (Roush, 1971; Kuznetsova, 2003; Kubrina, 2004; Karpukhina, 2005; Matveeva et al., 2009; Lis & Rubchevskaya, 2010).

Изменчивость кедра сибирского проявляется по репродуктивному развитию, включая начало образования макро- и микростробилов, количество шишек и др. (Talantsev et al., 1978; Beh et al., 2009; Zemlyanoy et al., 2010; Matveeva et al., 2017). Iroshnikov (1974) выделил формы со сравнительно равномерным, неравномерным семеношением и формы, образующие наибольшее количество шишек в годы слабой урожайности насаждения.

Изменчивость показателей *Pinus sibirica*, включая географическую, индивидуальную и др., отражена в различных литературных источниках (Bryntsev et al., 2011; Bratilova et al., 2013; Matveeva et al., 2017). Размножать ценные формы и экземпляры рекомендуется прививкой (Tvelnev, 1975; Titov, 1977; Jayawickrama et al., 1991; Holden et al., 1995; Bilir et al., 2002; Lelu-Walter et al., 2008; Matveeva et al., 2016).

Известно, что кедр сибирский отличается сильно выраженной периодичностью семеношения. Обильные урожаи бывают через 7-10 лет. Поэтому *актуальным аспектом* является выявление и отбор деревьев, форм, не имеющих резко выраженную периодичность семеношения.

Объекты и методы исследований. *Объектом исследований* явились привитые деревья кедра сибирского на гибридно-семенной плантации, созданной с использованием черенков разного географического происхождения. *Предмет исследований* – урожайность кедра сибирского 33-42-летнего возраста в Учебно-опытном лесхозе СибГУ.

Целью исследований явилось проведение оценки урожайности клонов кедра сибирского разного географического происхождения за 10-летний период, выделение рамет, отличающихся наибольшим образованием шишек на дереве и «в пучке», ежегодным семеношением или коротким межурожайным периодом.

Черенки были нарезаны с 21-22-летних (маточных) экземпляров *Pinus sibirica*, произрастающих на территории дендрария СибГУ, выращенных из семян, собранных в популяциях, отличающихся местом произрастания (табл. 1).

Популяции, где были заготовлены семена, отличались по северной широте от 51°50 до 59°00, восточной долготе – от 61°00 до 92°30, высоте над уровнем моря – от 100 до 1000 м, классу бонитета – от II до IV.

В 1961-1962 гг. под руководством доцента кафедры лесных культур О. П. Олисовой проведены посевы семян, выращены сеянцы, которые были пересажены в геошколу на территории дендрария СибГУ. В 1982 г. после проведения селекционной оценки были отобраны экземпляры в каждом варианте для заготовки черенков и проведения прививок на гибридно-семенной плантации (ГСП) с использованием подроста сосны обыкновенной 6-8-летнего возраста. Прививка проведена способом «сердцевиной на камбий» по Prokazin (1960). Размещение привитых растений составило 5 × 5 м. Весь остальной подрост сосны обыкновенной и других древесных растений был удален.

В программу исследований входило сопоставление изменчивости 25-35-летних привитых деревьев кедра сибирского по образованию шишек за десятилетний период, количеству шишек на дереве и на побеге «в пучке» в зависимости от географического происхождения и клоновой принадлежности. Количество шишек определяли визуально с использованием бинокля. Обработку данных проводили статистически. Уровень изменчивости устанавливали по шкале Mamaev (1973).

Таблица 1

Географическое происхождение семян, использованных для выращивания маточных деревьев в дендрарии СибГУ

Географическое происхождение	Место произрастания насаждения				Класс бонитета
	край (область), лесхоз	с. ш.	в. д.	высота над уровнем моря, м	
Алтайское	Алтайский край, Каракокшинский лесхоз, урочище Курли	51°50	86°54	1000	III
Бирюсинское	Красноярский край, Учебно-опытный лесхоз СибГУ	56°00	92°30	300	III
Кемеровское	Кемеровская область, Мариинский лесхоз	56°00	87°54	500	III
Свердловское	Свердловская область, Верхотурский лесхоз	59°00	61°00	800	IV
Томское	Томская область, Томский лесхоз	56°30	84°48	100	II

Результаты и их обсуждение. Анализ количества урожайных лет и шишек за 10-летний период у кедра сибирского в зависимости от географического происхождения маточных деревьев показало, что наименьший межурожайный период был у привитых деревьев свердловского и кемеровского происхождений. У них же отмечалось и наибольшее количество шишек на дереве (табл. 2).

Таблица 2

Количество урожайных лет и шишек за 10-летний период у *Pinus sibirica* разного географического происхождения

Географическое происхождение привоя	Урожайных лет				Шишек на дереве, шт.			
	min	max	$X_{ср.}$	% к $X_{ср.}$ по опыту	min	max	$X_{ср.}$	% к $X_{ср.}$ по опыту
Алтайское	2	9	6,0	90,9	17	171	96,0	81,8
Бирюсинское	3	8	5,8	64,6	16	281	106,0	90,3
Кемеровское	6	10	7,6	115,2	54	256	150,0	127,8
Свердловское	3	10	7,8	118,2	37	265	158,3	134,8
Томское	3	8	5,7	86,4	16	165	76,6	65,2
Среднее значение			6,6	100,0			117,4	100,0

Установлено, что уровень изменчивости рамет по количеству урожайных лет за 10-летний период повышенный, по количеству шишек на дереве – очень высокий (табл. 3).

Отселектированы рameты, сформировавшие наибольшее количество шишек за исследуемый период (табл. 4). Отмечено, что рameты 14-8 (клона 15-2 кемеровского) и 6-13 (клона 21-4 свердловского) происхождений отличались ежегодным семеношением. Однако наибольшее количество шишек на дереве было как у рамет с ежегодным семеношением, так и имеющим межурожайный период в 3-5 лет (рамета 15-8, клона 18-2 алтайского и рамета 11-3 клона 21-1 свердловского) происхождений.

Следует отметить, что изменчивость по урожайности рамет проявляется также в зависимости от маточного дерева, с которого нарезали черенки, т.е. клона. Так, из испытанных шести клонов каждого происхождения наибольшие показатели были у клона 18-2 алтайского, 25-4 бирюсинского, 15-2 и 15-1 кемеровского, 21-1, 21-4, 21-5 свердловского и 11-6 – томского происхождений.

У выделенных экземпляров урожайность по годам отличалась значительно (табл. 5).

Таблица 3

Изменчивость рамет по образованию шишек

Показатель	min	max	$X_{ср.}$	±m	V, %	P, %	Уровень изменчивости
Количество урожайных лет	2	10	6,6	0,29	28,0	4,4	повышенный
Количество шишек на дереве, шт.	16	281	117,4	9,71	52,2	8,3	очень высокий

Таблица 4

Отселектированные рameты, образовавшие наибольшее количество шишек за 10-летний период

Географическое происхождение	Номер		Количество шишек			Количество урожайных лет за 10-летний период	
	клона	рameты	на дереве		на побеге, шт.		
			шт.	%		лет	% к $X_{ср.}$
1	2	3	4	5	6	7	8
Алтайское	18-2	15-8	171	145,6	1-5	5	75,8
Бирюсинское	25-4	2-13	281	239,4	2-4	8	121,2
Кемеровское	15-1	6-12	225	191,6	1-4	8	121,2
	15-2	14-8	244	207,8	1-3	10	151,5
	15-2	11-2	197	167,8	2-3	8	121,2
	15-2	8-11	171	145,6	1-4	9	136,4

Продолж. табл. 4

1	2	3	4	5	6	7	8
Свердловское	21-1	11-3	217	184,8	1-4	7	106,1
	21-1	14-9	170	144,8	1-3	8	121,2
	21-1	16-8	161	137,1	1-3	8	121,2
	21-4	6-13	265	225,7	1-4	10	151,5
	21-5	2-15	177	150,8	2-4	9	136,4
Томское	11-6	15-5	165	140,5	2-3	8	121,2
Среднее значение по опыту			117,4	100,0		6,6	100,0

Таблица 5

Образование шишек у отселектированных по урожайности рамет за 10-летний период, шт.

Географическое происхождение	Номер раметы	Год										Всего
		2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	
Алтайское (ур. Курли)	15-8	6	0	0	0	0	14	66	0	7	78	171
Бирюсинское	2-13	25	22	60	28	0	28	38	22	0	58	281
Кемеровское	6-12	27	28	48	0	0	24	51	12	8	27	225
	14-8	12	40	38	28	26	21	25	30	1	23	244
	11-2	0	27	27	20	24	4	18	35	0	42	197
	8-11	15	14	27	0	10	10	54	11	11	19	171
Свердловское	11-3	0	0	60	15	0	2	17	41	7	75	217
	14-9	0	10	22	34	0	24	35	20	18	7	170
	16-8	24	10	30	0	12	8	38	22	0	17	161
	6-13	22	40	30	45	15	3	41	18	17	34	265
	2-15	8	0	45	15	18	18	13	10	23	27	177
Томское	15-5	0	0	38	10	31	15	10	20	4	37	165
Среднее значение	19,8	23,9	38,6	23,1	19,4	15,5	33,8	21,9	10,7	37,0	203,7	

Сопоставляя количество шишек на привитых деревьях, установлено, что обильное семеношение приходится на 2009, 2013 и 2016 годы. Наименьшее образование шишек отмечено у деревьев в 2007 (19,8 шт.), 2011 (19,4 шт.), 2012 (15,5 шт.) и 2014 (10,7 шт.) годах. Однако выделяются раметы (2-13 и 14-9), которые и в неурожайный (2012 г.) после годичного перерыва образовали шишек на 80,6 и 54,8% больше среднего значения. Максимальное количество шишек (78 и 75 шт.) было в 2016 г. у рамет 15-8 алтайского и 11-3 свердловского происхождений, соответственно.

Отселектированы раметы многошишечной формы, имеющие «в пучке» максимально по 4-5 шишек (табл. 6). Высокоурожайные раметы в основном относятся и к многошишечным формам.

Таблица 6

Раметы, образующие «в пучке» по 4-5 шт. шишек

Географическое происхождение	Номер		Максимальное количество шишек «в пучке», шт.
	клона	раметы	
1	2	3	4
Алтайское	18-2	15-8	5
Бирюсинкое	25-4	2-13	4

Продолж. табл. 6

1	2	3	4
	15-1	6-12	4
Кемеровское	15-2	8-11	4
	15-3	9-3	4
	21-1	11-3	4
Свердловское	21-4	6-13	4
	21-5	2-15	4

Количество деревьев, образовавших шишки, варьировало в отдельные годы от 58 до 100% (рис.).

Все раметы, независимо от географического происхождения привоя, образовали шишки в 2013 и 2016 годах.

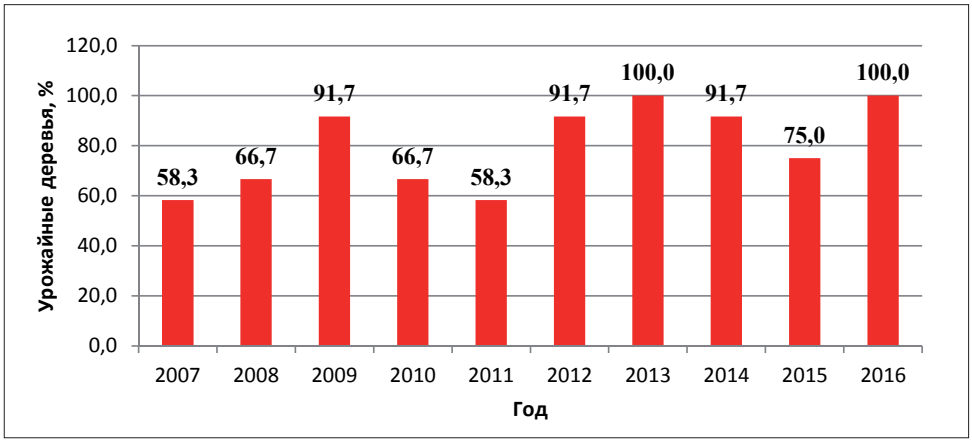


Рис. Относительное количество семеносящих деревьев по годам

Выводы. Исследования подтвердили большую изменчивость урожайности привитых деревьев *Pinus sibirica* в зависимости от года семеношения, географического происхождения привоя и генотипа маточных деревьев. Выявлено, что количество шишек на дереве варьировало в разные годы от 16 до 281 шт. Имеются раметы с ежегодным семеношением и коротким (3-5 лет) межурожайным периодом. Отселектированы восемь лучших клонов, маточные деревья которых произрастают в географической школе дендрария СибГУ: 18-2 алтайского, 25-4 бирюсинского, 15-1 и 15-2 кемеровского, 21-1, 21-4 и 21-5 свердловского и 11-6 томского происхождений, а такжеи 12 рамет на гибридно-семенной плантации, которые рекомендуются для размножения прививкой с целью выращивания посадочного материала для создания высокоурожайных плантаций.

References

Beh, I.A., Krivets, S.A. & Bisirova, E.M. (2009). *Cedar Pearl of Siberia*. Tomsk: Printing Manufactory (in Russian).

Bilir, N., Kang, K.S., & Ozturk, H. (2002). Fertility variation and gene diversity in clonal seed orchards of *Pinus brutia, Pinus nigra* and *Pinus sylvestris* in Turkey. *Silvae genetica, 51* (2-3), 112-115. Retrieved from https://www.thuenen.de/media/institute/fg/PDF/Silvae_Genetica/2002/Vol._51_Heft_2-3/51_2-3_112.pdf

Bratilova, N.P., Matveeva, R.N., Oreshenko S.A. & Pastukhova A.M. (2013). *Variability and selection of 42-45-year-old Cedar Siberian pine trees of different geographical origin (Krasnoyarsk Green Area).* Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology (in Russian).

Bryntsev, V.A. & Khramova, M.I. (2011). Individual and familial variability of Cedar Siberian pine seedlings grown from seeds of an introduced population. *Forestry Bulletin*, *5* (81), 4-11. Retrieved from https://elibrary.ru/download/elibrary_16925537_74058205.pdf (in Russian)

Holden, D.G., Klomp, B.K., Hong, S.O. & Menzies, M.I. (1995). Growth and predicted timber value of *Pinus radiata* cuttings and seedlings on a fertile site. *J. Forest. Sci*., *25* (3), 283-300. Retrieved from https://www.scionresearch.com/__data/assets/pdf_file/0010/59590/NZJFS2531995HOLDEN283-300.pdf.

Iroshnikov, A.I. (1974). Polymorphism of Siberian cedar populations. In *Variability of woody plants in Siberia* (pp. 77-103). Krasnoyarsk: Institute of Forest SB RAS (in Russian).

Jayawickrama, K.J.S., Jett J.B., & Mckeandz S.E. (1991). Rootstock effects in grafted conifers: A review *New firests, 5*, 157-173. https://doi.org/10.1007/BF00029306

Karpukhina, I.V. (2005). Geographical variability of the content of essential and non-essential amino acids in Siberian cedar seeds. In *Gardening, seed growing, introduction of woody plants* (pp. 41-44). Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology (in Russian)

Khokhrin, A.V. (1957). Experience of cedar grafting in the Urals. *Forestry*, *3*, 70-71 (in Russian).

Kubrina, S.M. (2004). Geographical variability of the content of trace elements in the core of Siberian pine nuts. In *Ecology of southern Siberia and adjacent territories, vol. 1* (pp. 22-23). Abakan: Khakass state University (in Russian).

Kuznetsova, G.V. (2003). Seed production and quality of seeds of Siberian cedar clones of different origin on a plantation in the Krasnoyarsk forest-steppe. *Forest science*, *6,* 42-48. (in Russian).

Lelu-Walter, M-A., Bernier-Cardou, M., & Klimaszewska, K. (2008). Clonal plant production from self-and cross-pollinated seed families of *Pinus sylvestris* through somatic embryogenesis *Plant Cell Tiss Organ Cult*, *92*, 31-45. https://doi.org/10.1007 / s11240-007-9300-x.

Lis, E.V. & Rubchevskaya, L.P. (2010). The chemical composition of the Siberian pine seeds. *Bulletin of Krasnoyarsk State University*, *6*, 167-169. Retrieved from https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15211613_24497506.pdf (in Russian).

Mamaev, S.A. (1973). *Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the Pinaceae family in the Urals).* Moscow: Science (in Russian).

Matveeva, R.N., Pastukhova A.M., & Karpukhina I.V. (2009). *Variability of Siberian cedar pine in seed production, content of free amino acids and fats in seeds in geographical plantation cultures of the green zone of Krasnoyarsk*. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology (in Russian).

Matveeva, R.N., Butorova, O.F., & Scherba, Yu. E. (2016). *Seed and vegetative propagation of selected Cedar Siberian pine trees*. Krasnoyarsk: Siberian State University of Science and Technology (in Russian).

Matveeva R.N., Bratilova N.P., & Butorova O.F. (2017). *Growth and reproductive development of Cedar Siberian pine of different geographical origin with thickened row planting (Krasnoyarsk Green Area)*. Krasnoyarsk: Reshetnev Siberian State University of Science and Technology (in Russian).

Prokazin, E.P. (1960). A new method of grafting coniferous trees to create seed plots. *Forestry, 5*, 22-28 (in Russian).

Roush, V.A. (1971). New in the study of the chemical composition of cedar nuts. In *Use and reproduction of cedar forests* (pp. 240-244). Novosibirsk: Science (in Russian).

Talantsev, N.K., Pryazhnikov, A.N. & Mishukov, N.P. (1978). *Cedar forests*. Moscow: Forest industry (in Russian).

Tvelenev, M.V. (1975). Propagation by grafting of economically valuable Siberian cedar trees. In *Genetics, selection, seed production and introduction of forest breeds* (pp. 76-82). Moscow: Science (in Russian).

Titov, E.V. (1977). Geographical vaccinations as breeding technique of Cedar pines. *Genetics, selection, seed production and introduction of forest species, 4*, 49-52 (in Russian).

Zemlyanoy, A.I., Ilyichev Y.N., & Tarakanov V.V. (2010). Interclonal variability of Siberian cedar in terms of seed productivity elements, selection prospects. *Coniferous of the boreal area*, *27* (1-2), 77-82. Retrieved from: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_15645492_79387948.pdf (in Russian).

Мінливість *Pinus sibirica* Du Tour за утворенням шишок за 10-річний період на щепленій гібридно-насінній плантації

Р.Н. Матвєєва[1], О.Ф. Буторова[2], Н.П. Братілова[3], Ю.Є. Щерба[4], В.В. Комарницький[5]

Pinus sibirica Du Tour є одним із головних лісотвірних деревних видів Сибіру, відзначаючись не лише високими лісівничими характеристиками, але

[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: matweevarn@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] *Братілова Наталя Петрівна* – доктор сільськогосподарських наук, завідувач кафедри селекції та озеленення, професор. 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: nbratilova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2918-9690

[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

[5] *Комарницький Віталій Віталійович* – аспирант 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: komarnitskiy.vitaliy@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0387-382X

й харчовою цінністю кедрових «горішків». Метою досліджень є проведення оцінки врожайності клонів кедра сибірського різного географічного походження за 10-річний період, виділення рамет, які відрізняються найінтенсивнішим утворенням шишок на дереві і «в пучку», щорічним або коротким міжурожайним періодом. Об'єктом досліджень були щеплені дерева *Pinus sibirica* на гібридно-насінній плантації, створеної з використанням живців різного географічного походження. Живці отримані з 21-22-річних (маточних) особин кедра сибірського, які ростуть на території дендрарію СибДУ, вирощених з насіння, зібраних у популяціях, що відрізняються місцем зростання. У 1961-1962 рр. під керівництвом доцента кафедри лісових культур О. П. Олисової здійснені посіви насіння, вирощені сіянці, які потім пересаджені в геошкілку на території дендрарію СибДУ. У 1982 р. після проведення селекційної оцінки були відібрані екземпляри в кожному варіанті для заготівлі живців та проведення щеплень на гібридно-насінній плантації (ГНП) з використанням підщеп сосни звичайної 6-8-річного віку. Щеплення здійснені способом «серцевиною на камбій» за Є. П. Проказиним (1960). Розташування щеплених рослин склало 5 × 5 м. Весь інший підріст сосни звичайної та інших деревних рослин було видалено.

Проаналізовано мінливість 26-36-річних прищеп *Pinus sibirica* за утворенням шишок впродовж 10-річного періоду, кількістю шишок на дереві і на пагоні «в пучку» залежно від географічного походження і клонової приналежності. Кількість шишок визначали візуально з використанням бінокля. Встановлено, що кількість урожайних років і шишок за 10-річний період у кедра сибірського залежить від географічного походження маточних дерев. Найменший міжурожайний період виявлено у дерев свердловського і кемеровського походжень. У них же встановлено і найбільшу кількість шишок на дереві. З'ясовано, що рівень мінливості рамет за кількістю врожайних років за 10-річний період є середнім (28,0%), тоді як за кількістю шишок на дереві – дуже високий (52,2%). Кількість дерев, що утворили шишки, змінюється в окремі роки від 58,3 до 100,0%. Потрібно зазначити, що мінливість за врожайністю рамет проявляється також залежно від маточного дерева, з якого нарізали живці, тобто клону. Зіставляючи кількість шишок на щеплених деревах, встановлено, що рясне насіннєношення припало на 2009, 2013 і 2016 роки. Найслабше утворення шишок відзначено у дерев в 2014 році. Максимальну кількість шишок (78 і 75 шт.) виявлено у 2016 р. у рамет 15-8 алтайського і 11-3 свердловського походжень, відповідно. В процесі експерименту відселектовано рамети, які сформували найбільшу кількість шишок за досліджуваний період і які формують насіння щорічно або з мінімальним міжурожайним періодом. Виділено рамети багатошишкової форми, які формують на пагоні «в пучку» 4-5 шишок.

Ключові слова: кедр сибірський; географічне походження; популяція; підщепа; прищепа; клон; рамета; урожайність; Сибір.

Variability of *Pinus sibirica* Du Tour in the cones formation on a grafting hybrid-seed plantation over a 10-year period

R. Matveeva[1], O. Butorova[2], N. Bratilova[3], Y. Scherba[5], V. Komarnitsky[5]

Pinus sibirica Du Tour is one of the main forest-forming tree species of Siberia. It is distinguished not only by its high forestry characteristics, but also by the nutritional qualities of pine nuts. The aim of the study was to assess the productivity of clones of Siberian pine of different geographical origin over a 10-year period, the allocation of ramets, characterized by the greatest formation of cones on a tree and in a bunch, with an annual or short inter-crop period. The study object was the grafted trees of *Pinus sibirica* on a hybrid seed plantation created using cuttings of different geographical origin. The cuttings were cut from 21-22-year-old (mother) specimens of Siberian cedar, growing in the arboretum of the Siberian State University, grown from seeds collected in populations that differ in the place of growth. Sowing of seeds was conducted in the years 1961-1962 under the guidance of O. P. Olisova, Associate Professor, the Forest Cultures Department. The seedlings were grown and then transplanted to the geological school in the arboretum of

[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: matweevarn@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] *Natalia Bratilova* – Doctor of Agricultural Sciences, Head of the Department of breeding and planting, Professor. Reshetnev Siberian State University of Science and Technology, Krasnoyarsk, Russian Federation. Tel.: (391)227-58-09. E-mail: nbratilova@yandex.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2918-9690

[4] *Yulia Scherba* – Candidate of Agricultural Sciences, Docent 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

[5] *Vitaliy Komarnitsky* – Graduate student 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: komarnitskiy.vitaliy@mail.ru ORCID: https://orcid.org/0000-0003-0387-382X

the Siberian State University. In 1982, after a selection assessment, specimens were selected in each variant for harvesting cuttings and vaccinations on a hybrid-seed plantation (HSP) using 6–8 years old ordinary pine as stock. The vaccination was carried out by the method of «core to the cambium» according to E. P. Prokazin (1960). The placement of grafted plants was 5 × 5 m. The rest of the Scots pine undergrowth and other tree species was removed. We analyzed the variability of a 26-36-year-old scion of Siberian cedar according to the cones formation over a 10-year period, the number of cones on a tree and on a shoot «in a bundle» depending on geographical origin and clone affiliation. The number of cones was determined visually using binoculars. It has been established that the number of harvesting years and cones over a 10-year period in *Pinus sibirica* depends on the geographical origin of the mother trees. The shortest harvesting period had the trees of Sverdlovsk and Kemerovo origin. They also had the largest number of cones on the tree. It was established that the level of variability of ramets in terms of the number of harvesting years over a 10-year period was average (28.0%), and it was very high in the number of cones on a tree (52.2%). The number of trees that formed cones varied in some years from 58.3 to 100%. It should be noted that the variability in ramets yield is also manifested depending on the mother tree from which the cuttings were cut, i.e. a clone. Comparing the number of cones on grafted trees, it was found that abundant seed production occurred in 2009, 2013 and 2016. The smallest cone formation was observed in trees in 2014. The maximum number of cones (78 and 75 pcs.) was recorded in 2016 at the ramets of 15-8 Altai and 11-3 Sverdlovsk origin, respectively. The ramets that formed the largest number of cones during the study period and seed-bearing annually or with a minimum inter-crop period were selected. Multi-cone shaped ramets with 4-5 cones on the shoot «in a bundle» were identified.

Key words: Siberian cedar; geographical origin; population; graft; rootstock; clone; rameta; productivity; Siberia.

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412008
Article received 2020.01.12
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Shparyk
yurii.shparyk@pnu.edu.ua
Halytska str., 201, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine

*УДК 630*187 : 631.524.85*

Тенденції динаміки типів лісорослинних умов і породного складу деревостанів Українських Карпат у зв'язку зі змінами клімату

Ю. С. Шпарик[1], Г. Т. Криницький[2], Ю. М. Дебринюк[3]

Глобальні зміни клімату вже зараз суттєво змінили умови ведення лісового господарства в Українських Карпатах. Зокрема внаслідок масового всихання ялини багато підприємств змушені переорієнтовувати свої лісівничі заходи на вирощування товарної деревини інших порід. Виявлено два основних напрями кліматогенних змін у лісах регіону: зміна едафотопів лісових ділянок у напрямі покращення їхньої родючості з одночасним зменшенням вологості, зміна конкурентоздатності різних деревних видів, зміна породного складу лісів. Найбільші зміни відбуваються в ялинових лісах, де місце ялини, що всихає, природним шляхом займають ялиця і бук, однак під час створення лісових культур вибір головної породи може бути й іншим. Тому актуальним є виявлення закономірностей цих змін для правильного вибору головних порід за типами лісу і висотними рослинними смугами. Тенденції динаміки лісорослинних умов і породного складу лісів регіону були ідентифіковані за відомчими даними метеостанцій та лісовпорядкування.

Встановлено, що кліматогенні зміни лісів Українських Карпат відбуваються у таких напрямах: а) дубово-букові ліси трансформуються в буково-дубові зі зміною гігротопу зі «свіжого» на «сухий»; б) буково-ялицеві ліси – в ялицево-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; в) грабово-букові ліси – в грабово-дубово-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; г) смереково-буково-ялицеві ліси – в смереково-ялицево-букові або ялицево-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; д) буково-ялицево-смерекові ліси – в смереково-ялицево-букові або ялицево-букові зі зміною гігротопу з «сирого» і «вологого» на «свіжий»; е) цільнодернинні луки та полонини інтенсивно заростають смерековими, ялівцевими та душекієвими угрупованнями.

Констатується нагальна потреба в лісотипологічному картуванні лісогосподарських підприємств Карпатського регіону під час проведення їх повторного лісовпорядкування.

Ключові слова: *кліматогенні зміни лісів; сума активних температур; кількість опадів; лісовпорядкування; висотні пояси рослинності; тип лісу; тип деревостану.*

[1] *Шпарик Юрій Степанович* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісознавства. Прикарпатський національний університет імені Василя Стефаника, вул. Галицька, 201, м. Івано-Франківськ, 76008, Україна. Тел.: +38-0342-596163, +38-050-188-02-61. E-mail: yurii.shparyk@pnu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8047-6356

[2] *Криницький Григорій Томкович* – 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

[3] *Дебринюк Юрій Михайлович* – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0994-349X

Вступ. Суттєві кліматичні зміни останніх десятиріч відзначаються вченими різних наукових напрямів і в їхніх висновках переважно йдеться про потепління та зменшення кількості опадів (Jump, Hunt, & Peñuelas, 2006; Cannone, 2007; Kobiv, 2009; Didukh, Chorney, & Budzhak, 2016; Shukla et al., 2019). Заклопотаність світової громадськості проблемою зміни клімату відобразилася в ухваленій у 1992 р. рамковій Конвенції ООН про зміну клімату, а в 1997 р. – у Кіотському протоколі. У 1988 р. засновано Міжурядову групу експертів зі зміни клімату (IPCC), яка наразі є найавторитетнішою організацією щодо вивчення змін клімату в регіональному і глобальному масштабах, оцінювання наслідків цих змін та перспектив адаптації до них. У звіті IPCC за 2019 р. відзначено два періоди росту середньорічних значень температури повітря: з 1920 до 1940 р. – на 0,5°С та з 1980 до 2018 р. – більш ніж на 1,5°С із збереженням тенденції до збільшення (рис. 1). У цьому контексті важливим для ведення лісового господарства є висновок, що разом із температурою повітря збільшується і температура поверхні ґрунту (в період 1980-2018 рр. – також на 1,0°С). За експертними прогнозами глобальне потепління триватиме навіть у разі зменшення викидів парникових газів в атмосферу (у звіті ілюстровано, що ці викиди зростають) за рахунок інерції кліматичної системи (Shukla et al., 2019).

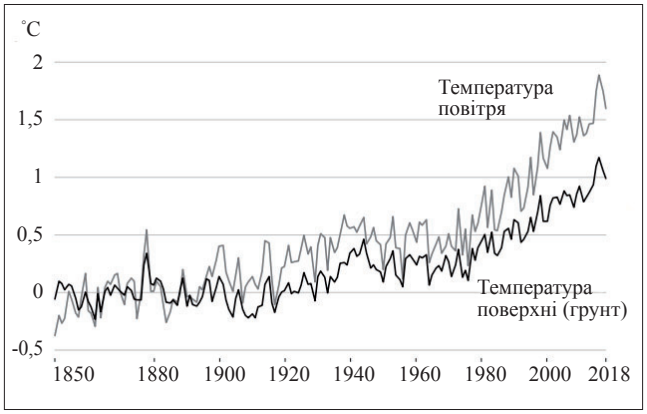


Рис. 1. Динаміка перевищення середньої багаторічної температури Землі (Shukla et al., 2019)

Зміни температури повітря і ґрунту впливають і на ведення лісового господарства, оскільки саме температурний режим і наявність доступної вологи зумовлюють не лише інтенсивність росту дерев, але й можуть стати причиною зникнення окремих деревних видів і появи більш життєздатних у змінених лісорослинних умовах. Масове всихання ялинників Карпат і є класичним наслідком цих кліматичних змін. Дослідники пояснюють цю регіональну природну катастрофу кліматичною зміною типів лісорослинних умов, насамперед – умов зволоження, які знизили життєздатність *Picea abies* [L.] Karst. порівняно з іншими деревними видами (Debryniuk, 2011; Shparyk, 2013; Kramarets, 2018). В цьому випадку вже йдеться про зміну меж лісорослинних районів, і, відповідно, про зміни у складі рослинних субформацій і формацій.

Вплив кліматичних змін на зміну лісорослинних умов має два основних аспекти: а) глобальне потепління змінює едатопи лісових ділянок у напрямі покращення їхньої родючості (за рахунок інтенсифікації кругообігу речовин за підвищеного температурного режиму) з одночасним зменшенням вологості (за рахунок зменшення кількості опадів і підвищення температури повітря); б) зміна клімату впливає на конкурентоздатність різних деревних видів неоднаково, що може призвести до зміни видового складу корінного деревостану, а також і до зміни типу лісу. Отже, впродовж двох останніх десятиріч у Карпатах спостережено зміну типів лісорослинних умов, яка впливає на видовий склад лісів, їхню продуктивність і біотичну стійкість. У зв'язку з цим, виникає потреба у з'ясуванні меж діючого лісорослинного районування Українських Карпат, в уточненні складу рослинних формацій, що особливо актуально в контексті майбутнього повторного лісовпорядкування лісового фонду лісогосподарських підприємств регіону (Golubets, 2003; Jump et al., 2006; Kobiv, 2009; Didukh et al., 2016; Shparyk & Viter, 2016).

Об'єкти та методика досліджень. Уточнення меж лісорослинних районів у Карпатському регіоні у зв'язку з кліматичними змінами передбачає аналіз і синтез значної кількості інформації щодо поширення лісової рослинності, її видового складу, стійкості у змінених кліматичних умовах, тобто прийняття до уваги всієї сукупності компонентів природних екосистем, тісно взаємопов'язаних між собою (Vorob'ev, 1967; Ivanenko, 1977; Golubets, 1978, 2003; Gerushyns'kyj, 1996; Stoyko, 2003; Debryniuk, 2003; Shparyk & Viter, 2012). Зрозуміло, що у форматі статті викласти такий значний обсяг інформації неможливо, тому ми обмежились акцентуванням уваги на впливі кліматичних змін на лісорослинні райони, в межах яких формуються ті чи інші субформації деревної рослинності, а також основні (базові) типи лісу. Зокрема, звернута увага на такі напрями змін: зміну кліматопів, які спричинюють зміну едафотопів; зміну породного складу і структури лісостанів.

Об'єкт досліджень – кліматопи і напрями зміни лісорослинних умов Українських Карпат в контексті кліматичних змін. *Предмет дослідження* – зміни породного складу і структури лісів. *Мета досліджень* полягає у встановленні напрямів зміни лісорослинних умов та в уточненні складу деревостанів Українських Карпат за висотними рослинними смугами (вегетаційними ступенями).

Кліматопи визначали за методикою Vorob'ev (1967), а інтенсивність їх зміни та суму активних температур за останнє десятиріччя – за даними погодного сайту rp5.ua. Для цього порівнювали кліматичні показники за весь доступний період спостережень і за останні десять років. Зміни у породному складі і структурі лісів вивчали за даними лісовпорядкування (з реляційної бази даних), а та-

кож за результатами наукових досліджень (Kobiv, 2009; Shparyk, Viter, 2016; Shparyk, Berkela, Viter, & Losiuk, 2018; Kramarets, Matsyak, 2018).

Результати та обговорення. Лісові фітоценози у своєму розвитку перебувають у тісній залежності від стану кліматопу. В класичному розумінні кліматоп – це кліматичні межі, в яких формуються певні лісорослинні умови. Вони визначаються наступними річними показниками клімату: сумою середньомісячних температур вищими 0°С (T), кількістю опадів за місяці з середньомісячною температурою вищою 0°С (W), континентальністю клімату (A) як різницею найбільшої і найменшої середньомісячних температур (Vorob'ev, 1967). Ці показники і відповідні їхні величини були опрацьовані для типів лісу рівнинної частини України, однак для ідентифікації кліматопів у гірських умовах вони не підходять (Shparyk & Viter, 2016).

Порівняння кліматопів за середніми багаторічними даними та за останні (2010-2019) роки здійснено на основі багаторічних кліматичних даних метеостанцій регіону Українських Карпат (табл. 1). Отримані результати свідчать, що різноманітність кліматопів в гірських лісах дуже значна – від 2f (Чернівці – за останні 10 років) до 13b (Пожижевська – багаторічні дані). При цьому, клімати гігротопів змінюються від 2 (свіжі) до 13 (немає відповідної назви в класифікації рівнинних типів лісу), а клімати трофотопів – від b (помірно холодні, субори) до g (немає відповідної назви в класифікації рівнинних типів лісу). Найбільш поширеним регіональним багаторічним кліматопом є 5d (мокрі теплі типи лісу), а за останні 10 років – 4e (сирі дуже теплі типи лісу).

Зміни кліматопів за останні десять років мають місце за даними всіх метеостанцій Українських Карпат. Відповідно до змін клімату, кліматопи стали теплішими, але менш вологими. За даними більшості метеостанцій, за останні десять років кліматоп змінився на один клас як за вологістю, так і теплотою клімату. Однак, за аналізом даних низки метеостанцій зміна гігротопу відбулась на два класи. Переважно це метеостанції на межі регіону (Івано-Франківськ, Львів, Чернівці), або високо в горах (Міжгір'я, Пожижевська, Селятин, Турка), що дає підстави зробити висновок про суттєвіше зменшення кількості опадів саме в цих районах.

Таблиця 1

Кліматопи за даними метеостанцій Українських Карпат

Метеостанції	Клімати трофотопів		Клімати гігротопів		Кліматоп	
	за багаторічними даними	2010-2019 роки	за багаторічними даними	2010-2019 роки	за багаторічними даними	2010-2019 роки
Великий Березний	d	e	5	4	5d	4e
Долина	d	e	7	6	7d	6e
Дрогобич	e	e	5	4	5e	4e
Івано-Франківськ	d	e	5	3	5d	3e
Коломия	d	e	5	4	5d	4e
Львів	d	e	5	3	5d	3e
Міжгір'я	d	e	9	7	9d	7e
Пожижевська	b	c	13	11	13b	11c
Рахів	d	e	8	7	8d	7e
Селятин	c	d	8	6	8c	6d
Славське	c	d	8	7	8c	7d
Турка	d	e	8	6	8d	6e
Ужгород	f	f	4	3	4f	3g
Чернівці	e	f	4	2	4e	2f
Яремча	d	e	8	7	8d	7e

Встановлені за розрахованими кліматопами тенденції зміни лісорослинних умов в Українських Карпатах за останні роки проходять в двох основних напрямах: а) найбільше підвищення середньомісячних температур повітря спостережено в осінній, зимовий та весняний періоди, а його наслідки мають декілька аспектів: збільшується тривалість вегетаційного періоду, що сприяє підвищенню продуктивності лісів; пришвидшується кругообіг речовин завдяки більшій активності педофауни та більшому обсягу відпаду – покращується трофотоп; триваліший період з плюсовими температурами збільшує об'єм випаровування – зростає сухість гігротопу (погіршуються умови зволоження); зменшення показників від'ємних температур взимку зменшує континентальність клімату; б) зменшення кількості опадів хоча і зафіксовано переважно в зимові місяці, але розширення періоду з середньомісячною температурою вище 0°С суттєвіше змінило регіональні гігротопи, ніж трофотопи, тобто по-

гіршення гідрологічного режиму території наразі є найбільш дієвим чинником впливу глобальної зміни клімату на ліси Карпатського регіону.

Кліматичними показниками, які власне визначають конкурентноздатність лісотвірних порід, є тривалість вегетаційного періоду та сума активних температур. Аналіз літературних даних (Andrianov, 1968; Lipins'kuj, Dyachuk, & Babichenko, 2003; Barabash, Grebenyuk, & Tatarchuk, 2007) дав змогу встановити багаторічні значення цих показників для лісорослинних районів Українських Карпат: у рівнинних дубових лісах Придністер'я вегетаційний період триває 165 днів, а сума активних температур – 2500°С (метеостанція м. Івано-Франківськ); в дубово-буково-ялицевих лісах Прикарпаття ці значення становлять, відповідно, 140 днів та 1800°С (метеостанція м. Долина); в буково-ялицево-смерекових гірських лісах – 120 днів та 1200°С (метеостанція смт Славське); в смерекових високогірних лісах – 90 днів та 700°С (метеостанція смт Ворохта); в букових гірських лісах Закарпаття – 130 днів та 1500°С (метеостанція м. Свалява); в передгірських дубово-букових лісах Закарпаття – 160 днів та 2200°С (метеостанція м. Хуст); у рівнинних дубових лісах Закарпаття – 180 днів та 3000°С (метеостанція м. Ужгород).

Розрахунки середньої за останні десять років суми активних температур для територій, де розміщені перелічені вище метеостанції регіону, вказують на їх помітні зміни, підвищення яких коливається від 250°С у Ворохті, до 600°С в Ужгороді (рис. 2). Тренд змін сум активних температур однозначний – відбулось їх зростання у всіх лісорослинних районах, але максимальних значень вони набувають у Закарпатті (метеостанції м. Хуста та м. Ужгорода) – там, де ці суми і так були найвищими. Відносне зростання сум активних температур (у %) має зворотну тенденцію: максимальне – у гірських умовах (Ворохта, 36%), мінімальне – у рівнинних (Івано-Франківськ, 16%).

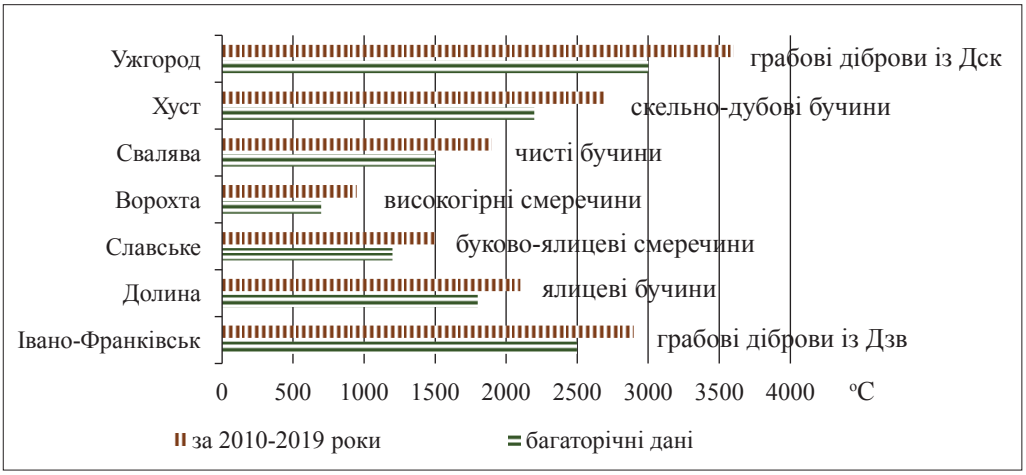
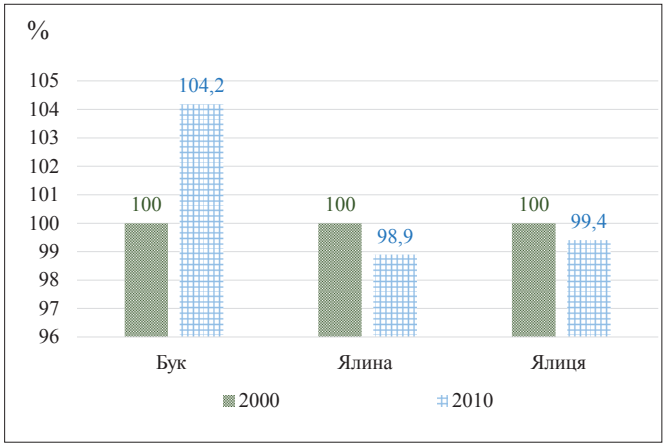


Рис. 2. Зміни суми активних температур на метеостанціях Українських Карпат

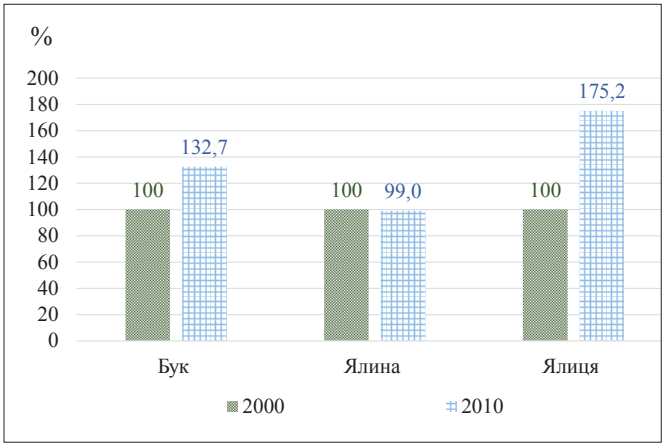
Діаграма зміни суми активних температур за метеостанціями регіону (див. рис. 2) наочно ілюструє кліматичну тенденцію останніх років до зміщення висотних поясів рослинності в Українських Карпатах: сума активних температур в поясі високогірних смеречин за останні роки поступово наближається до цього багаторічного показника для поясу буково-ялицевих смеречин; відповідно ця сума для буково-ялицевих смеречин вже досягла суми для чистих бучин і т.д. Тобто, зростання за останні роки суми активних температур дає беззаперечну підставу говорити про тенденцію до поступового піднятя (за висотою над рівнем моря) встановлених раніше (Gorshenin & Shevchenko, 1954; Molotkov, 1966; Golubets, 1978; Gerushyns'kyj, 1996) висотних поясів рослинних формацій (висотних рослинних смуг), а відповідно, і типів лісу.

Представлені вище кліматичні розрахунки підтверджуються змінами в матеріалах лісовпорядкування за різні роки. Наприклад, у гірських лісгоспах чотирьох областей регіону, які розташовані в смузі мішаних буково-ялицево-смерекових типів лісу, з 2000 до 2010 рр. намітились чіткі тенденції щодо зміни площ головних лісотвірних порід – зменшується площа смеречин і, відповідно, збільшуються площі яличин, меншою мірою – бучин. Звичайно, ці зміни мають свою специфіку залежно від розташування підприємства. Так, у районі буково-ялицевих лісів (ДП «Берегометське ЛМГ») спостережено збільшення площі бучин за рахунок зменшення площ смеречин та яличин; в районі буково-ялицево-смерекових лісів (ДП «Міжгірське ЛГ») має місце збільшення площ як бучин, так і яличин за рахунок зменшення площі смеречин; у районі ялицево-смерекових лісів (ДП «Ворохтянське ЛГ») і в районі смереково-буково-ялицевих лісів (ДП «Славське ЛГ») також зафіксовано збільшення площі бучин і яличин за рахунок зменшення площі смеречин (рис. 3).

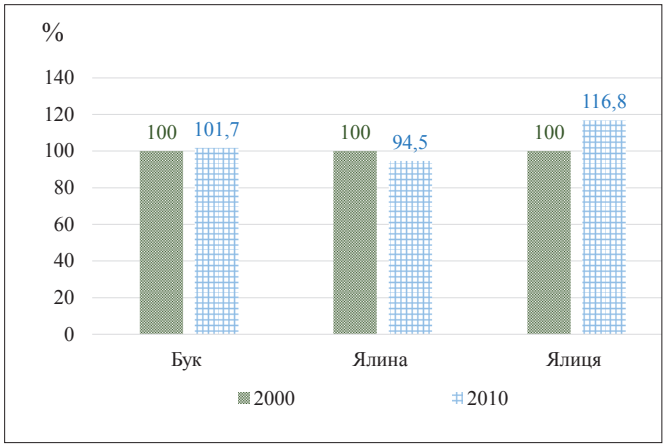
Ці тенденції змін дають підставу зробити висновок, що після повторного (у 2020-му році і пізніше) лісовпорядкування лісового фонду підприємств Карпатського регіону зміни площ головних порід в них будуть ще суттєвішими.



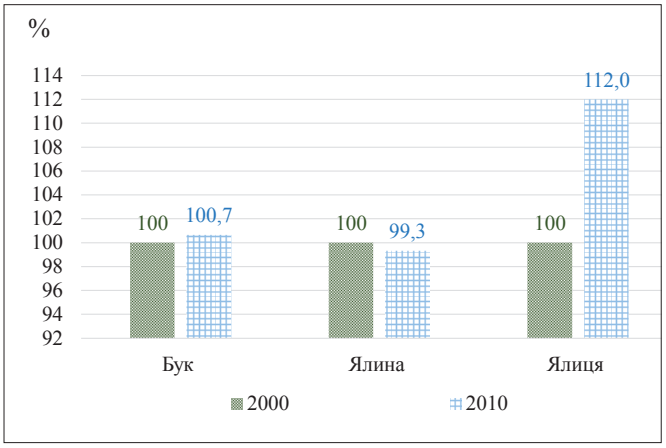
а) ДП «Берегометське ЛМГ»;



б) ДП «Ворохтянське ЛГ»;



в) ДП «Міжгірське ЛГ»;



г) ДП «Славське ЛГ»;

Рис. 3. Зміни (у %) площ основних лісотвірних порід в гірських лісгоспах Українських Карпат

Важливим, а можливо і основним аспектом лісорослинного районування гірських лісів є правильна ідентифікація розташування різних за складом деревостанів за висотою над рівнем моря. Відомо, що більшість лісів Європи (окрім Скандинавії та РФ) розташовані в гірських умовах, оскільки на рівнинних землях переважно вирощують сільськогосподарську продукцію, розташовують населені пункти та промислові підприємства. Однак, в Європейській класифікації типів лісу (76 типів згруповані в 14 категорій) хоча і присутні різні типи гірських лісів, але чітка їхня прив'язка до висоти над рівнем моря відсутня (EEA, 2007). Однак класифікації типів лісу сусідніх з Україною держав у переважній більшості розроблені саме за висотними поясами (Stoyko, 2003; Shparyk & Viter, 2012; Tretyak & Chernevyy, 2015).

Так, в Австрії виділяють вісім висотних поясів: до 300 м над рівнем моря – дубові ліси передгір'я Альп і низовин; 300-700 м – грабово-дубові та дубово-букові ліси горбистих височин і долин в горах; 700-900 м – ялицево-смереково-букові ліси низьких гір; 900-1200 м – буково-ялицево-смерекові ліси середньовисоких гір; 1200-1400 м – ялицево-смерекові ліси високих гір; 1400-1800 м – смерекові ліси низького субальпійського поясу; 1800-2200 м – модринові і соснові ліси субальпійського поясу; вище 2200 м – чагарники альпійського поясу (Weinfürter, 2013). У Польщі виділено чотири висотні пояси: ŁG – долинний гірський з буковими дібровами; Wyż – височинний з чистими та мішаними бучинами; G – нижній гірський з мішаними смерічниками; WG – високогірний з чистими смерічниками (Murat, 1998).

У Румунії виділяють п'ять лісових зон, з яких тільки три – гірські: полезахисні лісосмуги з тополі та білої акації степового і лісостепового районів; заплавні ліси з білої тополі, верби білої і ламкої та чорної вільхи; дубові ліси невисоких пагорбів і на схилах передгір'їв (від 200 до 700 м); букові ліси низьких гір (від 400 до 1000 м); хвойні ліси високих гір (від 800 до 1800 м). Як для такої значної кількості лісорослинних зон, загальна кількість типів лісу (69) порівняно невелика (Donita et al., 2008).

Найближчою для Українських Карпат є класифікація висотних поясів Словацької та Чеської республік, яку розробив Alois Zlatnik (1978), зокрема, і на прикладі лісів Закарпаття. Ця класифікація складається з дев'яти вегетаційних ступенів (поясів) за висотою над рівнем моря: дубовий – до 300 м; буково-дубовий – від 200 до 400 м; дубово-буковий – від 300 до 500 м; буковий – від

400 до 800 м; ялицево-буковий – від 500 до 900 м; ялиново-буковий – від 800 до 1200 м; буково-ялиновий – від 1000 до 1300 м; ялиновий – від 1100 до 1500 м; гірсько-сосновий – від 1400 до 1800 м (Zlatnik, 1978; Ambros, 1991).

Скориставшись методикою згаданих авторів, Stojko (2009) виділив висотні рослинні смуги (вегетаційні ступені) для південно-західного та північно-східного мегасхилів Карпат. Вони подібні до згаданої вище у класифікації Zlatnik (1978), але їхня кількість збільшена до десяти: дубових лісів з дуба звичайного – на висотах 100-200 м у Закарпатті і 300-350 м у Передкарпатті; ялицево-дубових лісів з дуба звичайного – від 350 до 450 м у Передкарпатті; дубових лісів з дуба скельного – від 200 до 300 м у Закарпатті; дубово-букових лісів з дуба скельного – від 300 до 400 м у Закарпатті і Буковині; букових лісів – від 400 до 1280 м у Закарпатті і від 450 до 800 м у Передкарпатті; ялицево-букових і буково-ялицевих лісів – від 700 до 1000 м у Закарпатті і від 500 до 900 м у Передкарпатті; смерекково-ялицево-букових лісів – від 900 до 1100 м у Закарпатті і від 800 до 1000 м у Передкарпатті; смерекових лісів – від 1100 до 1500 м у Закарпатті і від 1000 до 1600 м у Передкарпатті; лісів сосни гірської і душекії зеленої – від 1240 до 1860 м у Закарпатті і від 1400 до 1860 м у Передкарпатті; альпійських лук – від 1860 до 2061 м у Закарпатті і Передкарпатті (Stoyko, 2003). Детальну адаптацію цих поясів для Українських Карпат було здійснено в рамках міжнародного чесько-українського проекту (Holuša, 2010; Shparyk & Viter, 2012).

Викладені вище результати аналізу щодо зміщення меж лісорослинних зон Українських Карпат під впливом кліматичних змін упродовж останнього десятиріччя та встановлені тенденції зміни складу корінних деревостанів головних порід (Kirschbaum, 2004; Janda et al., 2014; FAO, 2016; Shparyk et al., 2018) дають підставу для внесення змін у висотне поширення рослинних субформацій регіону, а також поправок і доповнень в геоботанічне районування Golubets (2003). Останнє, порівняно з іншими видами районувань, є найдетальнішим і враховує особливості породного складу лісостанів не лише окремих поясів (висотних рослинних смуг за Stoyko [2003]), але й районів, що дуже важливо для доволі мозаїчного за типами лісу Карпатського регіону (рис. 4).

Отже, з урахуванням виявлених за результатами досліджень зумовлених кліматом змін у висотному поширенні основних лісотвірних порід, пропонується внести низку доповнень та уточнень у назви існуючих геоботанічних районів Українських Карпат (Golubets, 2003). Окрім того, доцільно визначити базовий тип лісу для цих геоботанічних районів з урахуванням динаміки їх кліматопів.

Отже, поправки та уточнення відповідно до результатів досліджень, полягають у такому: 1 – район буково-скельнодубових передгірських лісів Вулканічного хребта з базовим типом лісу «суха нагірна букова судіброва з дубом скельним», 2 – район буково-скельнодубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини з базовим типом лісу «свіжа нагірна букова судіброва з дубом скельним», 3 – район ялицево-букових Верхньодністерських лісів з базовим типом лісу «волога ялицева субучина», 4 – район ялицево-дубових і ялицево-букових передгірських лісів з підрайонами: 4а – ялицево-дубові Прикарпатські ліси з базовим типом лісу «свіжа ялицева судіброва», 4б – ялицево-букові Покутсько-Буковинські ліси з базовим типом лісу «свіжа ялицева субучина», 5 – район буково-дубових лісів Прут-Сіретського межиріччя з базовим типом лісу «свіжа букова судіброва», 6 – район ялицево-букових Верхньоужоцьких лісів з базовим типом лісу «волога ялицева субучина», 7 – район грабово-дубово-букових Дубриницько-Свалявських лісів з базовим типом лісу «волога грабово-дубова субучина», 8 – район букових лісів Полонинського хребта з базовим типом лісу «волога чиста бучина», 9 – район смерекково-ялицево-букових Бескидських лісів з базовим типом лісу «волога смерекково-ялицева субучина», 10 – район смерекково-ялицево-букових Приґорґанських лісів з базовим типом лісу «волога смерекково-ялицева субучина», 11 – район смерекково-ялицево-букових Покутсько-Буковинських лісів з базовим типом лісу «свіжа смерекково-ялицева субучина», 12 – район смерекково-ялицево-букових і ялицево-букових закарпатських лісів з підрайонами: 12а – ялицево-букові Міжгірські ліси з базовим типом лісу «волога ялицева субучина», 12б – смерекково-ялицево-букові Рахівські ліси з базовим типом лісу «волога смерекково-ялицева субучина», 13 – район ялинових горганських лісів з підрайонами: 13а – буково-ялицево-смерекові Ґорґанські ліси з базовим типом лісу «волога буково-ялицева сусмеречина», 13б – смерекові Вододільно-Ґорґанські ліси з базовим типом лісу «волога високогірна сусмеречина», 14 – район ялиново-чорногірсько-мармороських лісів з підрайонами: 14а – буково-ялицево-смерекові Верхньотисянські ліси з базовим типом лісу «волога буково-ялицева сусмеречина», 14б – ялицево-буково-смерекові Ворохтянсько-Путильські ліси з базовим типом лісу «волога буково-ялицева сусмеречина», 14в – смерекові Чивчино-Мармароські ліси з базовим типом лісу «волога високогірна сусмеречина», 15 – район яворово-букових лісів Низькогірних полонин з базовим типом лісу «волога яворова субучина», 16 – район ялівцевих і душекієвих лісів Полонинського хребта з базовим типом лісу «сирий ялівцевий (зеленовільховий) субір», 17 – район гірсько-соснових лісів кам'янистих розсипищ Ґорґан з базовим типом лісу «сирий кедрово-гірськососновий субір», 18 – район гірсько-соснових лісів Чорногірського та Чивчинського високогір'я: 18а – гірсько-соснові ліси Чорногірсько-Гринявського високогір'я з базовим типом лісу «сирий душекієво-гірськососновий субір», 18б – гірсько-соснові ліси Чивчинсько-Мармароського високогір'я з базовим типом лісу «сирий зеленовільхово-гірськососновий субір».

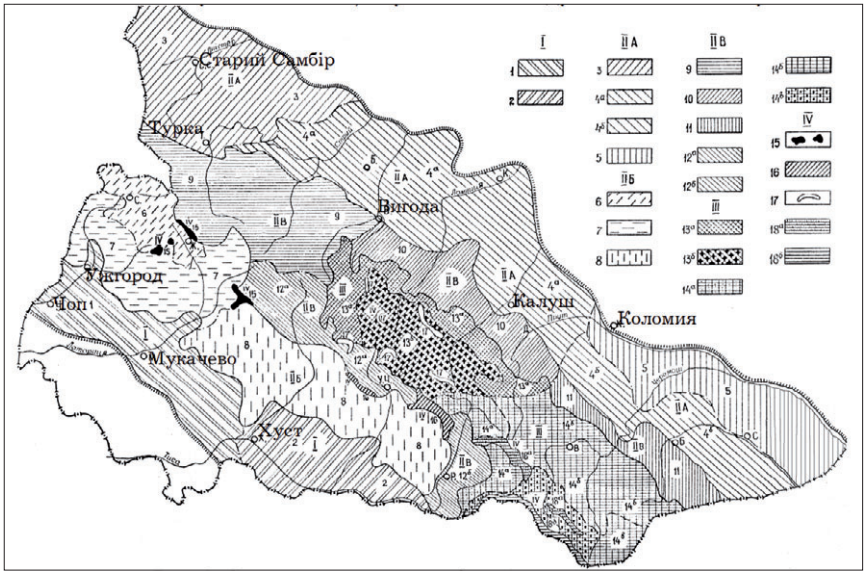


Рис. 4. Схематична карта геоботанічного районування Українських Карпат (1-18 – назви районів) за Golubets (2003):
1 – буково-дубових і дубово-букових передгірських лісів Вулканічного хребта;
2 – дубово-букових і буково-дубових лісів Хустсько-Солотвинської улоговини;
3 – буково-ялицевих верхньодністровських лісів;
4 – ялицево-букових передгірських лісів з підрайонами: 4а – Передгірським і 4б – Покутсько-Буковинським;
5 – дубово-букових лісів та остепненої лучної рослинности Прут-Сиретського межиріччя;
6 – ялицево-букових верхньоужоцьких лісів;
7 – грабово-букових і букових дубриницько-свалявських лісів;
8 – букових лісів південного мегасхилу Полонинського хребта;
9 – смереково-ялицево-букових бескидських лісів;
10 – смереково-ялицево-букових і ялицево-смереково-букових приґорґанських лісів;
11 – смереково-ялицево-букових і смереково-буково-ялицевих покутсько-буковинських лісів;
12 – смереково-ялицево-букових, смереково-буково-ялицевих і смереково-букових закарпатських лісів з підрайонами: 12а – Міжгірським і 12б – Рахівським;
13 – смерекових ґорґанських лісів з підрайонами: 13а – ялицево-буково-смерекових ґорґанських лісів і 13б – смерекових вододільно-ґорґанських лісів;
14 – смерекових чорногірсько-мармароських лісів з підрайонами: 14а – буково-ялицево-смерекових верхньотиських лісів, 14б – ялицево-буково-смерекових ворохтянсько-путильських лісів, 14в – чистих смерекових чивчинсько-мармароських лісів;
15 – низькогірних полонин;
16 – щільнодернинних лук, лялівцевих і душекієвих заростей з фрагментами альпійської рослинності середньогірського Полонинського хребта;
17 – мохово-лишайникових пустищ, кам'яних розсипищ і гірськососнин Ґорґан;
18 – сланких гірськососнин у поєднанні з душекієвниками, рододендронниками, субальпійськими та альпійськими луками чорногірсько-мармароського високогір'я з підрайонами: 18а – Чорногірсько-Гринявським і 18б – Чивчинсько-Мармароським.

Зрозуміло, що ці уточнення назв районів на основі зміни складу деревної рослинності, а разом з ними – і типів лісу є певною мірою наближеними і потребують детального подальшого дослідження. Крім того, у зв'язку з кліматичними змінами, відбулися і зміни меж геоботанічних районів. Наведені у статті дані є лише базовою основою для подальших досліджень у цьому важливому напрямі. Результати досліджень дали змогу уточнити породний склад корінних лісів і визначити базові типи лісу в межах існуючого геоботанічного районування Українських Карпат відповідно до змін, спричинених глобальною зміною клімату.

Висновки. Кліматичні зміни останніх десятиріч виявляють суттєвий вплив на лісорослинні умови Українських Карпат, яскравим підтвердженням чого є зміна меж лісорослинних поясів, зміни у складі деревної рослинності, зниження біотичної стійкості окремих деревних видів. Впродовж 2010-2019 рр. кліматопи Карпатського регіону стали теплішими і сухішими на один, а часто – і на два класи гігротопу. Зміна суми активних температур теж має чіткий тренд до збільшення за даними всіх метеостанцій – від 16% на рівнині і до 36% – в горах. Відповідно зростає тривалість вегетаційного періоду, що є вагомою причиною змін у складі рослинних субформацій і формацій. Кліматичні зміни привели до змін у площі природного поширення головних порід регіону: окремі з них (ялина) різко зменшила площу свого природного зростання, тоді як інші (бук, ялиця) її розширили. З продовженням кліматичних змін склад рослинних субформа-

цій буде і надалі змінюватися природним шляхом. Отже, можна відзначити вже тепер існуючу тенденцію стосовно кліматогенних змін типів лісу в Українських Карпатах.

Найбільші зміни відбуваються в ялинових лісах. Місце ялини, що всихає, переважно займають ялиця і бук. Поряд з цим, у природному поновленні деревостанів за участю ялини, ялиці та бука однозначно переважає бук лісовий і це дає підставу стверджувати, що глобальне потепління в Карпатському регіоні найбільшою мірою покращило лісорослинні умови саме для бука лісового.

Внаслідок кліматичних змін відбулися зміни у породному складі лісів у таких напрямах: а) дубово-букові ліси трансформуються в буково-дубові зі зміною гігротопу зі «свіжого» на «сухий»; б) буково-ялицеві ліси – в ялицево-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; в) грабово-букові ліси – в грабово-дубово-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; г) смерекково-буково-ялицеві ліси – в смерекково-ялицево-букові або ялицево-букові зі зміною гігротопу з «вологого» на «свіжий»; д) буково-ялицево-смерекові ліси – в смерекково-ялицево-букові або ялицево-букові зі зміною гігротопу з «сирого» і «вологого» на «свіжий»; е) відбулось інтенсивне заростання щільнодернинних лук ялівцевими та душекієвими угрупованнями.

Наступним етапом наукових досліджень повинно стати лісотипологічне картування лісового фонду лісогосподарських підприємств Карпатського регіону під час проведення їх лісовпорядкування відповідно до статті 46 Лісового кодексу України. Варто зазначити, що лісотипологічне впорядкування Карпатського регіону не здійснювалося більше 50 років.

References

Ambros, Z. (1991). *Characteristics of groups of types of geobiocenes of the Czechoslovak Socialist Republic*. Brno: Folia Universitatis agriculturae (in Czech).

Andrianov, M.S. (1968). Climate. In *Nature of the Ukrainian Carpathians* (pp. 87-101). Lviv: Lviv University Publishing House (in Ukrainian).

Barabash, M.B., Grebenyuk N.P., & Tatarchuk O.H. (2007). Features of changes in heat and moisture resources in Ukraine with modern climate warming. *Proceedings Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, 256*, 174-186 (in Ukrainian).

Cannone, N., Sgrobati, S., & Guglielmin, M. (2007). Unexpected impacts of climate change on alpine vegetation. *Frontiers in Ecology and the Environment, 5* (7), 360-364. https://doi.org/10.1890/1540-9295(2007)5[360:UIOCCO]2.0.CO;2

Debryniuk, Iu. M. (2011). Dieback of the spruce forests: causes and consequences. *Scientific bulletin of the Ukrainian State Forestry University, 21.16,* 32-38. Retrieved from http://nltu.edu.ua/nv/Archive/2011/21_16/index21_16.htm (in Ukrainian).

Debryniuk, Iu. M. (2003). *Forest-cultural zoning of the Western Forest-Steppe of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).

Didukh, J. P, Chorney, I. I, & Budzhak, V.V. (2016). *Climatogenic changes in the plant world of the Ukrainian Carpathians*. Chernivtsi: Druk art (in Ukrainian).

Doniță, N., Bândiu, C., Biriș, I.A., Gancz, V., Apostol, J., & Marcu, C., (2008). *Forest map of Romania by ecosystem units, scale 1: 500 000*. Bucureşti: Editura Silvică, (in Romanian).

EEA (2007). *European forest types. Categories and types for sustainable forest management reporting and policy*, EEA Technical report, 9, 111 pp.

European Commission (2019). *Roadmap for moving to a low-carbon economy in 2050*. Climate action. Retrieved from http://ec.europa.eu/clima/policies/roadmap/ index_en.htm.

FAO (2016). *Global forest resources assessment 2015. How are the world's forests changing? Second edition.* Rome: FAO. Retrieved from http://www.fao.org/3/a-i4793e.pdf.

Gensiruk, S.A. (1981). *Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova*. Kyiv: Scientific thought (in Ukrainian).

Gerushinsky, Z.Yu. (1996). *Typology of forests of the Ukrainian Carpathians*. Lviv: Piramida (in Ukrainian).

Golubets, M.A. (1978). *Spruce forests of the Ukrainian Carpathians*. Kyiv: Scientific thought (in Russian).

Golubets, M.A. (2003). Geobotanical zoning of the Ukrainian Carpathians is the basis of rational nature management. *Proceedings of the Shevchenko Scientific Society, XII: Ecological problems of the Carpathian region*, 283-292 (in Ukrainian).

Gorshenin, N.M., & Shevchenko, S.V. (1954). Forest growing areas of the western regions of the Ukrainian SSR. *Scientific notes of the Lvov agricultural institute, 4*, 147-156 (in Russian).

Holuša, O. (2010). *The system of differentiated management in forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians*. Fridek-Mistek: UHUL (in Russian).

Ivanenko, B.I. (1977). Forest vegetation zoning of the Kaluga region. *Forest magazine*, *2*, 26-31 (in Russian).

Janda, P., Svoboda, M., Bače, R., Čada, V., Lynn, J., & Peck, E. (2014). Three hundred years of spatio-temporal development in a primary mountain Norway spruce stand in the Bohemian Forest, central Europe. *Forest Ecology and Management, 330* (15), 304-311. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2014.06.041

Jump, A.S., Hunt, J.M., & Peñuelas, J. (2006). Rapid climate change-related growth decline at the southern range edge of *Fagus sylvatica*. *Global Change Biology, 12,* 2163-2174.

Kirschbaum, M.U.F. (2004). Direct and indirect climate change effects on photosynthesis and

transpiration. *Plant Biology, 6* (3), 242-253. https://doi.org/10.1055/s-2004-820883

Kobiv, Yu. Y. (2009). Global climate change as a threat to the species biodiversity of the highlands of the Ukrainian Carpathians. *Ukrainian Botanical Journal*, *66* (4), 451-465 (in Ukrainian).

Kramarets, V.O., & Matsyak, I.P. (2018). The role of biotic factors in the spruce forests decline of the Ukrainian Carpathians. *Scientific works of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, 17,* 121-132. https://doi.org/10.15421/411827 (in Ukrainian).

Lavrynenko, D.D. (1978). *Fundamentals of forest ecology*. Kiev: UACA (in Russian).

Lipins'kuj, V.M., Dyachuk, V.A., & Babichenko V.M. (2003). *Climate of Ukraine*. Kyiv: Raevsky Publishing House (in Ukrainian).

Migunova, E.S. (1993). *Forests and forest lands*. Moscow: Ecology (in Russian).

Molotkov, P.I. (1966). *Beech forests and their management*. Moscow: Forest industry (in Russian).

Murat, E. (1998). *Silviculture. Handbook for forest technicians*. Warszawa: Wydawnictwo Świat (in Polish).

Nazimova, D.I. (1969). The principles of site conditions zoning of mountainous territories (on the example of the Western Sayan). *Collection of scientific papers, Types of Siberian forests, Krasnoyarsk, Forest and Timber Institute named after V.M. Sukachev,* 101-120 (in Russian).

Posokhov, P.P. (1969). Forest vegetation zoning of the mountain Crimea. *Forestry and agroforestry*, *16*, 105-119 (in Russian).

Shparyk, Yu.S., Berkela Y.Y., Viter R.M., & Losiuk V.P. (2018). Main types of forest stands dynamics in the Ukrainian Carpathians. *Nature of the Carpathians: Annual Scientific Journal of CBR and the Institute of Ecology of the Carpathians NAS of Ukraine*, *1* (3), 50-57.

Shparyk, Yu.S., Markiv, P.D., & Parpan, T.V. (2001). Structure and regeneration of foothill fir forests of the Ukrainian Carpathians. *Proceedings of the XI Congress of the Ukrainian Botanical Society*, 233-234 (in Ukrainian).

Shparyk, Yu.S., Parpan, T.V., Slobodyan, P.Y., Savchyn, T.I., & Bunij, V.Y. (2013). Spruce forest decline on the north-eastern megaslope of the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 23.5,* 141-147. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2013/23_5/141_Szp.pdf (in Ukrainian).

Shparyk, Yu.S., & Viter, R.M. (2012). Identification features of the forest types in Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 22.11,* 22-29 (in Ukrainian).

Shparyk, Yu.S., & Viter, R.V. (2016). Climatope, as the basis of the new forest typological zoning of the Ukrainian Carpathians. *Modern problems of forestry and ecological typology,* 54-60 (in Ukrainian).

Shukla, P.R., Skea, J., Slade, R., van Diemen, R., Haughey, E., Malley, J., Pathak, M., Portugal Pereira, J. (eds.), (2019). *Technical Summary. Climate Change and Land: an IPCC special report on climate change, desertification, land degradation, sustainable land management, food security, and greenhouse gas fluxes in terrestrial ecosystems*. Retrieved from https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/sites/4/2019/11/03_Technical-Summary-TS.pdf

Stoyko, S.M. (2003). Geographical peculiarities of vertical differentiation of vegetation cover in the Ukrainian Carpathians. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 13.3,* 43-52. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2003/13_3/index2.htm (in Ukrainian).

Tretyak, P., & Chernevyy, Yu. (2015). Features of forest typology in the countries of the Alpine-Carpathian macroregion. *Scientific works of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, 13*, 237-243. https://doi.org/10.15421/411534 (in Ukrainian).

Vorob'ev, D.V. (1961). Forest typological classification of climates. Zonal climatypes of forest site types. *Proceedings of Kharkov Agriculture Institute, 30*, 235-250 (in Russian).

Vorob'ev, D.V. (1967). *Methodology of forest typological studies*. Kyiv: Harvest (in Russian)

Weinfürter, P. (2013). *Silviculture in Austria on an ecological basis. A guide to practice.* Wien: PEFC (in German).

Zlatnik, A. (1978). *Forest phytocenology*. Praha: Státni zemédélski nakladetelstwi (in Czech).

Тенденции динамики типов лесорастительных условий и породного состава древостоев Украинских Карпат в связи с изменениями климата

Ю.С. Шпарык[1], Г.Т. Криницкий[2], Ю.М. Дебрынюк[3]

Глобальные изменения климата уже сейчас существенно изменили условия ведения лесного хозяйства в Украинских Карпатах – в резуль-

[1] *Шпарык Юрий Степанович* – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, доктор сельскохозяйственных наук, профессор кафедры лесоводства. Прикарпатский национальный университет имени Васыля Стефаныка, ул. Галицкая, 201, г. Ивано-Франковск, 76008, Украина. Тел.: + 38-0342-596163, + 38-050-188-02-61. E-mail: yurii.shparyk@pnu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8047-6356

[2] *Криницкий Григорий Томкович* – академик Лесной академии наук Украины, Президент ЛАН Украины, доктор биологических наук, профессор, заведующий кафедрой лесоводства. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-237-89-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net

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

тате массового усыхания ельников многие предприятия вынуждены переориентировать свои лесохозяйственные мероприятия на выращивание товарной древесины других пород. В течение 2010-2019 гг. климатопы Карпатского региона стали теплее и суше на один, а часто – и на два класса гигротопа. Изменение суммы активных температур в этот период имеет четкий тренд к увеличению по данным всех метеостанций – от 16% на равнине и до 36% – в горах. Соответственно растет продолжительность вегетационного периода, что является весомой причиной изменений в составе растительных субформаций и формаций. Климатические изменения привели к изменениям в площади естественного распространения главных пород региона: некоторые из них (ель) резко уменьшили площадь своего естественного ареала, тогда как другие (бук, пихта) – его расширили. С продолжением этих изменений климата состав растительных субформаций будет и в дальнейшем меняться естественным путем. Поэтому, тенденции климатогенных изменений типов леса (лесорастительных условий + состава пород) в Украинских Карпатах необходимо идентифицировать.

Наибольшие изменения происходят в еловых лесах – место ели, которая усыхает, преимущественно занимают пихта и бук. По материалам лесоустройства зафиксировано увеличение площади буковых и пихтовых лесов за счет уменьшения площади ельников в большинстве предприятий лесного хозяйства региона. Наряду с этим, в естественном возобновлении древостоев с участием ели, пихты и бука однозначно преобладает бук лесной и это дает основание утверждать, что глобальное потепление в Карпатском регионе в наибольшей степени улучшило лесорастительных условий именно для бука лесного. Поэтому, актуальным является выявление закономерностей этих изменений для правильного выбора главных пород по типам леса и природным районам. Тенденции динамики лесорастительных условий и породного состава лесов региона идентифицированы по ведомственным данным метеостанций и лесоустройства.

Установлено, что климатогенные изменения лесов Украинских Карпат происходят в таких направлениях: а) дубово-буковые леса трансформируются в буково-дубовые с изменением гигротопа со «свежего» на «сухой»; б) буково-пихтовые леса – в пихтово-буковые с изменением гигротопа с «влажного» на «свежий»; в) грабово-буковые леса – в грабово-дубово-буковые с изменением гигротопа с «влажного» на «свежий»; г) елово-буково-пихтовые леса – в елово-пихтово-буковые или пихтово-буковые с изменением гигротопа с «влажного» на «свежий»; д) буково-елово-пихтовые леса – в елово-пихтово-буковые или пихтово-буковые с изменением гигротопа с «сырого» и «влажного» на «свежий»; е) задернелые луга и высокогорные пастбища интенсивно зарастают еловыми, можжевеловыми и зелёно-ольховыми растительными сообществами.

Констатируется насущная необходимость в лесотипологическом картировании лесохозяйственных предприятий Карпатского региона во время проведения их повторного лесоустройства с целью полевой идентификации существующих типов леса.

Ключевые слова: климатогенные изменения лесов; сумма активных температур; количество осадков; лесоустройство; высотные пояса растительности; тип леса; тип древостоя.

Trends of dynamics in the site conditions types and species composition of the forest stands in the Ukrainian Carpathians caused by climate changes

Y. Shparyk[1], H. Krynytskyy[2], Iu. Debryniuk[3]

Global climate changes have already significantly changed the conditions for forestry in the Ukrainian Carpathians. Because of the massive spruce forests decline many enterprises are forced to reorient their forestry activities to planting marketable wood of other species. Climatopes of the Carpathian region became warmer and drier by one, and often – by two classes of hygrotopes during 2010-2019. The change in the sum of active temperatures in this period has a clear trend toward an increase according to the data of all regional weather stations – from 16% in the plain conditions and up to 36% – in the mountains. Growing season increases accordingly, which is a significant reason for changes in the species composition of subformations and formations. Climatic changes have changed the areas of a natural distribution of the main species in the region: some of them (Norway spruce – *Picea abies* (L.) H. Karst.) sharply reduced their area, while others (Common beech – *Fagus sylvatica* L., Silver

[1] *Yuriy Shparyk* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Department of Forestry. Vasyl Stefanyk Precarpathian National University, st. Galytska, 201, Ivano-Frankivsk, 76008, Ukraine. Phone: + 38-0342-596163, + 38-050-188-02-61. E-mail: yurii.shparyk@pnu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-8047-6356

[2] *Hryhoriy Krynytskyy* – 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 st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-237-89-05, +38-067-784-11-60. E-mail: krynytsk@ukr.net

[3] *Iurii Debryniuk* – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel .: 032-235-30-12, + 38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0994-349X

fir – *Abies alba* Mill.) expanded their areas. With the continuation of actual climate changes, the species composition of plant sub-formations will continue to change by natural way. Therefore, the climatogenic changes in forest types (forest conditions + species composition) in the Ukrainian Carpathians have to be identified.

Right now, the greatest changes are in spruce forests of the Ukrainian Carpathians – the place of Norway spruce, which declined, is mainly occupied by Silver fir and Common beech. According to forest inventory data, an increase in the area of Common beech and Silver fir forests restored due to a decrease in the area of Norway spruce forests practically in all regional forestry enterprises. However, in the natural regeneration of declining forest stands, with the participation of spruce, fir and beech in their species compositions, Common beech clearly prevails, and this suggests that global warming in the Carpathian region has improved site conditions mainly for the beech forests. Therefore, it is relevant to identify the trends of these changes for the correct selection of the main species for the regional forest types and natural altitudinal areas.

It has been found that climatogenic changes in the forests of the Ukrainian Carpathians are going in the following directions:

a) oak-beech forests are transforming into beech-oak forests with a hygrotope change from «fresh» to «dry».

b) beech-fir forests – into fir-beech forests with a hygrotope change from «wet» to «fresh».

c) hornbeam-beech forests – into hornbeam-oak-beech forests with a hygrotope change from «wet» to «fresh».

d) spruce-beech-fir forests – into spruce-fir-beech or fir-beech forests with a hygrotope change from «wet» to «fresh».

e) beech-spruce-fir forests – into spruce-fir-beech or fir-beech forests with a hygrotope change from «raw» and «wet» to «fresh».

f) soddy meadows and alpine pastures are intensively overgrown with Norway spruce, Common juniper and Green alder plant formations.

The urgent need for forest types mapping for forestry enterprises in the Carpathian region during their next inventory with the aim of field identification of existing forest types is ascertained.

Key words: climatogenic changes in forests; sum of active temperatures; amount of precipitation; forest inventory; altitudinal forest zones; type of forest; type of forest stand.

3. ЛІСОВІ КУЛЬТУРИ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ, СЕЛЕКЦІЯ І ГЕНЕТИКА

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412009
Article received 2019.11.25
Article accepted 2020.06.04

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

*УДК 630*232 : 630*5*

Larix kaempferi Carr. як перспективний деревний вид для плантаційного лісовирощування у лісостанах Західного Лісостепу України

Ю. М. Дебринюк[1]

У Західному Лісостепу України Larix kaempferi відзначається дуже високими інтенсивністю росту (I^d-I^e класи бонітету) та конкурентоздатністю в молодому віці, переважно витісняючи зі складу насаджень інші деревні види. У чистих насадженнях L. kaempferi нагромаджує найвищі запаси стовбурової деревини, хоча її середні висота та діаметр тут помітно менші, ніж у мішаних деревостанах. Водночас, у разі встановлення в чистих культурах модрини густоти, близької до оптимальної, середні таксаційні показники хвойної породи наближаються до таких у мішаних насадженнях.

Збереженість модрини навіть і в початково чистих насадженнях характеризується високою варіабельністю, причиною чого є різні підходи до інтенсивності проведення рубок догляду. Відсутність конкретної програми вирощування модринових насаджень щодо встановлення близької до оптимальної густоти у різні вікові періоди є причиною неповного використання едафічного потенціалу типів лісорослинних умов, недоотримання значних обсягів деревини.

Доцільно на території лісового фонду Західного Лісостепу та прилеглих територій створювати чисті насадження модрини Кемпфера з рівномірним розміщенням садивних місць та постійним підтримуванням високої зімкнутості деревостану. Створювати плантаційні насадження цього деревного виду доцільно в умовах дібров і судібров, бучин і субучин, яличин і суяличин.

Як об'єкт плантаційного лісовирощування, L. kaempferi задовольняє низку важливих вимог: інтенсивний ріст та швидке нагромадження стовбурової деревини; проста технологія вирощування; відносно широка екологічна амплітуда, можливість успішного культивування в чистих насадженнях, цінна деревина; стійкість проти шкідників і хвороб; широкий діапазон застосування деревини; можливість ведення інтенсивного проміжного користування.

Ключові слова: *типи лісорослинних умов; лісові культури; густота; розміщення садивних місць; збереженість модрини; хід росту; таксаційні показники; запас стовбурової деревини.*

---

[1] *Дебринюк Юрій Михайлович* – академік Лісівничої академії наук України, академік-секретар ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор кафедри лісових культур і лісової селекції. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-235-30-12, +38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-0994-349X

Вступ. Лісостани модрини вкривають приблизно 4700 км^2 о. Хоккайдо і стали основною лісовою екосистемою на півночі Японії (Qu Laiye, 2016). Деревина модрини структурно класифікується в багатьох країнах як одна з-поміж інших хвойних порід з найвищою несучою здатністю (клас міцності С30) (Barriola, Aira & Lafuente, 2019), що є важливим стимулом для її культивування.

Культивування модрини Кемпфера або тонколускатої, або японської (*Larix kaempferi* (Lamb.) Carrière, *Larix leptolepis* (Siebold et Zucc.) Gord.) має свої особливості. Внаслідок здатності виду формувати щільний намет, насадження модрини можна створювати чистими. Однак практика монокультури під час створення плантацій *Larix* spp. у Північно-Східному Китаї призвела до таких проблем, як зниження родючості грунту і здатності його утримувати воду (Deliang Lu et al., 2018). Тому для поступового перетворення чистих плантацій модрини у мішані використано дрібномасштабну регуляцію намету шляхом формування «вікон» різної площі і культивування у цих «вікнах» двох видів – *Juglans mandshurica* та *Picea koraiensis*.

Подібну проблему для Північно-Східного Китаю відзначали й інші автори (Gang, Qiaoling, & Jiaojun, 2015). Так, для задоволення попиту на деревину великі площі широколистяних лісів були замінені чистими плантаціями *Larix* spp. Останні знизили родючість грунту, сприяли закисленню поверхневого стоку та зменшили рівень біорізноманіття. Для усунення цих негативних наслідків постала проблема перетворення чистих модринових плантацій у мішані ліси шляхом використання двох домінуючих широколистяних видів – *Juglans mandshurica* і *Fraxinus mandshurica*.

Порівняння концентрації поживних речовин у грунтовому розчині під листяними лісовими насадженнями та плантаціями *L. kaempferi* у провінції Kangwon-do (Корея) показало, що сумарне внесення поживних речовин з опадом було значно більшим у листяних лісових насадженнях, ніж на плантаціях модрини (Muh-Ho, Don-Koo, & Tae-Won, 2007). Подібну ситуацію виявили інші дослідники (Cheng-hu, Tian-zhen, Qin-hua, & Chun, 2005) під плантаціями *L. kaempferi* в Японії. За винятком валового азоту, всі інші показники родючості грунту (органічний субстрат, загальні N і K, рухомі форми N, P і K) під природним лісом були вищими, ніж у грунті під плантацією.

Водночас інші результати досліджень вказують на модрину Кемпфера, як на грунтополіпшувальний деревний вид. Баланс азоту і фосфору в грунті є дуже важливою умовою для швидкого росту *L. kaempferi* (Junyu, Qingxue, Jinxin, Korpelainen, & Chunyang, 2016). Вивчення хімічних властивостей суглинистих грунтів під плантаціями *Pinus rigida* і *Larix kaempferi*, які займають приблизно 60% площі штучних лісів у Кореї, підтвердило позитивний вплив модрини на грунт (A-Ram, Jaehong, Minseok, & Sun-Wha, 2013). На плантації модрини загальний вміст азоту, доступні концентрації фосфору й органічних речовин були вищими, ніж на плантації сосни і показали позитивні тенденції зі збільшенням віку насаджень.

Вивчення фізичних і хімічних властивостей ґрунту на різних стадіях розвитку (6, 15, 23 і 35 років) плантацій *L. kaempferi* у лісовій зоні Сяолуншань провінції Ганьсу (Китай) показало, що властивості ґрунту дещо погіршилися під насадженнями 23-річного віку. Проте із збільшенням віку насаджень (35 р.) капілярна пористість і максимальна вологоємкість зросли до 45,56 і 42,65%, а кількість поживних речовин у грунті повернулася до високого рівня, навіть набагато вищого від рівня лісу середнього віку (Hong, Xiao, Dong, Ya, & Jian 2012). Результати дослідження дають інформативні дані про перевагу вибору *L. kaempferi* для лісових посадок як грунтопокращувального виду (A-Ram, Jaehong, Minseok, & Sun-Wha, 2013).

Штучні насадження *L. kaempferi* не знижують флористичного різноманіття, видовий склад якого поступово відновлюється під модринниками і навіть переважає за кількісним і видовим складом сусідні ділянки з корінною еталонною рослинністю (Kim et al., 2013).

Під час порівняння відмінностей у різноманітності видів рослин між хвойними плантаціями *L. kaempferi* та широколистими вторинними лісами із *Quercus crispula* в Центральній Японії Nagaike (2002) встановив, що багатство видів рослин на плантаціях було значно більшим, ніж у вторинних лісах; хоча в плантаціях було менше видів високих дерев.

Видове різноманіття і багатство лісового рослинного вкриття на плантаціях *L. kaempferi* з тривалою і стандартною ротацією слабо відрізнялися між собою. Проте все-таки плантації з тривалим оборотом рубки можуть відновлювати і підтримувати видовий склад лісової рослинності на дещо вищому рівні (Nagaike, & Hayashi, 2004).

У горах Кореї *L. kaempferi* не відзначається дуже високою швидкістю росту. Seo, Lee, & Choi (2018) здійснили порівняння за показниками росту основних видів хвойних дерев Південної Кореї – *Pinus densiflora*, *Pinus koraiensis* та *Larix kaempferi.* У міру старіння прирости за DBH у *P. koraiensis* та *L. kaempferi* були досить подібними, однак вищими, ніж у *P. densiflora.* Найнижчий загальний приріст за висотою встановлено у *L. kaempferi,* найвищий – у *P. koraiensis.*

У країнах Європи *L. kaempferi* кращою продуктивністю відзначається в областях з атлантичним кліматом, на грунтах з доброю вологоємкістю (Dengler & Röhrig, 1980). В Україні за таксаційними показниками вона переважає не тільки більшість аборигенних видів, але й, в окремих випадках, і *Larix decidua*. Тому важливим у практиці ведення лісового господарства є питання щодо створення та вирощування лісових насаджень з коротким оборотом рубки із цього швидкорослого та високопродуктивного деревного виду.

Порівняно з модриною європейською, модрина Кемпфера краще переносить задерніння грунту та

надлишкове зволоження, менш світлолюбна, розвиває густіше охвоєння. У вологих едатопах (C_3, D_3) *L. kaempferi* відзначається кращим ростом і продуктивністю, тоді як в умовах C_2 і D_2 краще росте *L. decidua* (Debryniuk, 2008; Debryniuk, Krynytskyy, & Tselen, 2016). Загалом дослідники виявили дещо вищу продуктивність модрини Кемпфера, порівняно з модриною європейською: більшу – в молодому, меншу – в старшому віці. З погляду вагомого підвищення продуктивності лісів можуть бути успішно використані обидва види модрини.

Високу продуктивність *L. kaempferi* відзначено у багатьох роботах (Peshko, 1965; Zhivitsky, 1968; Mauryn, 1970; Olijnyk, 1991; Paques, 1992; Fuchylo, Sbytna, 2012). У 17-24-річному віці запас стовбурової деревини модрини у лісових культурах сягає 310-400 м^3·га$^{-1}$ (Olijnyk, 1977; Debrynsuk, 2007).

На відміну від модрини європейської, модрина Кемпфера схильна до утворення товстих сучків, чому можна запобігти запровадженням високої початкової густоти садіння з наступним рівномірним зріджуванням згідно з технологічною схемою вирощування (Olijnyk, 1991). Під час створення культур *L. kaempferi* дослідники рекомендують різне розміщення садивних місць – від 1,5 × 1,5…1 × 2 до 2 × × 3…2 × 5 м (Hartmut, 1987). При цьому для доброго очищення стовбурів від сучків, формування якісної деревини, лісівничими заходами у віці до 15 років прирости модрини за діаметром потрібно зменшити, а в старшому, навпаки – збільшити, тому плантації модрини початково потрібно створювати густими – 4,5-5,0 тис. шт.·га$^{-1}$ (Olijnyk, 1977).

Моделювання росту *L. kaempferi* у 10-річних плантаційних насадженнях різної початкової густоти у провінції Західний Хенан (Японія) показало, що оптимальна густота садіння модрини для отримання дрібної та середнього розміру деревини повинна становити, відповідно, 2000-2500 та 1000-1500 шт.·га$^{-1}$ (Zhao Kun et al., 2002). Оптимум густоти у 50-річних посадках *L. kaempferi* у Московській обл. знаходиться в діапазоні 340-595 стовбурів на 1 га. За більшої густоти стояння спостережено різке зниження таксаційних показників (Melnyk, Merzlenko, & Lobova, 2016). Для отримання значного запасу стовбурової деревини доглядові рубки у Західному Лісостепу необхідно проводити з такою інтенсивністю, щоб у середньовікових (61-70 р.) насадженнях кількість модрини на 1 га становила близько 500 шт. особин (Debryniuk, 2007; Debryniuk, Krynitskyy, & Tselen, 2016).

Модрина Кемпфера в умовах західного регіону України відзначається високими показниками життєвого стану в типах лісорослинних умов – C_2, C_3, D_2, D_3, насамперед – у високопродуктивних насадженнях (I^d-I^e бонітет). В окремих випадках високі показники життєвого стану притаманні і насадженням дещо слабшого росту (I-I^a бонітет), що зумовлено специфікою деяких екотипів модрини. Однак, якщо відносна участь здорових дерев за запасом стовбурової деревини у насадженнях в умовах C_2 і D_2 відрізняється помітніше (±9%), то в умовах D_2 і D_3 вона майже відсутня (±3%). Запас деревини сильно всихаючих і засохлих особин модрини у досліджених типах лісорослинних умов практично відсутній, а запас слабо- і середньовсихаючих – дуже низький (Belelia & Debryniuk, 2017). Проте потрібно зберігати високу обережність, перш ніж використовувати *L. decidua* чи *L. kaempferi* на ділянках, де раніше росла *Picea abies*, уражена *Heterobasidion annosum* (Vollbrecht, Johansson, Eriksson, & Stenlid,. 1995). У такому разі кількість заражених дерев модрини кореневою губкою може досягти, відповідно, 95 і 72%.

Нагромадження *L. kaempferi* значних запасів стовбурової деревини за відносно короткі терміни, можливість успішного культивування в чистих насадженнях, відносно широка екологічна амплітуда, грунтополіпшувальний вплив, висока біотична стійкість сприяють широкому впровадженню цього деревного виду в лісові насадження Західного Лісостепу і прилеглих територій (Olijnyk, 1977; Debryniuk, 2007). З цього погляду *актуальним питанням* є встановлення доцільності культивування модрини у плантаційних насадженнях з коротким оборотом рубки.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – штучні молоді, середньовікові та пристигаючі насадження за участю *L. kaempferi* у сугрудових і грудових типах лісорослинних умов. *Предмет дослідження* – динаміка таксаційних показників *L. kaempferi* залежно від типу лісорослинних умов, участі модрини у складі, густоти та віку насадження. *Мета досліджень* – встановити доцільність створення плантаційних лісових насаджень за участю *L. kaempferi* чистого або мішаного складу.

Досліджувані об'єкти розміщені на території лісового фонду державних лісогосподарських підприємств Західного Лісостепу України.

Для вивчення лісівничо-таксаційних характеристик деревних порід у лісових культурах використано загальноприйняті методики лісівничо-таксаційних досліджень для лісівництва та лісової таксації (Girs, Manita, Myronjuk, Swingchuk, & Berezovsky, 2013).

Тип лісорослинних умов і тип лісу визначали за апробованими методиками типологічних досліджень (Ostapenko & Tkach, 2002) з використанням напрацювань Z. Gerushynsky (1987). На основі характеристик складу та продуктивності деревного ярусу, складу підліску, трав'яного вкриття, типу грунту, уточнювали тип і підтип лісорослинних умов, а також тип лісу для кожної пробної ділянки.

Експериментальні матеріали статистично опрацьовано згідно з прийнятими рекомендаціями (Goroshko, Myklush, & Khomyuk, 2004). Під час статистичного опрацювання застосовували методи варіаційної статистики і пакет програм Microsoft Excel.

Результати досліджень. Вивчали таксаційні показники *L. kaempferi* у штучних насадженнях Західного Лісостепу, вплив модрини на інші дерев-

ні види при сумісному зростанні, динаміку густоти модринових насаджень на запас стовбурової деревини. На основі експериментальних досліджень отримано матеріал, який відображає основні аспекти росту та нагромадження деревини модрини у насадженнях різного складу та віку.

Так, в умовах *свіжого сугруду* у віковій групі 17-25 років *L. kaempferi* відзначається достатньо високою інтенсивністю росту (I^c-I^d класи бонітету). При цьому найвищий бонітет модрини зафіксовано у насадженнях за участю породи у 9-10 од. Висоти модрини змінюються в межах 12,3-16,4 м, діаметри – 12,6-16,0 см, причому вищими таксаційними показниками та більшим запасом стовбурової деревини модрина характеризується саме у насадженнях з її перевагою (табл.).

У насадженні з дубом червоним модрина Кемпфера має суттєву перевагу за середніми висотою та діаметром (на 14 і 38%), однак тут бонітет модрини найнижчий, що може бути наслідком сильно виражених конкурентних взаємовідносин між обома швидкорослими деревними видами.

Збереженість модрини у лісових культурах у цій віковій групі достатньо висока (42-55%), що залежить як від початкової густоти породи, так і від інтенсивності проведених рубок догляду.

Таблиця

Вплив густоти лісових культур *Larix kaempferi* на запас стовбурової деревини в умовах Західного Лісостепу

№ ПД	Вік, років	Початкове розміщення, м	Кількість дерев модрини на 1 га, шт.		Збереженість, %	Таксаційний склад насадження	Бонітет	G, $м^2 \cdot га^{-1}$	M, $м^3 \cdot га^{-1}$
			початкова густота	у період дослідження					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Тип лісорослинних умов – C_2									
10ст-мд	19	3,0 × 0,9	3700	1915	51,8	10Мдя	I^e	26,51	230
7ст-мд	25	2,5 × 0,7	1900	1040	54,7	6Мдя4Дпн	I^c	17,41	161
8ст-мд	22	2,5 × 0,4	2000	835	41,8	9Мдя1Бк	I^d	16,73	146
1п	36	6,0 × 0,8 (Мд)	2100	475	22,6	10Мдя	I^b	22,30	235
3зб	49	3,0 × 1,0	~ 1000	198	~ 19,8	5Мдя3Яс2Лп1Вз	I^a	17,25	176
2Б	64	4,0 × 1,0	~ 1000	473	~ 47,3	10Мдя	I^a	50,83	574
1пдк	76	1,5 × 1,5	4450	529	11,9	10Мдя	I^a	40,41	554
1Б	74	3,0 × 1,0	1100	517	47,0	10Мдя	I	61,63	682
Тип лісорослинних умов – D_2									
9ст-мд	17	2,5 × 0,75	1330	1221	91,8	10Мдя	I^d	15,22	97
22	21	4,0 × 0,7	300	72	24,0	3Мдя5Дзв5Г	I^c	3,42	23
31	25	3,0 × 1,0	300	130	43,3	4,5Мдя3Д1Пд2Г	I^e	8,26	80
3ст-мд	29	3,0 × 1,0	300	130	43,3	6Мдя4Дзв	I^d	13,20	129
8	30	не встановл.	не встанов.	246	-	8Мдя1Г1Лп	I^d	20,65	212
6зб	37	4,0 × 1,0	200	46	23,0	3Мд3Г1Лп1Яс2П	Id	6,79	71
1	40	не встановл.	не встанов.	187	-	6Мдя3Клг2Дзв	I^c	15,31	178
209	34	2,0 × 1,0; Мдє в рядах Мдя	Мдя ~ 800	371	~ 46,4	6Мдя2Мдє2Клг	I^c	19,02	213
			Мдє ~ 200	86	~ 43,0		I^c	5,56	58
19	39	не встановл.	не встанов.	189	-	7Мдя2Дзв1Брс	I^c	16,99	189
4П	34	3,0 × 1,0	825	209	25,3	8Мдя2Г	I^d	19,02	202
3м	36	не встановл.	~ 1000	271	~ 21,1	8Мдя1Яс1Г	I^d	29,58	337
12п-3м	38	не встановл.	~ 1000	262	~ 26,2	8Мдя1Яс1Г	I^d	32,37	406
6пдк	36	2,5 × 0,5	4000	505	12,6	8Мдя2Дпн	I^d	27,52	341
2П	38	4,0 × 1,0	2500	246	9,8	9Мдя1Г	I^c	23,44	272
6ст-мд	33	3,0 × 1,0	~ 1200	435	~ 36,3	10Мдя	I^e	25,54	317

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
5ст-мд	33	2,0 × 0,7	1800	421	23,4	10Мдя	I^d	28,97	338
1П	39	2,0 × 0,9	1850	468	25,3	10Мдя	I^c	30,47	361
30л	34	2,0 × 2,0 (Мд)	2500	736	29,4	10Мдя	I^e	38,58	507
3П	48	3,0 × 1,0	не встанов.	182	-	6Мдя2Яс1Клг1Д	I^b	16,96	186
4з	41	6,0 × 1,0 (Мд)	1600	354	22,1	8Мдя2Г	I^d	22,64	282
49а	51	не встановл.	не встанов.	46	-	2Мдя7Дзв1Г	I^d	4,45	63
3пдк	66	6,0 × 2,0 (Мд)	830	286	34,5	9Мдя1Г	I^b	36,15	485
3Б	67	3,0 × 1,0	1100	490	44,5	10Мдя	I^a	60,31	663
5зб	108	6,0 × 1,5 (Мд)	1100	325	29,5	10Мдя	I^a	58,52	863
Тип лісорослинних умов – D_3									
55а	23	не встановл.	~ 400	228	~ 57,0	6Мдя3Дзв1Г	I^e	11,23	109
129	22	2,0 × 0,5	1100	491	44,6	6Мдя2Ял2Дзв	I^c	21,36	206
80	27	2,0 × 1,0	830	245	29,5	7Мдя2Бк1Дзв	I^e	14,76	154
97а	23	2,0 × 0,6 (1,3)	1200	665	55,4	10Мдя	I^e	22,82	240
5пдк	37	2,0 × 0,7	2800	461	16,5	7Мдя3Дпн	I^c	26,30	307
23л	39	3,0 × 1,0	1650	968	58,7	10Мдя	I^b	37,18	390
7п	46	2,0 × 1,0	не встанов.	427	-	6Мдя3Бх1Яс	I^c	22,59	291
72а	56	не встановл.	не встанов.	67	-	4Мдя6Дзв	I^d	7,34	108
23а	56	не встановл.	не встанов.	101	-	4Мдя4Дзв1Вл1Г	I^b	11,64	147
4пдк	71	не встановл.	не встанов.	60	-	4Мдя4Дзв1Г1Бк	I^a	8,73	112
15лп	75	не встановл.	не встанов.	121	-	6Мдя2Г2Дзв	I^b	22,86	354
7зб	108	6,0 × 1,5 (Мд)	1100	102	9,3	6Мдя2Дзв1Яс1Клг	I	17,36	225

Примітка. Мдя – модрина Кемпфера; Мдє – модрина європейська; Дпн – дуб червоний; Бк – бук лісовий; Яс – ясен звичайний; Лп – липа дрібнолиста; Вз – в'яз шорсткий; Г – граб звичайний; Дзв – дуб звичайний; Клг – клен гостролистий; П – псевдотсуга Мензіса; Ял – ялина європейська; Бх – бархат амурський; Вл – вільха чорна; ПД – пробна ділянка

У віковій групі 32-36 років *L. kaempferi* росте достатньо інтенсивно (I^b-I^c класи бонітету), нагромаджуючи значний обсяг стовбурової деревини. Останній чинник істотно залежить від збереженості модрини у складі насадження: більша кількість особин модрини навіть у мішаному насадженні нагромаджує таку ж кількість деревини, як і в чистому (проби № 1ст-мд та 1п).

У віковій групі понад 50 років модрина знижує інтенсивність росту (I-I^a класи бонітету), хоча нагромаджує значні обсяги деревини (550-680 $м^3 \cdot га^{-1}$) за високих показників середніх висоти (24-28 м) та діаметра (33-39 см). Збереженість модрини навіть у початково чистих насадженнях відзначається значною варіабельністю (12-47%), причиною чого є різні підходи до інтенсивності проведення рубок догляду.

Найбільша кількість модринових насаджень зосереджена саме у *свіжих грудах* (див. табл.). Так, у віковій групі 19-25 років *L. kaempferi* росте за I^c-I^e класами бонітету, що помітно вище, ніж в умовах C_2. Нагромаджений запас стовбурової деревини залежить від участі модрини у складі деревостану, що, переважно, репрезентується через кількість дерев на одиниці площі. За більшої кількості дерев модрини на 1 га запас деревини відповідно найбільший, однак середні висота та діаметр найнижчі (ПД-10ст-мд).

Збереженість дерев у цій віковій групі залежить від інтенсивності рубок догляду і знаходиться в межах 24,0-51,8%. Стовбури модрини у віці 19-25 років вже досягають комерційних розмірів. Однак, якщо в чистому насадженні середні висота і діаметр модрини становлять тільки 15,6 м та 13,1 см, то у мішаних насадженнях ці значення набагато вищі (відповідно, 13,1-19,1 м та 24,6-28,4 см). Проте найвищі запаси стовбурової деревини нагромаджують саме деревостани чистого складу.

Найбільше насаджень свіжого груду було досліджено у віковій групі 29-34 роки. У більшості насаджень *L. kaempferi* росте за I^d класом бонітету, що свідчить про деяке зниження інтенсивності росту хвойного виду за висотою порівняно із попередньою віковою групою. Збереженість модрини у цій віковій групі відзначається високою варіабельністю (23,4-46,4%), причому таку варіабельність за збере-

женістю модрини відзначено як у мішаних, так і в чистих насадженнях: основну роль тут відіграють режими проведення рубок догляду.

Середні висоти у мішаних насадженнях *L. kaempferi* дещо нижчі (20,9-23,9 м), ніж у чистих (24,5-25,8 м), тоді як більші значення середніх діаметрів характерні для мішаних модринових насаджень (25,6-36,0 та 25,8-29,6 см відповідно). У мішаних насадженнях за меншої висоти формуються стовбури більшої товщини, тоді як у чистих насадженнях спостерігаємо зворотну тенденцію.

Запас стовбурової деревини модрини залежить від її участі у складі насадження та інтенсивності рубок догляду. Останній чинник є причиною значної варіабельності запасу деревини навіть і в чистих модринниках (317-507 $м^3 \cdot га^{-1}$).

Інтенсивність росту *L. kaempferi* у насадженнях 36-40-річного віку знижується до I^c-I^d бонітету за середніх висоти і діаметра, відповідно, 23,4-26,1 м та 28,8-43,1 см. Найбільші значення середнього діаметра характерні для модрини у мішаних насадженнях.

Збільшення віку лісових культур є причиною зменшення збереженості модрини (9,8-26,2%); для деяких насаджень цей показник не встановлено.

Як і в попередніх вікових групах, запас деревини залежить від кількості дерев модрини у насадженні і змінюється у значних межах. Навіть у насадженнях з перевагою модрини (8-10 од.) запас стовбурової деревини відносно невисокий і до того ж відзначається значною варіабельністю (272-406 $м^3 \cdot га^{-1}$), що свідчить про високу інтенсивність проміжного користування у модринниках 35-40-річного віку та відсутності єдиного підходу щодо цих самих обсягів користування. У цьому віці модринові насадження вже нагромаджують деяку частину великомірної деревини, що є причиною підвищеного попиту на неї та запровадження інтенсивного користування.

У мішаних насадженнях 41-51-річного віку модрина росте за I^b-I^d бонітетом. Подальше проміжне користування стало причиною як відносно низьких середніх висоти та діаметра модрини в культурах (23,8-29,7 м та 28,5-34,4 см), так і запасу стовбурової деревини (186 і 282 $м^3 \cdot га^{-1}$).

У насадженнях більше 65-річного віку в умовах D_2 бонітет *L. kaempferi* знижується до I^a-I^b за достатньо високої збереженості деревного виду у лісових культурах (29,5-44,5%). Насадження модрини у цьому віковому діапазоні переважно чисті за складом і нагромаджують високі запаси стовбурової деревини (в середньому 500-800 $м^3 \cdot га^{-1}$). Якщо середні висоти модрини (30,6-33,9 м) досить подібні до таких у попередніх вікових діапазонах, то середні діаметри є значно вищими (39,6-47,9 см). Тобто, після 50-річного віку модрина помітно знижує висотний приріст, збільшуючи при цьому приріст за діаметром.

Умови *вологого груду* є оптимальними для росту *L. kaempferi* у лісових культурах. Так, модрина у насадженнях 22-27-річного віку за високої збереженості (30-57%) росте за I^e класом бонітету. За значної середньої висоти (18,2-20,8 м) порода відзначається достатньо високими показниками середнього діаметра (23,0-27,7 см). Запас стовбурової деревини також відзначається значною варіабельністю (109-240 $м^3 \cdot га^{-1}$), що залежить як від участі модрини у складі, так і від інтенсивності рубок догляду.

У насадженнях 37-46-річного віку середня висота модрини досить значна (23,4-25,6 м). Середній діаметр (25,9-26,9 см), порівняно з таким у насадженнях попереднього вікового діапазону, практично не збільшився, що свідчить про інтенсивне проміжне користування у модринових культурах. З цієї ж причини певною варіабельністю відзначається і запас стовбурової деревини модрини (291-390 $м^3 \cdot га^{-1}$).

У двох досліджених нами насадженнях 56-річного віку участь модрини у складі становить 40% і запас нагромадженої стовбурової деревини невисокий (до 150 $м^3 \cdot га^{-1}$). Водночас середні висота і діаметр модрини, порівняно із попереднім віковим діапазоном, помітно більші (27,0 і 31,9 м та 36,9 і 39,2 см), що свідчить про нагромадження переважно великої деревини.

У насадженнях 71- та 75-річного віку бонітет модрини знижується до I^a-I^b класів за середніх висот 28,6 і 32,4 м за досить високих показників середнього діаметра (43,2 і 46,9 см). Запас стовбурової деревини модрини порівняно невисокий і залежить від участі модрини у складі насадження.

У насадженні 108-річного віку за збереженості 9,3%, середніх висоти і діаметра 29,1 м та 46,4 см, участі в складі 6 од. *L. kaempferi* нагромаджує порівняно невисокий обсяг деревини. Проте об'єм стовбура достатньо високий – 2,2 $м^3$.

Загальні тенденції ходу росту двох середніх модельних дерев *L. kaempferi* в умовах свіжої грабової діброви досить подібні (рис. 1). Найінтенсивніший ріст деревного виду за висотою спостережено в період 10-23 роки, після чого він дещо знижується. Високоінтенсивний ріст за діаметром спостережено впродовж 8-25 років. Подібні тенденції зафіксовано і в ході росту за об'ємом.

Наведені нами дані дуже подібні до таких, отриманих Kim et al. (2013). За результатами досліджень у лісових насадженнях Кореї, швидкість росту *L. kaempferi* за висотою і діаметром дуже висока до 24 років, після чого зазвичай темпи росту сповільнюються. Саме до цього віку природний відпад дерев найбільший, після чого настає період стабілізації.

Xunru & Zhuokui (2001) також вказують на *L. kaempferi* як на високопродуктивний вид ранньої стадії росту, період дозрівання якого становить близько 35 років. При цьому дуже швидкий період росту становить близько 6-8 років. Завдяки сильній здатності до екологічної адаптації, модрина Кемпфера є ідеальним видом для вирощування у насадженнях з коротким оборотом рубки.

Із збільшенням густоти *L. kaempferi* у лісових культурах у всіх досліджених вікових періодах свіжого і вологого груду запас її стовбурової деревини зростає, причому дуже суттєво (рис. 2, 3).

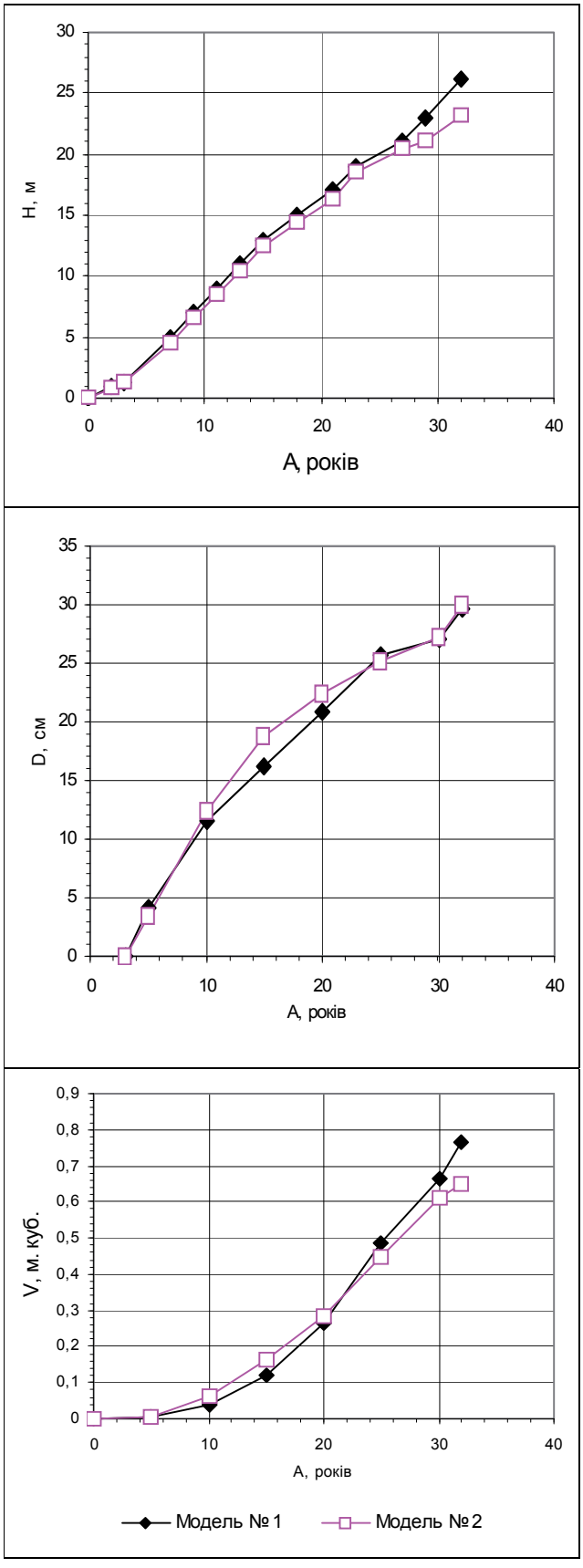


Рис. 1. Хід росту середніх модельних дерев *L. kaempferi* за основними таксаційними показниками на пробній ділянці № 2ст-мд в типі лісу D_2-*гД* Великопільського л-ва Страдчівського НВЛК (Львівська обл.)

Дещо менш помітне зростання запасу спостерігаємо лише у віковому періоду 31-40 років свіжого груду. Запас 21-30-річних насаджень модрини за більшої густоти є значно вищим, однак наші дослідження модринових насаджень в цьому віковому діапазоні обмежені тільки густотою 250 шт.·га$^{-1}$ (див. рис. 2).

Результати досліджень Kim Moonil et al. (2016) у районі Янпйонг-гун в Центральній Кореї підтверджують позитивний вплив зрідження плантації *L. kaempferi* на ріст деревного виду за діаметром (DBH), а також і на збільшення висоти. Розрідження сприяє зростанню DBH і висоти завдяки збільшенню горизонтальної відстані та зменшенню конкуренції між сусідніми деревами за чинники довкілля, насамперед – за сонячне світло та площу розвитку крони.

В умовах вологого груду у віці 31-50 років відмінність між запасом деревини у модринових насадженнях густотою 430-460 і 970 шт.·га$^{-1}$ є незначною (у межах 100 м^3·га$^{-1}$). Причина тут полягає в широкому віковому діапазоні досліджень (див. рис. 3). Відмінності у нагромадженні деревини у подібних типах лісорослинних умов також можна пояснити різним складом насаджень, різними екотипами породи за швидкістю росту. Проте в цьому та в попередньому дослідах чітко прослідковується тенденція до збільшення запасу стовбурової деревини модрини зі збільшенням її участі у складі, аж до 100%.

Вікові зміни запасу чистих модринників у різних типах лісорослинних умов подано на рис. 4. В умовах C_2 і D_3 криві практично накладаються одна на одну, тоді як помітну перевагу за запасом деревини мають насадження *L. kaempferi* саме в умовах D_2. Досліджена нами тенденція визначається обсягами проміжного користування в модринових культурах, а вони є найбільшими саме у вологих грудах, оскільки саме тут продуктивність модрини найвища.

Сказане підтверджується дослідженнями зміни об'єму середнього дерева *L. kaempferi* в чистих насадженнях різних типів лісорослинних умов (рис. 5). Найвищу інтенсивність росту за показником $V_{ср}$ зафіксовано в умовах D_3, найнижчу – в умовах C_2 і при цьому відмінність в об'ємі середнього дерева впродовж усього досліджуваного вікового періоду (20-100 років) дуже суттєва.

Участь *L. kaempferi* у складі помітно впливає на запас деревини насадження загалом (рис. 6). Тенденції збільшення запасу стовбурової деревини із збільшенням участі модрини є дуже подібними до таких із збільшенням густоти (див. рис. 2). Тобто найпродуктивнішими є чисті модринові насадження.

Динаміку середніх таксаційних показників *L. kaempferi* в умовах C_2 досліджено для 50-60- і 90-100-ної участі деревного виду у складі (рис. 7-9). В усіх випадках існує перевага модрини в рості за висотою, діаметром та об'ємом саме в чистих насадженнях.

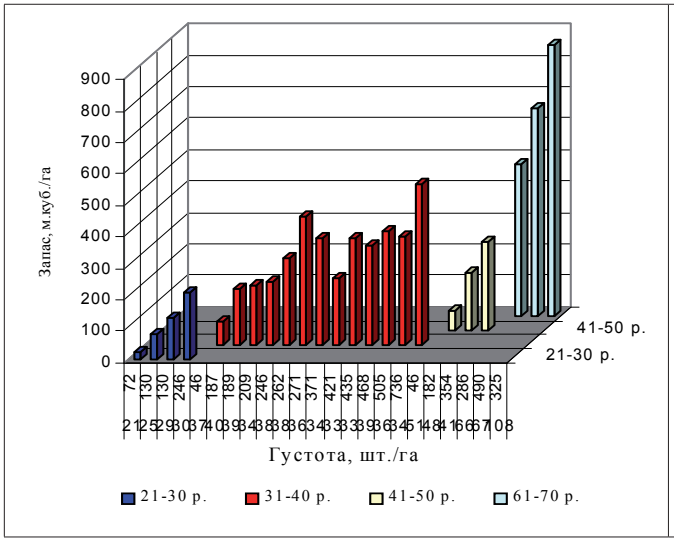


Рис. 2. Вплив густоти на запас стовбурової деревини *L. kaempferi* в культурах свіжого груду Західного Лісостепу за віковими періодами

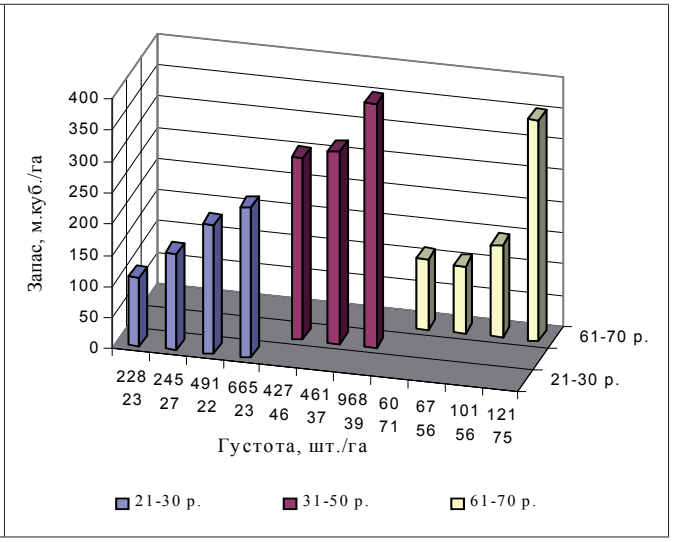


Рис. 3. Вплив густоти на запас стовбурової деревини *L. kaempferi* в культурах вологого груду Західного Лісостепу за віковими періодами

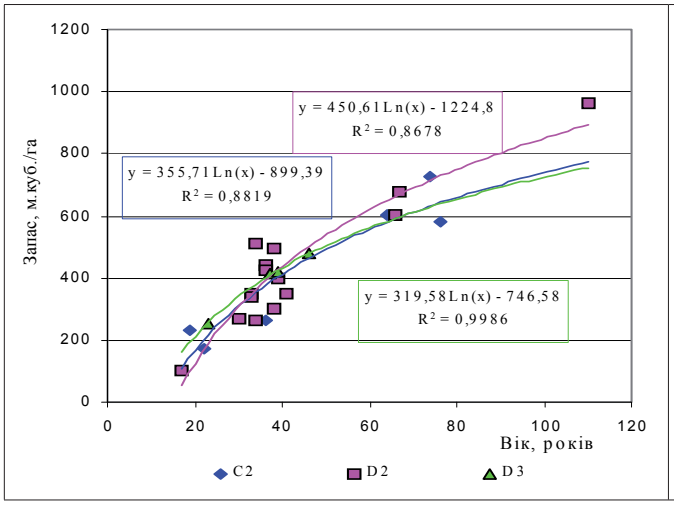


Рис. 4. Вікові зміни запасу деревини у чистих насадженнях *L. kaempferi* в різних типах лісорослинних умов Західного Лісостепу

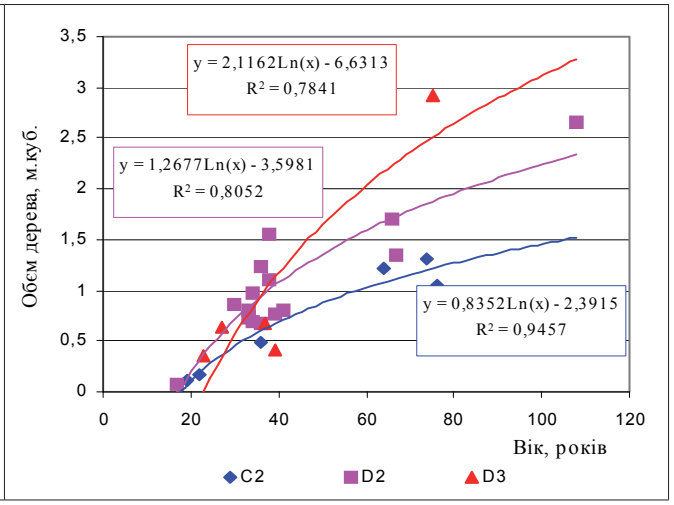


Рис. 5. Зміна об'єму середнього дерева *L. kaempferi* в чистих насадженнях різних типів лісорослинних умов

В умовах D_3, де ріст *L. kaempferi* найінтенсивніший, досліджені нами тенденції мають дещо інший характер. Тут найнижчий об'єм середнього дерева породи зафіксовано саме в чистих модринових насадженнях (рис. 10-12). Сильний антропогенний вплив саме в чистих модринниках вологого груду суттєво впливає на зниження середніх таксаційних показників породи. При цьому в насадженнях за участю модрини в 4-5 од. породу майже не вибирають внаслідок її невисокої густоти і складності проведення самого процесу рубки. Тому і таксаційні показники модрини в таких культурах найвищі.

Подібну тенденцію вікової зміни таксаційних показників *L. kaempferi* встановлено і для умов свіжого груду. Практично найвищі середні показники висоти, діаметра та об'єму дерева мають насадження з найменшою участю породи. Проте найвищий запас стовбурової деревини нагромаджують все-таки чисті насадження внаслідок значної кількості дерев. Така тенденція підтверджує доцільність культивування чистих насаджень із модрини Кемпфера.

Площа живлення одного дерева модрини закономірно зростає зі збільшенням віку насаджень. Однак певної тісноти зв'язку між площею живлення модрини та її таксаційними показниками не встановлено ($r < 0,30$). За нашими дослідженнями, між площею живлення та різними таксаційними показниками модрини можна коректно встановити тісноту зв'язку тільки у чистих насадженнях різних вікових груп за рівномірного розміщення хвойної породи у деревостані.

Larix kaempferi має схильність до формування потужної крони, що суттєво знижує якість стовбура та його об'єм (Olijnyk, 1991; Debryniuk, 2007). Водночас щільна крона дає модрині змогу формувати однопородні фітоценози високої продуктивності. Негативну властивість породи формувати потужну крону можна усунути шляхом створення чистих густих на-

саджень, де модрина мала б змогу нарощувати тільки висотний приріст. Однак перегущені культури можуть серйозно пошкоджуватися негативною дією абіотичних чинників. Тому початкове розміщення садивних місць повинно становити 2,0-3,0 × 1,0-1,5 м з урахуванням типу лісорослинних умов, що відповідає густоті 3,3…5,0 шт.·га$^{-1}$ (Debryniuk, Krynitskyy, & Tselen, 2016). Початково густі лісові культури *L. kaempferi* дадуть змогу швидко довести насадження до стадії зімкнення, обмежити розвиток крон та інтенсифікувати висотний приріст.

Високі запаси стовбурової деревини модрини у чистих середньовікових насадженнях свідчать про перспективу створення і вирощування таких деревостанів, як найбільш високопродуктивних та біотично стійких.

Досліджені нами чисті модринники мають високу продуктивність і стійкість, а внаслідок слабкого потрапляння світла під намет деревостанів грунт залишається незадернілим. Створення чистих культур з відносно густим розташуванням садивних місць дасть змогу в процесі рубок догляду отримати тонко- та середньомірну деревину, що зробить економічно доцільним проведення цього лісівничого заходу.

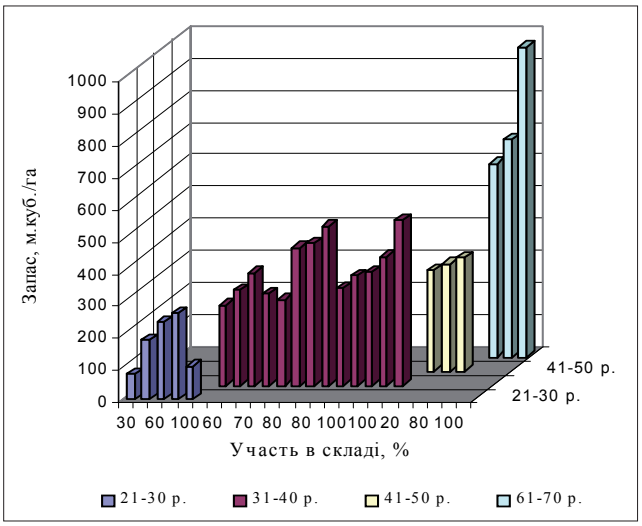


Рис. 6. Вплив участі *L. kaempferi* на запас стовбурової деревини насадження в умовах D_2 різних вікових періодів Західного Лісостепу

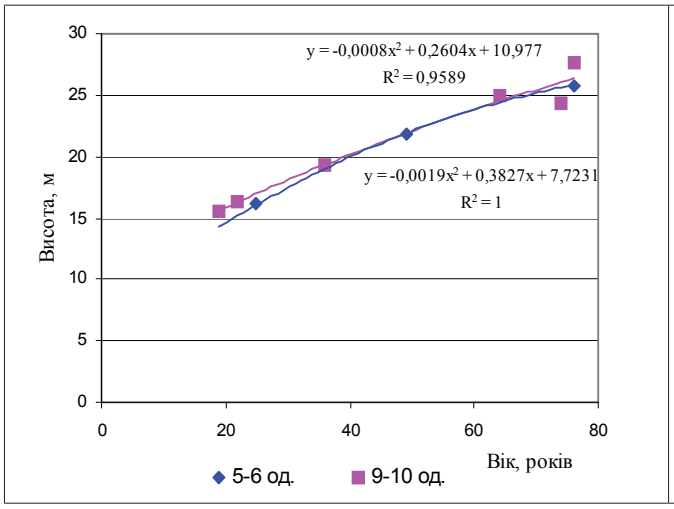


Рис. 7. Динаміка середньої висоти *L. kaempferi* у штучних насадженнях свіжого сугруду Західного Лісостепу

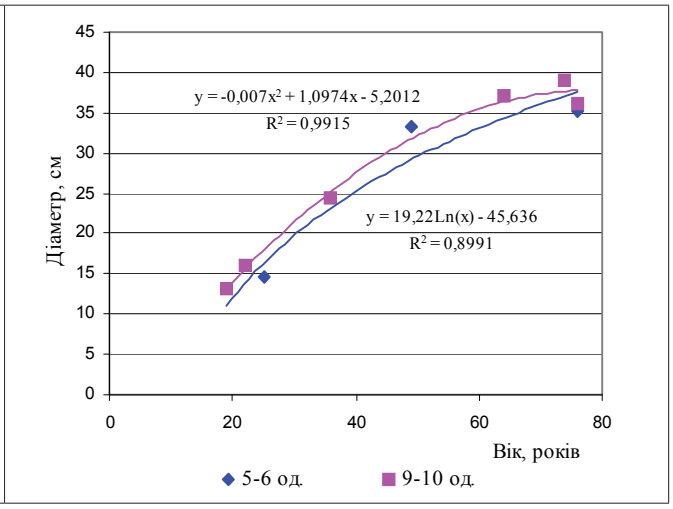


Рис. 8. Динаміка середнього діаметра *L. kaempferi* у штучних насадженнях свіжого сугруду Західного Лісостепу

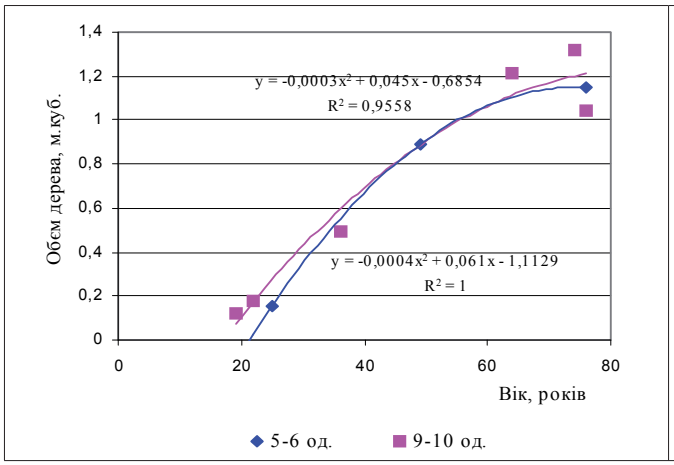


Рис. 9. Динаміка об'єму середнього дерева *L. kaempferi* у штучних насадженнях свіжого сугруду Західного Лісостепу

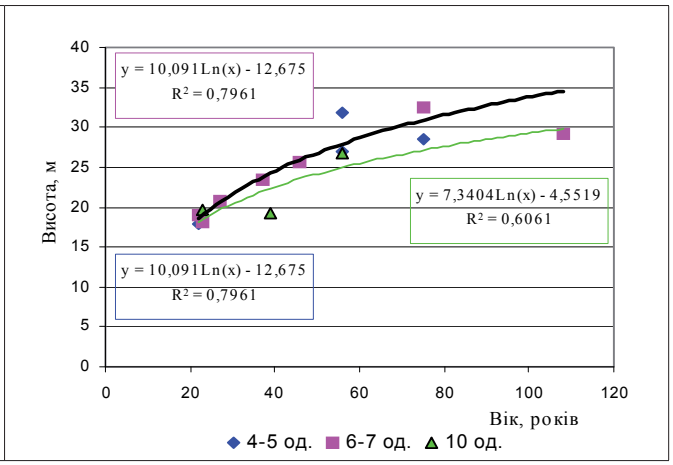


Рис. 10. Динаміка середньої висоти *L. kaempferi* у штучних насадженнях вологого груду Західного Лісостепу

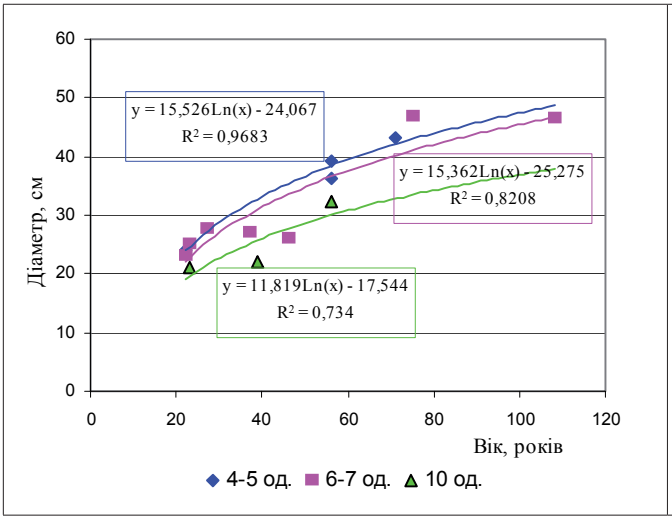


Рис. 11. Динаміка середнього діаметра *L. kaempferi* у штучних насадженнях вологого груду Західного Лісостепу

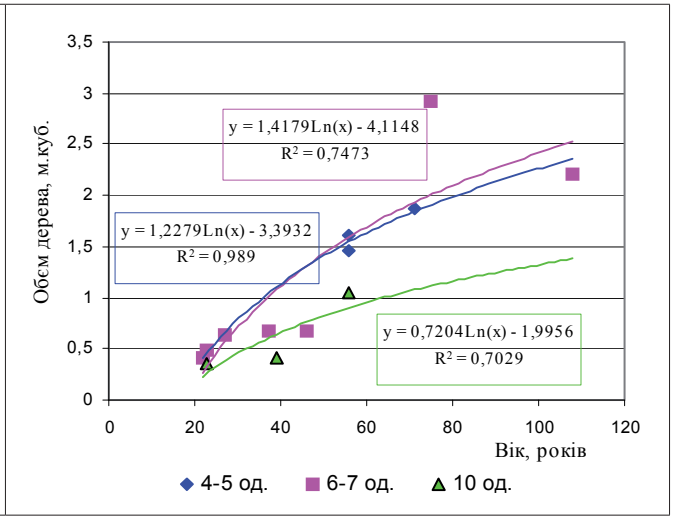


Рис. 12. Динаміка об'єму середнього дерева *L. kaempferi* у штучних насадженнях вологого груду Західного Лісостепу

Висновки. У Західному Лісостепу України *Larix kaempferi* відзначається дуже високими інтенсивністю росту та конкурентоздатністю в молодому віці, переважно витісняючи зі складу насаджень інші деревні види за різної ширини міжрядь – 2,5...4,0 м. Введення в культури модрини окремих рядів, ланок чи садивних місць листяних порід є недоцільним заходом, оскільки до 20-річного віку вони майже повністю витісняються із складу насадження і модрина отримує додатковий простір для інтенсивного розвитку крон.

В умовах свіжого сугруду, свіжого і вологого груду *L. kaempferi* відзначається високою інтенсивністю росту в чистих і мішаних насадженнях, однак тип лісорослинних умов виявляє певний вплив на цей показник. Узагальнення середніх показників висоти модрини за типами лісорослинних умов відображається такими класами бонітету деревного виду у чистих і мішаних насадженнях. Так, в умовах C_2 модрина росте в насадженнях 15-25-річного віку за I^c-I^d, 30-35-річного – I^b-I^c, у насадженнях більше 50 років – за I^a класами бонітету. В умовах D_2 модрина росте в насадженнях 20-25-річного віку за I^c-I^e, 30-35-річного – за I^c-I^d, 36-40-річного – за I^c-I^d, 41-50-річного – за I^b-I^d, у насадженнях більше 60 років – I^a-I^b класами бонітету. В умовах D_3 модрина росте в насадженнях 20-25-річного віку за I^e, 35-45-річного – за I^d, 55-річного – за I^d, 71-75-річного – I^a-I^b, 100-річного – I класами бонітету.

Наведені дані підтверджують дещо менш інтенсивний ріст модрини у свіжих сугрудах. Поряд з цим, в умовах D_2 і D_3 ми не встановили відмінностей в інтенсивності росту модрини за висотою – її динаміка за віковими періодами відбувається дуже подібно.

У грудових умовах після 50-річного віку модрина знижує інтенсивність росту за висотою, тоді як приріст за діаметром продовжує залишатися високим.

Для отримання значного запасу стовбурової деревини доглядові рубки необхідно проводити з такою інтенсивністю, щоб у середньовікових (60-70 років) насадженнях кількість модрини на 1 га становила близько 500 шт. особин.

У чистих насадженнях модрина Кемпфера нагромаджує найвищі запаси стовбурової деревини, хоча її середні висота і діаметр тут можуть бути меншими, ніж у мішаних деревостанах. Поряд з цим, у разі встановлення в чистих культурах модрини густоти, близької до оптимальної, середні таксаційні показники хвойної породи подібні до таких у мішаних насадженнях.

Запас стовбурової деревини модрини у чистих і мішаних насадженнях усіх типів лісорослинних умов залежить від інтенсивності ведення рубок догляду. Регулярними розрідженнями деревостану можна встановити близьку до оптимальної кількість особин на одиницю площі в конкретні вікові періоди, що визначатиме нагромадження максимальних обсягів деревини.

Збереженість модрини навіть і в початково чистих насадженнях характеризується високою варіабельністю, причиною чого є різні підходи до інтенсивності проведення рубок догляду. Відсутність конкретної програми вирощування модринових насаджень щодо встановлення близької до оптимальної густоти у різні вікові періоди є причиною неповного використання едафічного потенціалу типів лісорослинних умов, недоотримання значних обсягів деревини, насамперед великої.

Тип лісорослинних умов, початкова густота та збереженість *L. kaempferi* у лісових культурах суттєво впливають на таксаційні показники деревного виду. Найвищі запаси стовбурової деревини модрина нагромаджує в насадженнях, де її участь у складі є максимальною.

Доцільно на певній території лісового фонду Західного Лісостепу та прилеглих територій створю-

вати чисті насадження із модрини Кемпфера з рівномірним розміщенням садивних місць на ділянці та постійним підтримуванням високої зімкнутості деревостану. Створювати плантаційні насадження цього деревного виду доцільно в умовах дібров і судібров, бучин і субучин, яличин і суяличин.

Як об'єкт плантаційного лісовирощування, *L. kaempferi* задовольняє низку важливих вимог: інтенсивний ріст та швидке нагромадження стовбурової деревини; проста технологія вирощування; відносно широка екологічна амплітуда; можливість успішного культивування в чистих насадженнях; цінна деревина; висока стійкість проти шкідників і хвороб; широкий діапазон застосування деревини; можливість ведення інтенсивного проміжного користування.

Отже, можливостям використання *L. kaempferi*, як елемента плантаційних лісових насаджень, варто відвести особливе місце, адже цікавість до вирощування цього деревного виду, як до одного із найбільш швидкорослого та цінного у господарському аспекті, не послаблюється.

References

A-Ram, Y., Jaehong, H., Minseok, Ch., & Sun-Wha, S. (2013). Soil Physical and Chemical Properties with Plantation Regions and Stand Age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* plantations. *Korean Society of Forest Science, 102* (4), 578-586. https://doi.org/10.14578/jkfs.2013.102.4.578

Barriola, M.-J., Aira, J.-R., & Lafuente, E. (2019). Visual grading criteria for Japanese larch (*Larix kaempferi*) structural timber from Spain. *Journal of Forestry Research.* https://doi.org/10.1007/s11676-019-01025-5

Belelia S.O., & Debryniuk, Iu.M. (2017). *Cultivating species of Larix L. genus in artificial plantations of the Western Polissia of Ukraine*. Lviv: Galician Publishing Union (in Ukrainian).

Chang Cheng-hu, Ju Tian-zhen, Wang Qin-hua, & Cao Chun (2005). Nutrient Characteristic Analyse of Soil under Larch Plantation from Japan on Mountain Xiaolong, Gansu. *Journal of Fujian Forestry Science and Technology*, *32* (3), 55-57. https://doi.org/10.13428/j.cnki.fjlk.2005.03.014

Debryniuk, Iu.M. (2008). Viability and growth features of *Larix leptolepis Gord*. in artificial plantations of the Western Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 18* (10), 7-18. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2008/18_10/index.htm (in Ukrainian).

Debryniuk, Iu.M. (2007). *Plantation forest cultures in Western Forest-steppe of Ukraine: conception, methodology, resource potential* (Doctoral dissertation, Ukrainian National Forestry University, Lviv, Ukraine). Retrieved from https://otherreferats.allbest.ru/agriculture/00454280_1.html (in Ukrainian).

Debryniuk, Iu.M., Krynitskyy, G.T., & Tselen, Ya., P. (2016). *Technology of forest plantation cultivation in the western region of Ukraine*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).

Deliang Lu, G., Geoff Wang, Jinxin Zhang, Yunting Fang, Chunyu Zhu, & Jiaojun Zhu (2018). Converting larch plantations to mixed stands: Effects of canopy treatment on the survival and growth of planted seedlings with contrasting shade tolerance. *Forest Ecology and Management, 409* (1), 29-37. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.11.017

Dengler, A., & Röhrig, E. (1980). *Waldbau auf ökologischer Grundlage.* Bd. 1. Hamburg und Berlin: Verlag Paul Parey.

Fuchylo, Ya.D., & Sbytna, M.V. (2012). Features of growth of coniferous introduced in the Ukrainian Carpathians. *Forestry and landscape gardening*, *1*, 27-32. Retrieved from http://ejournal.studnubip.com/ (in Ukrainian).

Gang Qun, Qiaoling Yan, & Jiaojun Zhu (2015). Effects of thinning on early seed regeneration of two broadleaved tree species in larch plantations: implication for converting pure larch plantations into larch-broadleaved mixed forests. *An International Journal of Forest Research, 88* (5), 573-585. https://doi.org/10.1093/forestry/cpv025

Gerushynsky, Z.Yu. (1996). *Forest typology of the Ukrainian Carpathians.* Lviv: Piramida (in Ukrainian).

Girs, O.A., Manita, O.H., Myronjuk, V.V., Swingchuk, V.A., & Berezovsky, L.M. (2013). *Forest Inventory Directory*. Kyiv: Vinichenko Publishing House (in Ukrainian).

Goroshko, M.P., Myklush, S.I., & Khomyuk, P.G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).

Hartmut, P. (1987). The Japanese larch in Rheinland-Pfalz. *Allgemeine Forstzeitschrift*, *26*, 669-672 (in German).

Jung, Mun-Ho, Lee, Don-Koo; & Um, Tae-Won (2007). Differences of Nutrient Input by Throughfall, Stemflow and Litterfall between Deciduous Forest and *Larix kaempferi* Plantation in Mt. Joonwang, Kangwon-do. *Korean Journal of Soil Science and Fertilizer, 40* (2), 136-144. Retrieved from http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=KR2008002197

Junyu Li, Qingxue Guo, Jinxin Zhang, Korpelainen H., & Chunyang Li (2016). Effects of nitrogen and phosphorus supply on growth and physiological traits of two *Larix* species. *Environmental and Experimental Botany, 130*, 206-215. doi.org/10.1016/j.envexpbot.2016.06.006

Kim, Se-Mi, An, Ji-Hong, Lim, Yun-Kyung, Pee, Jung-Hun, Kim, Gyung-Soon, Lee, Ho-Young… Lee, Chang-Seok (2013). Ecological Changes of the Larix kaempferi Plantations and the Restoration Effects Confirmed from the Results. Korean. *Journal of Ecology and Environment, 46* (2), 241-250. https://doi.org/10.11614/KSL.2013.46.2.241

Mauryn, A.M. (1970). *Experience in the introduction of woody plants in the Latvian SSR*. Riga: Zynatne (in Russian).

Melnyk, P.H., Merzlenko, M.D., & Lobova, S.L. (2016). The results of growing larch climatypes in provenance trial plantation of the northeastern Moscow Region. *Bulletin of Altai State Agrarian University, 2* (136), 62-67. Retrieved from http://www.asau.ru/vestnik/2016/2/ (in Russian).

Moonil Kim, Woo-Kyun Lee, Yoo-Seoung Kim, Chul-Hee Lim, Cholho Song, & Taejin Park (2016). Impact of thinning intensity on the diameter and height growth of *Larix kaempferi* stands in central Korea. *Forest Science and Technology*, *12* (2), 77-87. https://doi.org/10.1080/21580103.2015.1075435

Nagaike, T. (2002). Differences in plant species diversity between conifer (*Larix kaempferi*) plantations and broad-leaved (*Quercus crispula*) secondary forests in central Japan. *Forest Ecology and Management*, *168* (1-3), 111-123 https://doi.org/10.1016/S0378-1127(01)00734-4

Nagaike T., & Hayashi, A. (2004). Effects of extending rotation period on plant species diversity in Larix kaempferi plantations in central Japan. *Annals of Forest Science, 61*, 197-202. https://doi.org/10.1051/forest:2004012

Olijnyk, I.J. (1977). *Japanese larch in forest stands of the western regions of the Ukrainian SSR.* (Doctoral dissertation, Kharkov Agricultural Institute, Kharkov, Ukraine) (in Russian).

Olijnyk, I.J. (1991). Japanese larch is a valuable species for intensive forest cultivation. *Folia dendlogica*, *18*, 223-233 (in Russian).

Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology*. Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian).

Paques, L.E. (1992). Performance of vegetatively propagated *Larix decidua*, *L. kaempferi*, and *L. laricina hybrids*. *Ann. Sci. Forest., 1*, 63-74.

Peshko V.S. (1965). *Larch in the plantations of the western regions of the Ukrainian SSR* (Doctoral dissertation, The V.V. Dokuchaev Kharkov Agricultural Institute. Kharkov, Ukraine). Retrieved from https://search.rsl.ru/ru/record/01006464466 (in Russian).

Qu, Laiye (2016). Ecophysiological Study on the Natural Regeneration of the Two Larch Species with Special References to Soil Environment in Larch Forests. *Eurasian Journal of Forest Research, 19* (1), 1-51. Retrieved from http://hdl.handle.net/2115/67935

Vollbrecht, G., Johansson, U., Eriksson, H., & Stenlid, J. (1995). Butt rot incidence, yield and growth pattern in a tree species experiment in southwestern Sweden. *Forest Ecology and Management, 76* (1-3), 87-93. https://doi.org/10.1016/0378-1127(95)03550-T

Wang Hong, Sun Xiao, Chen Dong, Shen Ya, & Ma Jian (2012). Changes of Soil Physical and Chemical Properties at Different Developmental Stages of *Larix kaempferi* Plantations in Xiaolongshan, Gansu Province. *Forest Research, 25* (3), 294-301. Retrieved from http://lykx.chinajournal.net.cn

Xunru, A., & Zhuokui, S. (2001). Study on the biomass and growth of Larix Kaempferi. *Journal of Hubei Institute for Nationalities (Natural Science), 19* (2), 20-22. https://europepmc.org/article/cba/353592

Yang, A-Ram, Hwang, Jaehong, Cho, Minseok, & Song, Sun-Wha (2013). Soil Physical and Chemical Properties with Plantation Regions and Stand Age in *Pinus rigida* and *Larix kaempferi* Plantations. *Journal of Korean Society of Forest Science*, *102* (4), 578-586. https://doi.org/10.14578/jkfs.2013.102.4.578

Yeongwan Seo, Daesung Lee, & Jungkee Choi (2018). Growth pattern analysis of major coniferous tree species in South Korea. *Journal Forest Science and Technology, 14* (1), 1-6. https://doi.org/10.1080/21580103.2017.1409660

Zhao Kun, Cao Fu-qing, Jiao Yun-de, Ding Mi-tian, et al. (2002). On the first planting density of *Larix kampferi* (Lamb.) Carr in West Henan Province. *Journal of Henan Agricultural University*. Retrieved from http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=CN2003081083

Zhivitsky Z.N. (1968). *Larch in the Ukrainian Carpathians* (Doctoral dissertation, The K.A. Timiryazev Moscow Agricultural Academy, Moscow, Russia). Retrieved from https://rucont.ru/efd/39670 (in Russian).

Larix kaempferi Carr. как перспективный древесный вид для плантационного лесовыращивания в лесных насаждениях Западной Лесостепи Украины

Ю.М. Дебринюк[1]

По результатам исследований получен материал, который отражает основные аспекты роста и накопления древесины *Larix kaempferi* в насаждениях различных типов лесорастительных условий, разного состава и возраста.

В Западной Лесостепи Украины *L. kaempferi* характеризуется очень высокими интенсивностью роста и конкурентоспособностью в молодом возрасте, вытесняя из состава насаждений другие древесные виды при различной ширине междурядий – 2,5...4,0 м. Вводить в культуры лиственницы

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

отдельные ряды, отдельные саженцы или звенья саженцев других древесных видов нецелесообразно, поскольку до 20-летнего возраста они почти полностью вытесняются из состава, вследствие чего лиственница получает дополнительное пространство для интенсивного развития кроны.

L. kaempferi имеет склонность к формированию мощной кроны, что существенно снижает качество ствола и его объем. Вместе с тем, достаточно плотная крона дает ей возможность формировать устойчивые однопородные искусственные фитоценозы высокой производительности. Поэтому отрицательное свойство породы образовывать мощную крону можно устранить путем создания чистых густых насаждений. Однако перегущенные культуры могут серьезно повреждаться воздействием различных абиотических факторов. Поэтому первоначальное размещение посадочных мест должно составлять 2,0 × 1,3-1,5...3,0 × 1,0-1,5 м с учетом типа лесорастительных условий, что соответствует густоте 3,3...5,0 шт.· га$^{-1}$.

Запас древесины зависит от количества деревьев лиственницы в насаждении и варьирует в значительных пределах. Даже в культурах с преобладанием лиственницы (8-10 ед.) запас стволовой древесины может быть относительно невысоким и к тому же отличаться значительной вариабельностью (272-406 м^3·га$^{-1}$). Показатель запаса свидетельствует о высокой интенсивности промежуточного пользования в лиственничниках 35-40-летнего возраста и отсутствие определенного подхода в отношении этих самых объемов пользования. Наивысшие запасы древесины лиственница накапливает в насаждениях, где ее участие в составе максимально.

У молодых и средневозрастных насаждениях свежих относительно богатых типов лесорастительных условий *L. kaempferi* растет менее интенсивно (I^a-I^d бонитет), тогда как в свежих и влажных богатых условиях бонитет лиственничных насаждений заметно выше (I^b-I^e). В исследованных лесорастительных условиях после 50-летнего возраста лиственница заметно снижает рост по высоте, тогда как прирост по диаметру продолжает увеличиваться.

В чистых насаждениях *L. kaempferi* накапливает высокие запасы стволовой древесины, хотя ее средние высота и диаметр здесь могут быть несколько ниже, чем в смешанных древостоях. Наряду с этим, в случае установления в чистых культурах лиственницы густоты, близкой к оптимальной, средние таксационные показатели хвойной породы приближаются к таковым в смешанных насаждениях.

Сохранность лиственницы даже в изначально чистых насаждениях значительно варьирует, причиной чего являются различные подходы к интенсивности проведения рубок ухода. Отсутствие конкретной программы выращивания лиственничных насаждений по установлению близкой к оптимальной густоте в разные возрастные периоды является причиной неполного использования эдафического потенциала типов лесорастительных условий, недополучения значительных объемов древесины.

Как перспективный объект плантационного лесовыращивания, *L. kaempferi* удовлетворяет ряд важных требований: интенсивный рост и быстрое накопление стволовой древесины; простая технология выращивания; относительно широкая экологическая амплитуда; возможность культивирования в чистых насаждениях; ценная древесина; устойчивость против вредителей и болезней; широкий диапазон применения древесины; возможность ведения интенсивного промежуточного пользования.

Ключевые слова: типы лесорастительных условий; лесные культуры; густота; размещение посадочных мест; сохранность лиственницы; ход роста; таксационные показатели; запас стволовой древесины.

Larix kaempferi Carr. as a promising woody species for plantation forest growing in forest stands of the Western Forest-Steppe of Ukraine

Iu. Debryniuk[1]

Based on the research results, material was obtained that reflects the main aspects of the growth and accumulation of *Larix kaempferi* wood in stands of various types of forest growth conditions, of different composition and age.

In the Western Forest-Steppe of Ukraine, *L. kaempferi* is characterized by a very high growth rate and competitiveness at a young age, displacing other tree species from the stands with different row spacing – 2.5...4.0 m. It is not advisable to introduce individual rows, individual seedlings, or links of seedlings of other tree species into larch cultures, since they are almost completely displaced from the composition by the age of 20 years, as a result of which larch receives additional space for the intensive development of the crowns.

L. kaempferi has a tendency to form a powerful crown, which significantly reduces the quality of the trunk and its volume. At the same time, a fairly dense crown enables it to form steady-state, single-

[1] *Iurii Debryniuk* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Academician-Secretary of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Agricultural Sciences, Professor of the Department of Forest Crops and Forest Selection. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel .: 032-235-30-12, + 38-067-195-78-36. E-mail: debrynuk_ju@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-0994-349X.

species artificial phytocoenoses of high productivity. Therefore, the negative property of the species to form a powerful crown can be eliminated by creating pure, dense stands. However, exceedingly dense plantations can be seriously damaged by various abiotic factors. Therefore, the initial placement of planting spots should be 2.0 × 1.3-1.5...3.0 × 1.0-1.5 m, taking into account the type of forest growth conditions, which corresponds to a density of 3.3...5. 0 pcs. · ha^{-1}.

Timber volume depends on the number of larch trees in the plantation and varies significantly. Even in plantations with a predominance of larch (8-10 units), the stock of stem wood is relatively low and is also characterized by significant variability (272-406 m^3 · ha^{-1}), which indicates a high intensity of intermediate use in larch forests of 35-40 years old age and lack of a specific approach in relation to the use of these volumes. The larch accumulates the highest timber volume in the stands, where its participation in the composition is maximized.

In young and middle-aged stands of fresh fairly rich types of forest site conditions, *L. kaempferi* grows less intensively (I^a-I^d site class), while in fresh and moist rich site conditions, the larch stand site class is significantly higher (I^b-I^c). Under the investigated forest growth conditions, after 50 years of age, larch significantly reduces growth in height, while the growth in diameter continues to increase.

In pure stands, *L. kaempferi* accumulates high volumes of stem wood, although its average height and diameter are noticeably smaller than in mixed stands. At the same time, if the density of pure larch plantations is close to the optimum, the average mensurational indexes of conifers approach those in mixed plantations.

The survival of the larch even in the initially pure plantations varies considerably. This is due to the different approaches to the intensity of tending felling. The absence of a specific program for growing larch plantations to establish a density that is close to optimal for different age periods is the cause of underutilization of the edaphic potential of various forest growth conditions and, as a result, there is a shortage in supply of significant volumes of wood.

As a promising object for plantation silviculture, *L. kaempferi* meets a number of important requirements: intensive growth and rapid accumulation of stem wood; simple cultivation technology; relatively wide ecological amplitude, the possibility of cultivation in pure stands, valuable wood; resistance against pests and diseases; wide range of wood applications; the possibility of conducting intensive intermediate forest management.

Key words: types of forest growth conditions; forest plantations; density; placement of planting spots; larch survival; growth rate; mensurational indexes; volume of stem wood.

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412010
Article received 2020.01.10
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Svitlana Los
svitlana_los @ukr.net
Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine

UDC 630.165.6

Morphological variability of *Quercus robur* L. plus trees and clones in Podillia

S. Los[1], L. Smashnuk[2]

The results of the study of English oak (Quercus robur L.*) plus trees based on the morphological features of their leaves, acorns, and peduncles are presented. Samples were collected from both plus trees in forest stands and clones in clonal archive of English oak in Vinnytsia Region. In total, 41 trees were analyzed by 7 features of their leaves and 30 of those trees – by 9 morphological features of their acorns and peduncles. A point assessment was used for nonmetric indicators.*

To compare plus trees by morphological features, the graphical method of morphotypes image representation with the usage of radar charts is suggested. Given that absolute indicators may depend on the year's weather conditions, only relative indicators assessed in points were used to plot charts.

The average indices for the trees as well as the variability level between them are determined. The most variable features were identified and offered to use for clone identification.

It has been suggested that 8 plus trees whose leaves' base is rounded are the hybrids of English and sessile oaks.

It is confirmed that all the studied plus trees of Vinnytsia origin differed in one or several morphological features of their leaves, acorns, or peduncles. However, two plus trees of Odesa origin were similar in their leaves' characteristics and two clones of Vinnytsia origin were similar in their acorns and peduncles' features.

It is noted that the use of morphological indicators of leaves and reproductive organs, taken as a whole, allows obtaining a rather complete description of a plus tree or its clone, and the usage of the graphical method allows determining the difference and similarity of individuals and their groups. Graphic images of morphotypes given as radar charts can be used to compare individuals, their groups, populations, variants in both progeny test and provenance trial, so to identify clones in clonal seed orchards.

Key words*: leaf; lamina; acorn; cap; peduncle; point assessment; morphotype.*

Introduction. Morphological studies have always been a basis for a systematic approach in determining plant species and cultivars. Nowadays, despite a significant role of molecular methods, morphological methods are still of great importance (Ponton et al., 2004; Pochynok, 2012). We assume they will still be important in the future as well, due to a man's visual perception of the outworld. Besides, data on plant species morphology is important enough for paleobotany (Denk, 2019). In plant breeding, clones and cultivars must be clearly different from any other cultivar by its morphological features (Lone, 2011; Singh, 2012; Chitwood et al., 2014). To simplify and unify making descriptions of cultivars, the International

[1] *Svitlana Los* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Agricultural Sciences, Head of Laboratory of Forest Tree Breeding of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Pushkinska str., 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. Tel.: 057-707-80-77, +38-097-138-97-92. E-mail: svitlana_los@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6341-2745

[2] *Lyudmila Smashnyuk* – researcher of Vinnitsa Forest Research Station of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Maximovicha str., 39, Vinnitsa, 21036, Ukraine. Tel.: +38-093-186-83-91. E-mail: smashnyuk.lyudmila@yandex.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1011-5018

Union for the Protection of New Varieties of Plants (UPOV) has developed special protocol (UPOV, 2018) and descriptors for a lot of species (Descriptor, 2008). There has not been such a descriptor for English oak (*Quercus robur* L.) yet. Scientists from INRA developed Assessments of oak leaf morphology (Kremer et al., 2002), but they are meant to identify interspecies differences only.

The morphological variability of English oak has been studying in Ukraine for a long time. Thus, as early as in the last century, the variability of oak morphological features was studied by P. S. Pogrebniak (1926), A. S. Machinskyi (1927), V. N. Andreyev (1927-1928), S. S. Piatnitsky (1961), A. N. Kryvosheya (1969), N. I. Davydova & A. I. Kozhokina (1974).

Modern researchers more and more often use possibilities of computer programs for analyzing morphological features of species (Kremer et al., 2002; Viscosi et al., 2009; Bakiş & Babaç, 2014; Fortini, Di Marzio, & Di Pietro, 2016; Di Pietro et al., 2016; Stephana et al., 2018) or populations (Ballian et al., 2015; Batos et al., 2017), while individual variability still stays out of sight.

Meanwhile, the individual features of plus trees have a key role in both the clone identification in clonal seed orchards (CSO) and clarification of the schemes of their location.

Our previous research in Kharkiv Region identified characteristic morphological features of clones growing in CSO. We also described certain patterns of individual variability by the leaf laminas' shapes, by the form of clones' acorns (Los & Borisova, 2002), as well as by the morphological features of the peduncles, inflorescences, and flowers (Los, 2009). Despite the notable experience in oak selection in Podillia, the morphological features of the plus trees in this region have not been thoroughly studied.

Objects and methods. *The object of the research* is English oak variability. *The subject of the research* is the English oak plus trees variability. *The aim of the research* was to analyze the English oak plus trees variability the Podillya by the morphological features of the vegetative and reproductive organs.

The samples of leaves, acorns, and peduncles were collected from English oak plus trees in the forest stands at Zabolotniansky and Rudnytsky forestries in SE 'Kryzhopilsky Forest Enterprise', Zhmerynsky forestry in SE 'Zhmerynsky Forest Enterprise' and from the plus trees clones in the clonal archive (CA) at Voronovystky forestry in SE 'Vinnytsia Forest Enterprise' in Vinnytsia Region (Tab. 1). We analyzed leaves of 41 plus trees, 32 of which were of Vinnytsia origin, 3 – of Ternopil origin, 2 – of Khmelnytskyi, and 4 – of Odesa origin. Peduncles and acorns were collected from 30 individuals.

The methodology of studying the variability of the oak tree included analysis of the morphological features of leaves, acorns, caps, and peduncles according to our previously suggested methods (Los & Borisova, 2002), with some specification.

Table 1

Plus trees and sample collection location

Plus trees location		Plus tree index by State register	Clone code	Sample collection location
Forest Enterprise	Forestry			
Vinnytsia Region				
Vinnytsky	Prybuzke	17	V-17	CA[1]
Vinnytsky	Yakushynetske (Yak)	19, 20, 22, 23, 25, 26	V-19, 20, 22, 23, 25, 26	CA
Kryzhopilsky	Zabolotnianske (Zb)	40, 42, 43	V-40, 42, 43	CA
Kryzhopilsky	Zabolotnianske	44 ,45, 46, 47, 48, 78, 80, 81, 84, 105, 108	V-44,45, 46, 47, 48,78, 80, 81, 84, 105, 108	PT[2]
Kryzhopilsky	Rudnytske (Rud)	50, 51, 52, 53, 54, 101	V-50, 51, 52, 53, 54, 101	CA
Vinnytsky	Kalynivske (Kl)	74	V-74	CA
Zhmerynsky	Zhmerynske (Zhm)	134, 135, 136, 137	V-134, 135, 136, 137	PT
Ternopil Region				
Ternopilsky	Mykulynetske	13, 19, 20	T-13, 19, 20	CA
Khmelnytskyi Region				
Kamianets-Podilsky	Dunayevske	10, 60	Kh-10, 60	CA
Odesa Region				
Baltsky	Lisnychivske	12, 13, 14, 17	O-12, 13, 14, 17	CA

[1] Clonal archive
[2] Plus tree in the forest stands

The leaves were analyzed by 7 indicators, namely the petiole length, the leaf lamina length, the leaf lamina width, the ratio of leaf lamina width to its length, the leaf lobes depth, additional leaf lobes availability and the leaf base form. The petiole length, the length, and width of the leaf lamina were measured with a ruler. The ratio of the leaf lamina width to its length was calculated and further assessed in points. For nonmetric indicators we applied a point assessment. Thus, the leaf lobes depth, the additional leaf lobes availability, and the leaf base were assessed in points by the scale given in Tab. 2.

Table 2

Point assessment of morphological features of English oak leaves

Feature	Points				
	1	2	3	4	5
Width to length of leaf ratio (WLLR)	≤ 0.5	0.6	0.7	0.8	≥ 0.9
Petiole length (PtL)	≤ 0.4 cm	0.5–0.6 cm	0.7–0.8 cm	0.9–1.0 cm	≥ 1.1 cm
Leaf lobe depth (LLD)	< 1/3	appr. 1/3	appr. 1/2	appr. 2/3	> 2/3
Additional leaf lobes availability (ALLA)	not available	faintly marked on 1–2 lobes	faintly marked on most of the lobes	marked on 1–2 lobes	marked on most of the lobes
Leaf base form (LB)	cuneate	acute	rounded	cordate	auriculate

The reproductive organs were analyzed by 9 indicators. They are the peduncle length, the peduncle straightness, the acorns number on the peduncle, the underdeveloped ovaries number on the peduncle, the cap diameter, the cap depth, the acorn diameter, the acorn length, and the acorn form. The peduncle length was measured with a ruler and further assessed in points. The sizes of the caps and acorns were defined by means of a caliper. The peduncle straightness and acorn form were assessed in points (Tab. 3).

Furthermore, we analyzed the average indices for each feature and variation coefficients. The variability level of morphological features was estimated by means of the S.O. Mamayev scale: very low (CV < 7%); low (CV = 8-12%); medium (CV = 13-20 %); increased (CV = 21-30%); high (CV = 31-40%); very high (CV > 40%).

To compare plus trees by their morphological features, we suggest applying the graphical method when describing morphotypes, using at that the radar charts in MS EXCEL. Given that the metric indicators partly depend on the current year weather conditions, to make the charts we only used the relative indicators assessed in points.

Results and discussion. The plus trees had mostly medium or high variability level of their leaf size indices. The average indices of leaf length ranged from 7.5 to 12.5 cm, and those of leaf width – from 4.2 to 10.7 cm (Tab. 4).

At that, the variability of the leaf lamina width of individuals within the population was higher in most cases. The ratio of lamina width to its length which accounts for the leaf lamina form ranged from 0.5 (oblong) to 0.9 (wide-elliptic). This feature variability is low and medium.

A high variability level was found in indices of the leaf lamina length, the leaf lobe depth, and additional leaf lobes availability. Certain trees' indices ranged from 0.3 (very short) to 1.2 cm (very long). The indices of leaf lobe depth ranged from 2 (slight depth) to 5

(extensive depth) points. Additional lobes available to a different extent were found in 14 of the 32 trees of Vinnytsia origin. The study showed the presence of the plus trees with a rounded, cordate, and auricle leaf bases. Given that the characteristic feature of English oak leaf is a presence of auricles, it can be assumed that the 8 plus trees whose leaves have a rounded base are the hybrids of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* L.

Table 3

Point assessment of morphological features of the reproductive organs of English oak

Feature	Points				
	1	2	3	4	5
Peduncle length (PdL)					
	≤ 2.0 cm	2.1–5.0 cm	5.1–8.0 cm	8.1–11.0 cm	≥11.1 cm
Peduncle straightness (PS)	straight	slightly cranked	medium cranked	cranked	very cranked
Acorns number on peduncle (AN)	1.0–1.4	1.5–2.0	2.1–2.5	2.6–3.0	>3
Underdeveloped ovaries number on peduncle (UON)	<1	1.1–2.0	2.1–3.0	3.1–4.0	>4
Acorn form (AF)					
	fusiform	ovoid	elliptic	obovate	wide-elliptic

It is worth noting that the findings confirm the conclusions we had obtained before in Kharkiv Region (Los & Borisova, 2002) which showed a very high variability level between the clones by the leaf lobe depth and additional leaf lobes availability. It also points at the fact that plus trees mostly differ by these two features and thus, the leaf lobe depth and additional leaf lobes availability should be used to identify clones. Trees with identic leaves were not found in the study.

We detected 5 of the 7 leaf morphological features which had a higher variability level. Furthermore, we assessed those 5 features in points and used the data to create graphic images of the tree leaves morphotypes by means of the radar charts. As an example, Fig. 1 contains such images for leaves of clones V-23 and V-25, which differ in four features and are identic by one feature. The more apparent a certain feature is, the farther from the diagram center will be the angle corresponding to it (V-23). Smaller dimensions of a pentagon indicate a less marked feature (V-25). The coincidence of angles indicates the identity of the features (LS).

Table 4

Morphological features of the leaves of English oak plus trees of Vinnytsia origin

Plus tree code	Metric indicators				Point				
	LL, cm	WL, cm	WLR	PTL, cm	WLLR	PtL	LLD	ALLA	LB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V-17	12.5	8.1	0.6	0.7	2	3	4	0	4
V-19	10.2	7.3	0.7	0.7	3	3	2	2	3
V-20	9.0	5.8	0.6	0.9	2	4	2	0	4

Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
V-22	8.2	4.2	0.5	0.5	1	2	2	1	3
V-23	9.8	6.6	0.7	0.5	3	2	5	3	4
V-25	9.4	5.7	0.6	0.7	2	3	2	0	4
V-26	11.5	8.8	0.8	1.1	3	5	4	1	4
CV, % (Yak)	*14.7*	*23.6*	*14.6*	*27.4*	*33.1*	*34.0*	*32.7*	*122.4*	*15.7*
V-40	9.3	6.1	0.7	0.9	3	4	3	0	4
V-42	10.6	7.0	0.7	0.6	3	2	3	0	3
V-43	9.2	5.7	0.6	0.5	2	2	2	0	4
V-44	10.3	7.0	0.7	1.0	3	4	2	1	5
V-45	10.8	6.8	0.6	0.7	2	3	1	0	5
V-46	9.3	6.5	0.7	0.5	3	2	3	1	3
V-48	12.3	8.5	0.7	1.0	3	4	2	0	5
V-78	11.6	7.6	0.7	0.7	3	3	3	1	5
V-80	10.8	7.8	0.7	0.9	3	4	3	2	4
V-81	12.0	10.7	0.9	0.5	4	2	5	4	4
V-84	9.5	7.3	0.8	0.7	3	3	2	2	4
V-105	7.8	6.4	0.8	0.6	3	2	2	2	4
V-108	9.5	6.5	0.7	0.8	3	3	2	0	5
CV, % (Zb)	*12.7*	*17.8*	*11.2*	*24.6*	*16.9*	*29.5*	*37.3*	*119.0*	*17.7*
V-74	9.0	5.8	0.6	0.7	2	3	3	2	4
V-50	11.0	7.7	0.7	1.1	3	5	3	0	4
V-52	10.6	7.4	0.7	1.1	3	5	4	3	3
V-53	9.1	6.5	0.7	0.9	3	4	4	0	3
V-54	10.6	6.8	0.6	1.2	2	5	3	0	3
V-101	10.1	7.0	0.7	0.7	3	3	2	0	4
CV, % (Rd)	*7.1*	*6.6*	*4.4*	*22.4*	*16.0*	*20.3*	*26.3*	*205.2*	*14.9*
V-134	10.2	6.3	0.6	0.7	2	3	3	1	3
V-135	11.3	7.5	0.7	0.3	3	1	4	0	5
V-136	12.3	8.0	0.6	1.1	2	5	3	2	5
V-137	12.4	9.0	0.7	0.9	3	4	1	0	5
CV, % (Zm)	*8.9*	*14.6*	*7.0*	*46.6*	*23.1*	*52.5*	*43.9*	*127.7*	*22.2*
CV, % (total.)	*12.3*	*17.5*	*10.9*	*29.4*	*22.7*	*34.0*	*33.8*	*120.6*	*18.7*
CV, % (between populations)	*6.5*	*6.2*	*4.1*	*15.9*	*11.0*	*19.3*	*11.5*	*25.6*	*11.7*

The comparison the individual plus trees of two micropopulations (Fig. 2A and 2B) shows the absence of identical trees by their leaf morphotypes. Trees from A and B micropopulations are similar in the width to length leaf ratio and in the petiole length. However, they differ, as micropopulations A trees have deeper leaf lobes and additional leaf lobes marked more apparently. To compare trees of different origins, the morphological features of leaves of the plus trees clones from Ternopil, Khmelnytskyi, and Odesa Regions, which are growing in the clonal archive in Voronovytsky forestry, are given in Tab. 5. The variability of these plus trees groups is slightly lower. However, a higher variability between the clones with additional leaf lobes was observed among the plus trees clones of Kharkiv and Vinnytsia origin (Los & Borisova, 2002). Due to a limited number of studied trees, we in no way claim to have found any geographical patterns in this research.

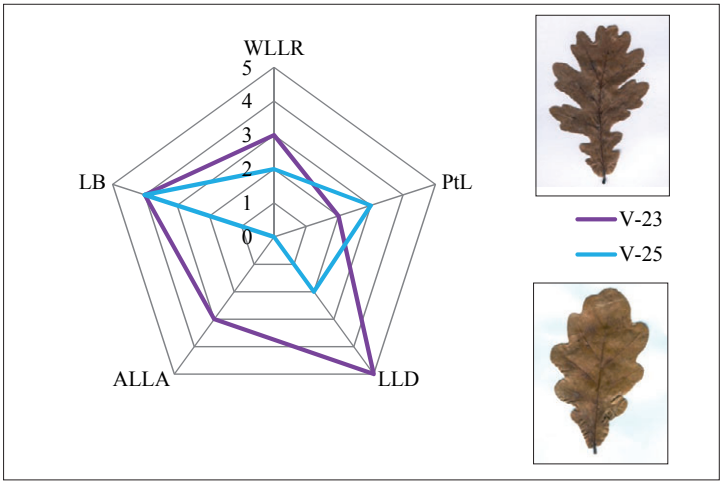


Fig. 1. The leaf morphotypes of English oak plus trees V-23 and V-25 (WLLR – width to length ratio; PtL – leaf petiole length; LLD – leaf lobes depth; ALLA – additional leaf lobes availability; LS – leaf base form)

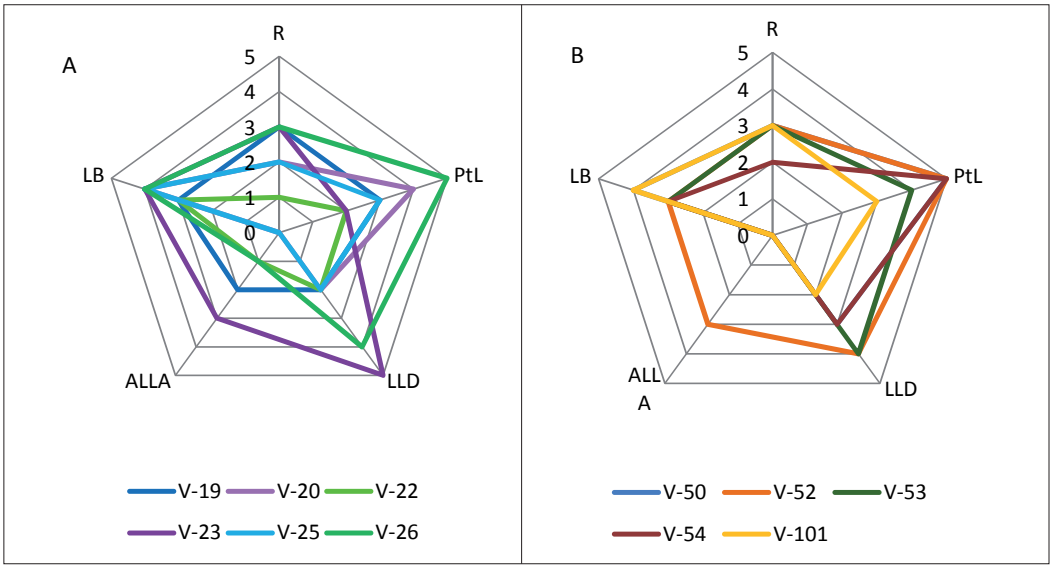


Fig. 2. The leaf morphotypes of English oak plus trees in Yakushinetsky (A) and Zhmerynsky forestries (B)

Table 5

Morphological features of the leaves of English oak plus trees of Ternopil, Khmelnytskyi and Odesa origin

Plus tree code	Metric indicators				Points				
	LL, cm	WL, cm	WLR	PTL, cm	WLLR	PtL	LLD	ALLA	LB
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
T-13	11.0	6.9	0.6	1.0	2	4	4	1	3
T-19	10.8	7.0	0.6	0.9	2	4	3	1	4
T-20	9.9	5.9	0.6	0.8	2	3	2	1	3
Kh-10	10.0	6.8	0.7	1.0	3	4	4	1	3
Kh-60	9.5	7.3	0.8	0.6	3	2	3	2	3
CV, % (Tr, Kh)	*6.1*	*7.5*	*10.7*	*21.0*	*22.8*	*26.3*	*23.1*	*44.2*	*9.2*
O-12	9.8	6.3	0.7	0.5	3	2	2	1	3
O-13	8.9	6.1	0.7	0.6	3	2	2	0	3

Continuation of table 5

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
O-14	11.0	7.2	0.7	0.6	3	2	2	1	3
O-17	10.75	6.875	0.64153	0.85	2	4	2.75	1.5	3.25
CV, % (Od)	*9.6*	*7.7*	*2.8*	*24.6*	*18.2*	*40.0*	*13.9*	*71.9*	*7.8*

A comparison of the morphotypes of individual plus trees and their groups from these regions shows that the groups of trees are identic by the indices of the leaf petiole length only (Fig. 3). The Ternopil and Khmelnytskyi clones are also similar in the leaf lobe depth. The Khmelnytskyi clones' leaves are narrower, they have less marked additional lobes, but more apparent auricles. The Odesa clones are identical to the Khmelnytskyi ones by 4 features, but the Odesa clones have less marked leaf lobes.

It should be noted that the leaves of clones O-12 and O-14, although being somewhat different in size, are identical by their point assessment and, respectively, by their morphotypes (Fig. 3). Obviously, the data on morphological features of leaves only are insufficient to assess objectively a large number of trees or clones.

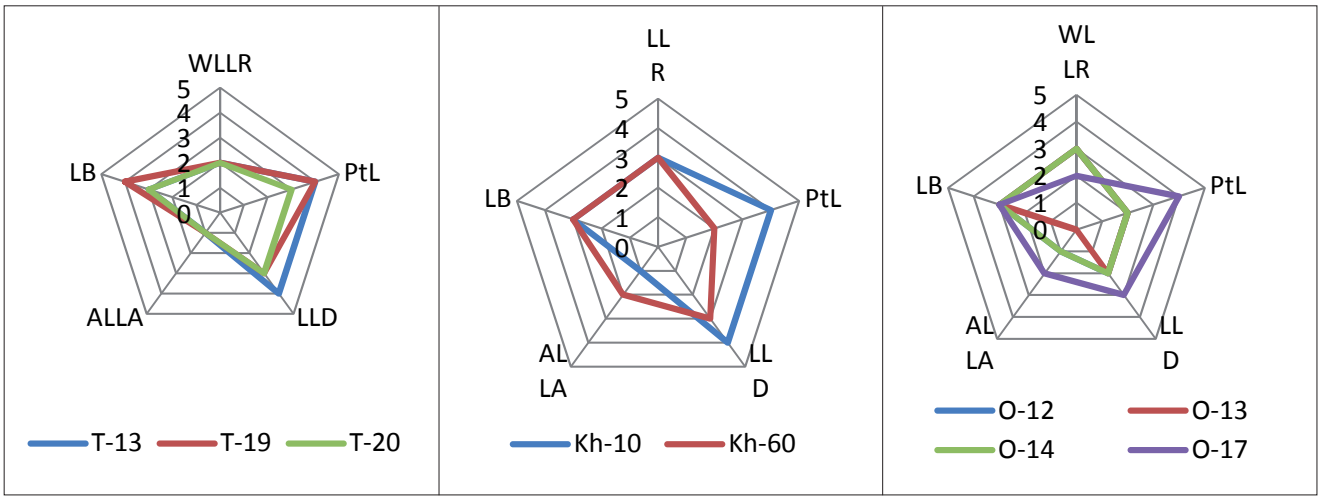


Fig. 3. The leaf morphotypes of English oak plus trees of Ternopil (A), Khmelnytskyi (B) and Odesa (C) regions

To analyze morphological features of the reproductive organs, we divided them into two groups, namely the metric indicators and point ones. Analysis of the metric indicators of the plus trees from Vinnytsia Region showed mainly medium and high variability levels. The average peduncle length ranged from 2.2 to 9.3 cm, and the average number of acorns on the peduncle was from 1 to 2.5 pcs (Tab. 6). At that, only 6 of the 30 plus trees did not have any underdeveloped ovaries. The largest number of the latter (3 on average) was observed in tree V-19. The lowest variability was observed in the size of the cap and acorn. Thus, the cap diameter varied from 1.1 to 1.9 cm, the cap's depth – from 0.5 to 1.1 cm. The acorn diameter varied from 1.1 to 1.8 cm and its length – from 1.0 up to 3.0 cm.

At that, the trees were found with the caps and acorns of the same size. Therefore, these features cannot be used for identification purposes. Nevertheless, the trees differ more by the peduncle length and the number of acorns and ovaries on the peduncle. Thus, these features can be used when identifying individuals.

Table 6

Metric morphological features of acorns and peduncles of English oak plus trees of Vinnytsia origin

Plus tree code	Indicators						
	PdL, cm	AN	UON	CD, cm	CD, cm	AD, cm	AL, cm
1	2	3	4	5	6	7	8
V-17	4.5	1.0	0.5	1.9	0.9	1.9	2.8
V-19	4.5	1.0	3.0	1.5	1.0	dna*	dna
V-20	3.4	1.0	0.7	1.5	0.8	1.8	1.8
V-22	5.1	1.2	0.0	1.8	1.1	1.5	2.3

Continuation of table 6

1	2	3	4	5	6	7	8
V-23	5.5	1.0	1.0	1.8	0.8	1.7	2.6
CV, % (Yak)	*19.7*	*1.5*	*110.7*	*10.5*	*31.7*	*8.9*	*18.1*
V-40	5.4	1.7	0.3	1.3	0.7	1.2	1.6
V-43	6.5	1.0	1.0	1.5	0.9	1.5	2.9
V-44	4.5	1.5	0.0	1.6	1.0	1.4	3.0
V-45	2.5	1.0	0.0	1.3	0.8	1.3	1.8
V-46	8.5	2.0	2.0	1.5	0.8	1.3	1.8
V-48	5.0	1.0	1.0	1.3	1.0	1.3	2.8
V-78	6.3	1.5	2.0	1.1	0.5	1.2	3.0
V-80	6.2	1.7	1.3	1.3	0.8	dna	dna
V-81	2.7	1.3	1.0	1.3	0.7	1.2	2.0
V-84	2.2	1.3	0.0	1.5	0.7	1.6	2.0
V-108	5.5	2.0	0.0	1.5	0.7	1.3	3.5
CV, % (Zb)	*38.8*	*25.3*	*9.7*	*10.9*	*21.5*	*10.1*	*27.7*
V-50	4.5	1.3	0.2	1.7	0.7	1.8	2.6
V-52	5.3	1.0	0.3	1.6	0.6	1.6	2.3
V-53	5.3	1.0	0.7	1.3	0.9	1.4	1.8
V-54	7.5	1.0	1.0	1.5	0.7	1.8	2.7
CV, % (Rd)	*23.1*	*15.4*	*68.1*	*13.0*	*15.1*	*11.4*	*16.9*
V-134	5.0	1.0	1.0	1.4	0.6	1.4	2.5
V-135	9.3	1.5	2.0	dna	dna	dna	dna
V-136	5.5	2.3	0.3	1.9	0.9	1.4	1.9
V-137	3.8	2.5	0.0	1.1	0.5	1.3	2.0
CV, % (Zm)	*40.8*	*38.0*	*110.6*	*24.8*	*25.3*	*5.0*	*15.1*
CV, % (total)	*40.6*	*32.8*	*100.3*	*15.1*	*27.2*	*14.9*	*22.3*
CV, % (between populations)	*9.5*	*26.4*	*31.0*	*7.9*	*21.3*	*11.2*	*5.7*

*dna – data not available

The plus trees clones from other regions have mainly shorter peduncles and generally lower variability levels as compared to those of Vinnytsia origin (Tab. 7).

To make the morphotypes diagrams, we used the morphological features of the plus trees' reproductive organs assessed in points (Tab. 8).

Table 7

Metric morphological features of acorns and peduncles of English oak plus trees of Ternopil, Khmelnytskyi, and Odesa origin

Plus tree code	Indicators						
	PdL, cm	AN	UON	CD, cm	CD, cm	AD, cm	AL, cm
T-19	3.7	1	0.3	1.6	0.8	1.7	2.9
T-20	7	2	0	1.5	0.7	1.7	2.7
Kh-10	2.8	1	0.5	1.6	0.6	2.5	1.7
O-12	2.3	1.25	0.3	1.4	1.0		
O-13	4	1.25	0.25	1.5	0.7	1.5	2.1
O-17	5.5	1.5	0.5	1.5	0.6	1.5	2.0
CV, % (total)	*42.0*	*28.2*	*61.4*	*4.7*	*18.2*	*23.3*	*22.3*

Fig. 4 shows an example of a graphical comparison of the morphotypes of plus trees' reproductive organs (V-43, V-46, and Kh-1).

The more apparent the feature is, the farther from the diagram center will be the angle corresponding to it, e. g. the acorn form of tree Kh-10. Smaller sizes of a pentagon point at the fact that the features are less apparent (V-43), the same angles indicate the identity of the features, e. g. the number of acorns and ovaries in trees V-43 and V-46.

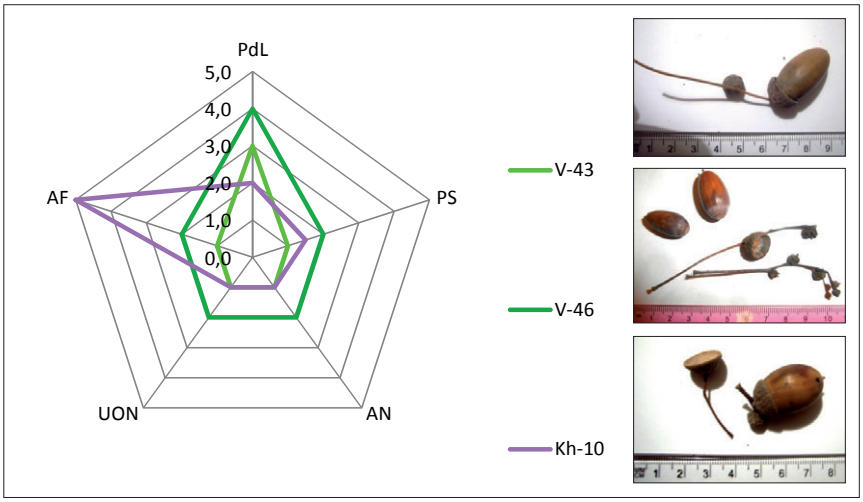


Fig. 4. The reproductive organs morphotypes of English oak plus trees V-43, V-46, and Kh-10 (PdL – peduncle length; PS – peduncle straightness; AN – acorns number on peduncle; UON – underdeveloped ovaries number on peduncle; AF – acorn form)

Table 8

Metric morphological features of acorns and peduncles of English oak plus trees of Vinnitsya, Ternopil, Khmelnytskyi and Odesa origin (points)

Plus tree code	Indicators				
	PdL	PS	AN	UON	AF
1	2	3	4	5	6
V-17	2.0	1.0	1.0	1.0	5.0
V-19	2.0	2.0	1.0	3.0	
V-20	2.0	1.3	1.0	1.0	3.0
V-22	3.0	1.7	1.0	1.0	5.0
V-23	3.0	1.0	1.0	1.0	4.0
V-40	3.0	2.4	2.0	1.0	4.0
V-43	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0
V-44	2.0	1.0	2.0	1.0	4.0
V-45	2.0	1.0	1.0	1.0	5.0
V-46	4.0	2.0	2.0	2.0	2.0
V-48	3.0	1.0	1.0	1.0	3.0
V-78	3.0	1.0	2.0	2.0	3.0
V-80	3.0	1.0	2.0	2.0	dna
V-81	2.0	1.0	1.0	1.0	2.0
V-84	2.0	1.0	1.0	1.0	5.0
V-108	3.0	2.0	2.0	1.0	3.0
V-50	2.0	1.0	1.0	1.0	5.0
V-52	2.0	3.0	1.0	1.0	3.0
V-53	2.0	2.8	1.0	1.0	2.0
V-54	3.0	2.0	1.0	1.0	2.0
V-134	3.0	4.0	1.0	1.0	3,0

Continuation of table 8

1	2	3	4	5	6
V-135	4.0	5.0	2.0	2.0	dna
V-136	2.0	1.0	3.0	1.0	3.0
V-137	2.0	1.0	3.0	1.0	3.0
T-19	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0
T-20	3.0	1.0	2.0	1.0	2.0
Kh-10	2.0	1.5	1.0	1.0	5
O-12	2.0	1.0	1.0	1.0	dna
O-13	2.0	2.0	1.0	1.0	2.0
O-17	3.0	1.0	2.0	1.0	5.0

Comparison of the plus trees morphotypes of two micropopulations (forest stands of Rudnytsky and Zhmerynsky forestries in Vinnytsia Region) is given in Fig. 5.

The trees from forest stands of two forestries are similar in the acorn form and differ in the rest of the features. On the whole, the group of trees from Rudnytsky forestry has more apparent features (a longer peduncle, more acorns, and ovaries on a peduncle). In contrast, the group of trees from Zhmerynsky forestry has more cranked peduncles. As we can see, most of the plus trees differ in at least one feature, but trees V-45 and V-84 are similar in all reproductive organs features (Fig. 5, 6 A). At that, on comparing these trees by the leaf morphotypes, we found that they differ in four of five features (Fig. 6 B).

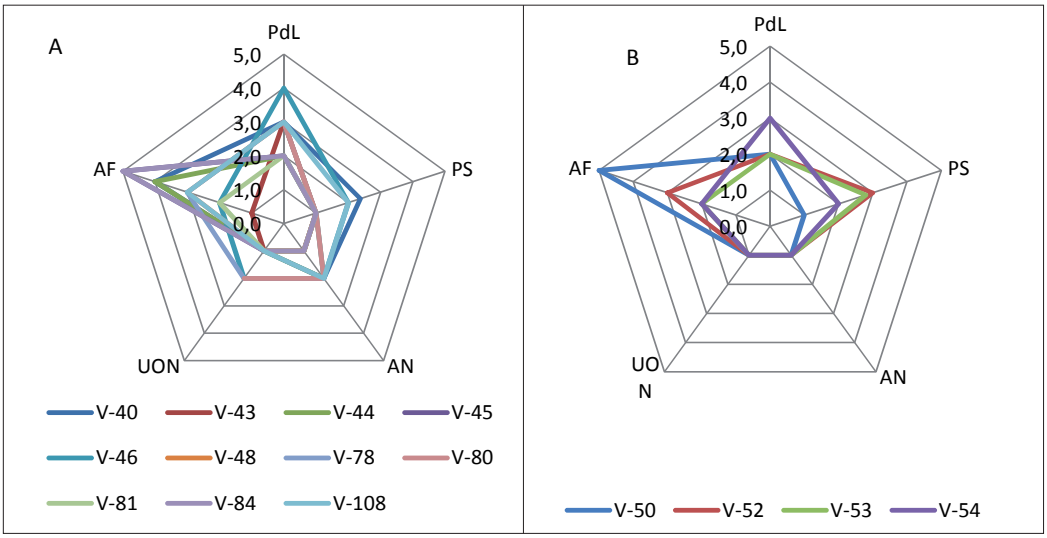


Fig. 5. The reproductive organs morphotypes of English oak plus trees of Rudnytsky (A) and Zhmerynsky forestries (B)

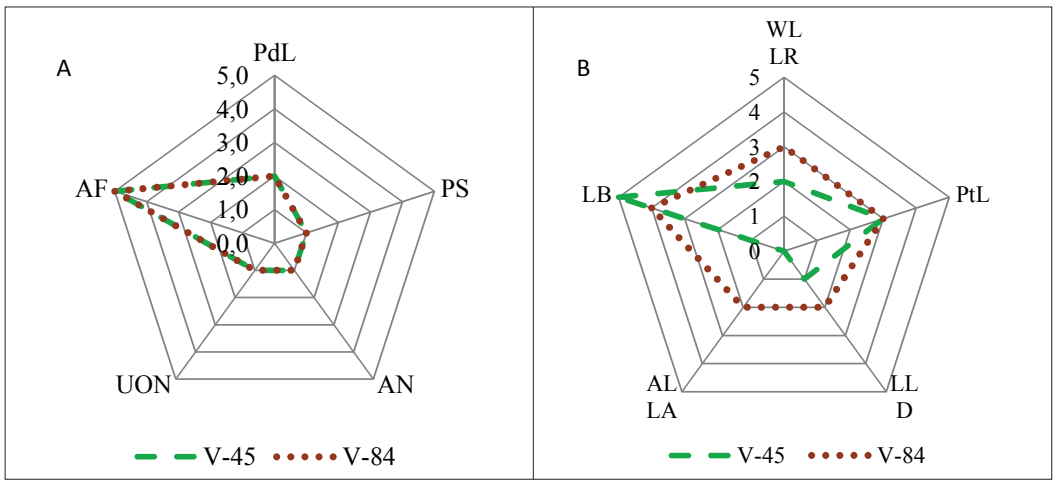


Fig. 6. Comparison of plus trees V-45 and V-84: morphotypes of reproductive organs (A) and leaves (B)

Usage of morphological features of leaves and reproductive organs, taken as a whole, allows obtaining a rather complete description necessary to identify a plus tree or a clone. Furthermore, the graphical method helps to determine the difference and similarity of individuals and their groups.

Conclusions. Analysis of the leaves morphological features of the plus trees of Vinnytsia origin revealed such variability levels: low and medium – for indicators of the leaf base and the width to length leaf ratio; medium and increased – for the indicators of the leaf lamina size; high – for the lamina length, the leaf lobes depth and additional leaf lobes availability.

Among 7 morphological features of leaves, the most informative for clone identification are the leaf base, the width to length ratio, the leaf lamina length, the leaf lobes depth, and additional leaf lobes availability.

It has been suggested that 8 of the 32 plus trees whose leaves have a rounded base are the introgressive hybrids of *Quercus robur* L. and *Quercus petraea* L.

All studied plus trees of Vinnytsia origin differed in one or more leaves morphological features. At that, two of the four clones of Odesa origin, namely O-12 and O-14, had similar leaves.

The variability levels of metric indicators for the reproductive organs of the plus trees were mostly medium and increased. The sizes of the cap and acorn had the lowest variability level. At that, the variability levels of both the peduncle length and the number of acorns and ovaries on it were higher. The latter features can be used to plus trees clone identification.

Most of the studied plus trees differ in one or several morphological features of their reproductive organs. However, trees V-45 and V-84 are similar in all the features.

Usage of leaves and reproductive organs morphological features, taken as a whole, allows obtaining a rather complete description of a plus tree or its clone. Graphic images of morphotypes given as radar charts can be used to compare certain individuals, their groups and populations, variants in progeny test, and provenance trial to identify clones on CSO.

Acknowledgements. The authors are grateful to colleagues from Vinnitsa Forest Research Station and Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration for assistance during part of the field-work.

References

Andreev, V.N. (1927-1928). Homological ranks of some oaks. *Work on applied botany, genetics and selection.* XVIII (2), 371- 454 (in Russian).

Ballian, D., Hodžić, M.M., Bogunić, F., & Parpan T.V. (2015). Morphological variability of differentiated by altitude above sea level population of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Bosnia and Herzegovina. *Biol. Stud*, *9* (3-4), 155-168. https://doi.org/10.30970/sbi.0903.436

Bakiş, Y, & Babaç, M.T. (2014). Morphological variability of acorns and its taxonomic significance in *Quercus* L. from Turkey. *Bangladesh Journal of Botany, ·43* (3), 293-299. https://doi.org/10.3329/bjb.v43i3.21601

Batos, B., Miljković, D., Perović, M., & Orlović, S. (2017). Morphological variability of *Quercus robur* L. leaf in Serbia. *Genetika*. 1, 529-541. https://doi.org/10.2298/GENSR1702529B

Chitwood, D.H. Ranjan, A., Martinez, C.C., Headland, L.R., Thiem, T., Kumar, R., … Sinha N.R. (2014) A Modern Ampelography: A Genetic Basis for Leaf Shape and Venation Patterning in Grape1. *Plant Physiology, 164*, 259-272. https://doi.org/10.1104/pp.113.229708

Davydova, N.I., & Kozhokina, A.I. (1974). Endogenous and population variability of English oak. *Forestry and Forest Melioration*, *38*, 79-85.

Denk, T., Tuncay H.G., Bouchal, J.M., & Kallanxhic, M.-E. (2019). The Pleistocene flora of Bezhan, southeast Albania: early appearance of extant tree species. *Historical Biology,* 1-23 Published Online: 20 May 2019. https://doi.org/10.1080/08912963.2019.1615061

Descriptors for hazelnut (*Corylus avellana* L.). (2008). Bioversity, FAO and CIHEAM. Bioversity International, Rome, Italy; Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy; International Centre for Advanced Mediterranean Agronomic Studies, Zaragoza, Spain, 64. Retrieved from: https://www.bioversityinternational.org/fileadmin/_migrated/uploads/tx_news/Hazelnut_1285_01.pdf

Di Pietro, R., Di Marzio, P., Medagli, P., Misano, G., Silletti, G.N., Wagensommer, R.P., & Fortini, P. (2016). Evidence from multivariate morphometric study of the *Quercus pubescens* complex in southeast Italy. *Botanica Serbica, 40* (1), 83-100. https://doi.org/10.5281/zenodo.48865

Fortini, P., Di Marzio, P., & Di Pietro R. (2015). Differentiation and hybridization of *Quercus frainetto*, *Q. petraea*, and *Q. pubescens* (*Fagaceae*): insights from macro-morphological leaf traits and molecular data. *Plant Syst Evol., 301*, 375-385. https://doi.org/10.1007/s00606-014-1080-2

Kremer, A, Dupoueyb, J.L., Deansc, J.D., Cottrelld, J., Csaikle, U., Finkeldeyf, R.,… Badeaub, V. (2002). Leaf morphological differentiation between *Quercus robur* and *Quercus petraea* is stable across western European mixed oak stands. *Annals of Forest Science*, *59*, 777-787. https://doi.org/10.1051/forest:2002065

Krivosheya, A.N. (1969). Phenological forms and variability of morphological features of common oak. *Works of Kharkov agricultural institute named after V. V. Dokuchaev*, *86* (123), 111-117 (in Russian).

Lone A.A., Bashir, A., Tewari S.K., & Majeed, M. (2011) Characterization and identification of leaf morphology of *Populus deltoides* Bartr. Clones. *Forestry Studies in China*, *13* (4), 270-273. https://doi.org/10.1007/s11632-013-0404-6

Los, S.A., & Borysova, V.V. (2002). Methodological approaches to study variability of *Quercus robur* L. morphological traits. *Bulletin KhNAU*, *2*, 74-79 (in Ukrainian).

Los, S. (2009). Methodic approach to investigation of English oak (*Quercus robur* L.) individual variability by morphology of female reproductive structures. *Forestry and Forest Melioration*, *115*, 20-27. Retrieved from: http://dspace.nbuv.gov.ua/handle/123456789/16411. (in Ukrainian with English summary).

Machinsky, A.S. (1927). About the races of oak. *Forest science and forestry*, *4*, 34-66 (in Russian).

Pyatnitsky, S.S. (1961). *Textbook on forest breeding: for forestry universities of the USSR*. Moscow: Agricultural Publishing House (in Russian).

Pochynok, T. (2012). Is there a place for plant morphology in the contemporary research? *Modern Phytomorphology, 2*, 13-16. Retrieved from: https://www.phytomorphology.com/archive/mp-volume-2-year-2012.html

Pogrebnyak, P.S. (1926). The experience of study of the racial composition of *Quercus robur* L. (English oak) in the Trostyanets forestry in Ukraine. *Forest science and forestry*, *3*, 40-45 (in Russian).

Ponton, S., Dupouey, J.-L., & Dreyer, E. (2004). Leaf morphology as species indicator in seedlings of *Quercus robur* L. and *Q. petraea* (Matt.) Liebl. modulation by irradiance. *Annals of Forest Science*, *61*, 73-80. https://doi.org/10.1051/forest:2003086

Singh M.K. (2012). Morphlogical markers for identification of populous deltoides clones in nursery. *HortFlora Research Spectrum*, *1* (4), 383-384. Retrieved from:https:file:///D:/PERSON/SVETA/STATTI/2020/Лісівн%20ака%20морф%20він/20.4_Morphological_markers_for_poplar_cl.pdf

Stephana, J.M., Teenya, P.W., Vessellab, F., & Schironeb, B. (2018). Oak morphological traits: Between taxa and environmental variability. *Flora*, *243*, 32-44. https://doi.org/10.1016/j.flora.2018.04.001

Viscosi, V., Lepais, O., Gerber, S., & Fortini, P. (2009). Leaf morphological analyses in four European oak species (*Quercus*) and their hybrids: A comparison of traditional and geometric morphometric methods. *Plant Biosystems, 10*, 1-11. https://doi.org/10.1080/11263500902723129

UPOV (2018). Protocol for tests on distinctness, uniformity and stability Populus L. 16 Retrieved from: https://cpvo.europa.eu/sites/ default/files/documents/populus.pdf

Морфологічна мінливість плюсових дерев і клонів *Quercus robur* L. на Поділлі

С.А. Лось[1], Л.В. Смашнюк[2]

Представлені результати вивчення плюсових дерев *Quercus robur* L. за морфологічними показниками листків, жолудів та плодоносів. Зразки заготовлені з плюсових дерев у насадженнях та з клонів на архівно-маточній плантації дуба звичайного у Вінницькій області. Проаналізовані 41 дерево за сімома показниками листків і 30 з них – за дев'ятьма морфологічними показниками жолудів і плодоносів. Неметричні показники оцінювали балами.

Запропоновано графічний метод зображення морфотипів із використанням кругових пелюсткових діаграм для порівняння плюсових дерев за морфологічними ознаками. Враховуючи те, що абсолютні показники можуть залежати від погодних умов року, для побудови діаграм використано лише відносні показники, виражені у балах.

Визначено середні показники дерев та рівень їхньої мінливості. Так, мінливість розмірів листків є переважно середньою та підвищеною, а форми листка – низькою та середньою. Рівень мінливості за шириною листка у переважній більшості випадків був вищим. За показниками довжини черешка листка та наявності додаткових лопатей відмічено високий рівень мінливості. Різну кількість додаткових лопатей нараховано у 14 клонів із 32. Виявлені плюсові дерева із заокругленою, серцеподібною та вушкоподібною основою листків. Визначено найбільш мінливі ознаки, які запропоновано використовувати для ідентифікації клонів.

Висловлено припущення, що вісім плюсових дерев, листки яких мають заокруглену основу, є гібридами між дубами звичайним та скельним.

Серед репродуктивних ознак найменшою мінливістю вирізнявся показник розмірів плиски та жолудя. Найбільшу мінливість мали довжина плодоноса та кількість зав'язей і жолудів на ньому, і саме ці ознаки запропоновано використовувати для ідентифікації клонів. Середня кількість жолудів на плодоносі становила від 1 до 2,5 шт., причому лише у шести плюсових дерев на плодоносах не відмічено недорозвинених зав'язей.

[1] *Лось Світлана Анатоліївна* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат сільськогосподарських наук, завідувач лабораторії селекції. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Пушкінська, 86, м. Харків, 61024, Україна. Тел.: 057-707-80-77, +38-097-138-97-92. E-mail: svitlana_los@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6341-2745

[2] *Смашнюк Людмила Володимирівна* – науковий співробітник ДП «Вінницька лісова науково-дослідна станція» Українського науково-дослідного інституту лісівництва та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Максимовича, 39, м. Вінниця, 21036, Україна. Tel.: +38-093-186-83-91. E-mail: smashnyuk.lyudmila@yandex.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1011-5018

Обстежені плюсові дерева вінницького походження відрізнялися за однією або декількома морфологічними ознаками листків, жолудів або плодоносів. Водночас виявлено два плюсових дерева одеського походження, подібних за формою листків, і два клони вінницького походження, подібних за ознаками жолудів та плодоносів.

Використання морфологічних показників листків і репродуктивних органів у комплексі дає змогу скласти доволі повну характеристику плюсового дерева або його клону, а застосування графічного методу – оцінити відмінності й подібності індивідів та їхніх груп. Графічні зображення морфотипів у вигляді пелюсткових діаграм можуть бути використані як для порівняння індивідів, їхніх груп, популяцій, варіантів у випробних і географічних культурах, так і для ідентифікації клонів на клонових насінних плантаціях.

Ключові слова: листок; пластинка; жолудь; плиска; плодоніжка; балове оцінювання; морфотип.

Морфологическая изменчивость плюсовых деревьев и клонов *Quercus robur* L. на Подолье

С. А. Лось[1], Л. В. Смашнюк[2]

Представлены результаты изучения плюсовых деревьев *Quercus robur* L. по морфологическим показателям листьев, желудей и плодоносов. Образцы заготовлены с плюсовых деревьев в насаждениях и с клонов на архивно-маточной плантации дуба обыкновенного в Винницкой области. Проанализировано 41 дерево по семи показателям листьев и 30 из них – по девяти морфологическим показателям желудей и плодоносов. Для неметрических показателей использовали бальную оценку.

Предложен графический метод изображения морфотипов с использованием круговых лепестковых диаграмм для сравнения плюсовых деревьев по морфологическим признакам. Учитывая то, что абсолютные показатели могут зависеть от погодных условий года, для построения диаграмм использованы только относительные показатели, выраженные в баллах.

Определены средние показатели деревьев и уровень их изменчивости. Уровень изменчивости размеров листьев был преимущественно средним и повышенным, а формы листка – низким и средним. Уровень изменчивости ширины листка в подавляющем большинстве случаев был более высоким. По показателям длины черешка листка и наличия дополнительных лопастей отмечен высокий уровень изменчивости. Дополнительные лопасти, выраженные в разной степени, выявлены в листьях 14 клонов из 32. Отмечено наличие плюсовых деревьев с округлой, сердцевидной и ушкообразной основой листка. Выявлены наиболее изменчивые признаки, и предложено их использование для идентификации клонов.

Высказано предположение, что восемь плюсовых деревьев, листья которых имеют округлую форму основы, являются гибридами между дубами обыкновенным и скальным.

Среди репродуктивных признаков наименьшей изменчивостью отличался показатель размеров плюски и желудя. Наибольший уровень изменчивости отмечен у таких показателей, как длина плодоноса, количество желудей и завязей на нем, и именно эти признаки предложено использовать для идентификации. Среднее количество желудей на плодоносе составляло от 1 до 2,5 шт., при этом только у шести плюсовых деревьев на плодоносах не отмечено недоразвитых завязей.

Показано, что все обследованные плюсовые деревья винницкого происхождения отличались по одному или нескольким морфологическим признакам листьев, желудей или плодоносов. В то же время выявлено два плюсовые деревья одесского происхождения, подобных по форме листьев, и два клона винницкого происхождения, подобных по признакам желудей и плодоносов.

Отмечено, что использование морфологических показателей листьев и репродуктивных органов в комплексе позволяет составить достаточно полную характеристику плюсового дерева или его клона, а применение графического метода – определить различие и сходство индивидов и их групп. Графические изображения морфотипов в виде лепестковых диаграмм могут быть использованы как для сравнения индивидуумов, их групп, популяций, вариантов в испытательных и географических культурах, так и для идентификации клонов на клоновых семенных плантациях.

Ключевые слова: листок; пластинка; желудь; плюска; плодоножка; бальная оценка; морфотип.

[1] *Лось Светлана Анатольевна* – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат сельскохозяйственных наук, заведующий лабораторией селекции. Украинский научно-исследовательский институт лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, ул. Пушкинская, 86, г. Харьков, 61024, Украина. Тел.: 057-707-80-77, +38-097-138-97-92. E-mail: svitlana_los@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-6341-2745

[2] *Смашнюк Людмила Владимировна* – научный сотрудник ГП «Винницкая лесная научно-исследовательская станция» Украинского научно-исследовательского института лесного хозяйства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого, ул. Максимовича, 39, г. Винница, 21036, Украина. Тел.: +38-093-186-83-91. E-mail: smashnyuk.lyudmila@yandex.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0002-1011-5018

4. ЛІСОВА ТАКСАЦІЯ ТА ЛІСОВПОРЯДКУВАННЯ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412011
Article received 2019.11.25
Article accepted 2020.06.04

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*

Forest carbon stock in Left-bank Forest-Steppe of Ukraine according to intensive forest monitoring data

V. P. Pasternak[1], T. S. Pyvovar[2], V. Yu. Yarotsky[3]

The issues of carbon stock and dynamic in different carbon pools in forest stands of Left-bank Forest-steppe of Ukraine are considered. The aim of the study was to evaluate carbon stocks and their changes in main pools: trees biomass and mortmass. Data of two repeated observations on 19 permanent intensive forest monitoring plots in Kharkiv and Sumy regions were used. Conversion method was used.

Study of increment and mortality dynamics at monitoring plots showed, that two processes impact carbon balance: biotic damage which leads to trees dieback, and partial removal of dead wood from stands.

Oak stands have, on average, higher carbon stock in trees biomass and mortmass (102.9 t C ha^{-1}) than the pine stands (98.7 t C ha^{-1}), which is associated with a higher representation of mature and overmature oak stands. While comparison by age classes showed that pine stands, in general, have higher values of C in trees biomass, due to higher productivity. The increase in carbon stocks with age is observed.

The annual change of C stock in trees biomass is the highest in younger stands, and it decreases with age; while in mortmass it increases. Mature and overmature oak stands have negative trees biomass and positive dead wood growth.

At age 81-100 years oak forest stands have higher carbon storage capacity than pine (total carbon stock in main pools (biomass, mortmass, litter and soils (30-cm layer)) is 191.7 t C ha^{-1} for oak and 175.4 t C ha^{-1} for pine stands). Trees biomass carbon prevails among other pools (50.3 % in oak forests, and 57.6% in pine), the next is soil carbon pool (45.9 and 29.0%, respectively).

National forest inventory will provide data for assessments of carbon stocks and dynamics in trees biomass and mortmass pools. However, forest soil monitoring is necessary to evaluate carbon pools in soils and litter.

Key words: *trees biomass; dead wood; carbon pools; carbon stock changes; oak stands; pine stands; age classes.*

[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] *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

[3] *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

Introduction. Paris climate agreement (2015) has confirmed the important value of forests as the main carbon sink.

Forests in terms of agroforestry, forest management, reforestation have been suggested as one of the most appropriate land management systems for mitigating atmospheric CO_2 through the photosynthesis process (Alemu, 2014). Forest ecosystems also contribute to store more than 80% of all terrestrial aboveground C and more than 70% of all Soil Organic Carbon (Alemu, 2014). The terrestrial carbon reservoir is actually a collection of carbon pools with a wide range of net primary production rates, respiration rates and carbon turnover times. Detailed information on carbon stored in dead wood and its relationships with different decay stages are required by national forest and carbon sink inventories to understand dead wood dynamics and the impact on microhabitats with a changing climate. These relationships are expected to vary with disturbance regime and forest type.

The issue of carbon balance research in forest ecosystems is receiving much attention today. Particularly important is the use of information technologies and mapping (Tokar, 2015; Wang et al., 2009).

Inventory of greenhouse gases in the forestry sub-sector can be performed by two methods: stock-difference and gain-loss (stock emission) (IPCC, 2014). In Ukraine, carbon stocks in forests are assessed by the second method (Buksha, Butrim, & Pasternak, 2008) on the base of stand wise forest inventory data since the national forest inventory is at the stage of development now. Comparison of forest stand wise inventory data is not possible due to the irregularity of their accounting, different methodological approaches to the compilation and the relatively low accuracy of the inventory of different components of forest ecosystems (Buksha, Butrim, & Pasternak, 2008).

Forest-steppe zone is a transition zone between forest and steppe, and it is vulnerable to expected climate change (Shvidenko, 2017).

In Ukraine complex studies of carbon stocks in forest ecosystems are fragmentary: one of the study areas are trees biomass and mortmass stocks evaluation, and conversion factors development on the ratios of trees biomass fractions (Lakida, Vasylyshyn, Lashenko, & Terentiev, 2011), estimation of carbon stocks in soils in Carpathians (Shpakivska & Maryskevych, 2009) and generally in Ukraine (Buksha, Raspopina, & Pasternak, 2012; Balyuk et al., 2017), several studies are devoted to the assessment of carbon stocks in forests based on stand wise forest inventory (by using gain – loos method) (Shvidenko et al., 2014), several studies on sample plots (Alioshkina et al., 2011; Bilous et al., 2019). Studies are mainly carried out in the Forest zone of Ukraine (Polissya) (Bilous et al., 2017; Lakyda et al., 2018), while for the Forest-Steppe zone there are just a few of them (Yarotsky, Pasternak, & Nazarenko, 2019b; Bilous et al., 2019). The features of C dynamics were not studied in detail.

In Russia, forest carbon stocks were assessed on the base of stand wise forest inventory data, and multiple forest studies and models (Zamolodchikov, 2011).

In the majority of European countries forest carbon storage is assessed on the base of national forest inventory/monitoring (Cienciala, 2010), and soil monitoring data (Manual on methods, 2016). Due to the planned implementation of National forest inventory in Ukraine, it is important to develop a methodology for evaluating carbon stocks on sites.

Objects and methods. *The study object is* forest stands of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. *The study subject* is carbon in forest stands.

The aim of the research is to evaluate carbon stocks in main pools of forest ecosystems and their dynamics using the conversation method in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine on intensive forest monitoring plots.

The study includes the results of two consecutive surveys of 19 intensive forest monitoring plots located in oak and pine forest stands of the Forest-steppe zone in Kharkiv and Sumy regions (Tab. 1). Each plot is observed every 4 years. The survey data for 2012-2015 were included in the study as the first observation and repeated survey held after 4 years in 2016-2019 were the second one. The monitoring plots are represented by zonal types of forest type conditions according to Alekseev-Pogrebnyak (Ostapenko, & Tkach, 2002): D_2 – fresh fertile forest type condition (*Quercus robur* L. (English oak) stands), C_2 – fresh relatively fertile forest type condition, and B_2 – fresh relatively poor forest type condition (*Pinus sylvestris* L. (Scotch pine) stands). The age of studied forest stands varies from 44 to 144 years old. Oak stands are mainly grown on dark gray forest soils, rarely on chernozems, and light gray forest soils; pure pine stands – on sod-podzolic soils. One monitoring plot is located in a 74-year deciduous forest with a dominance of *Tilia cordata* Mill. (small-leaved lime).

There were two types of monitoring plots (Tab. 1): the first – circular with concentric circles, with area 0.1 ha (all plots with «long» numbers), the second – square-shaped (ICP test-phase) (three plots 1, 2, and 3) – with area 0.25 ha.

At the intensive monitoring plots, the indicators of the main components of forest ecosystems (tree stand, undergrowth, ground vegetation, soil, litter) were evaluated. For each tree with DBH $\geq$7 cm, its status (living, dead, fallen) was recorded, which made it possible to trace the dynamics of trees mortality, or removal from the forest stand. Heights were measured for model trees. Index of health condition and the presence of damage were estimated. The litterfall type and thickness were assessed. Soil type was determined. For dead logs with diameter $\geq$7 cm: species, size (diameter and length), decomposition stage (5 classes) and type of rot were evaluated. Dead logs of different tree species and decomposition stages were sampled to determine the base density. Field-map was used for field work and data management.

Table 1

Taxation characteristics of forest stands at intensive monitoring plots (2016-2019)

Plot ID	Region	Species composition*	Age, years	Forest site conditions	Site index	Density of stocking	M, $m^3 \cdot ha^{-1}$
32491	1	9Querob 1Poptre+Tilcor	52	D_2	Ia	0.73	269
42906	2	9Querob 1Ulmgla+Acepla,Robpse	84	D_2	I	0.59	255
44262	2	8Tilcor 1Poptre1Fraexc+Acepla	74	D_2	I	0.59	259
2263079	1	10Pinsyl	97	B_2	I	0.70	425
36324	1	7Querob 2Tilcor 1Acecam+Acepla	124	D_2	I	0.79	408
41544	2	4Querob 4Acepla1Fraexc1Tilcor	144	D_2	II	0.73	319
631309	1	10Pinsyl	44	B_2	Ia	0.68	318
32473	1	8Querob 1Tilcor 1Acepla+ Acecam	88	D_2	II	0.93	339
32485	1	10Pinsyl	68	B_2	Ia	0.68	413
32496	1	10Querob+ Tilcor, Acecam	103	D_2	II	0.68	290
33734	1	3 Querob 3 Tilcor 2 Acepla2 Acecam +Ulmgla	98	D_2	II	0.83	286
33751	1	5 Querob 3 Fraexc 2 Tilcor + Acepla, Ulmgla	88	D_2	II	0.95	402
33754	1	5 Querob 2 Fraexc 2Tilcor 1Acepla	103	D_2	I	0.90	379
33760	1	10Pinsyl	63	B_2	Ia	0.85	453
33761	1	9 Querob 1Fraexc	73	C_2	I	0.55	200
33771	1	6 Querob 3Tilcor 1 Acepla + Acecam, Ulmgla	84	D_2	I	0.86	351
1	1	9 Querob 1Tilcor + Fraexc, Acecam, Acepla	92	D_2	I	0.74	335
2	1	6 Querob 3Fraexc 1Tilcor +Acecam, Acepla	132	D_2	II	0.82	368
3	1	7Querob 2Fraexc 1Acepla+Acecam,Tilcor, Ulmgla	122	D_2	II	0.75	301

Notes: 1. Kharkiv region, 2. Sumy region; * Querob – *Quercus robur*, Pinsyl – *Pinus sylvestris*, Fraexc – *Fraxinus excelsior*, Tilcor – *Tilia cordata*, Acepla – *Acer platanoides*, Acecam – *Acer campestris*, Ulmgla – *Ulmus glabra*, Robpse – *Robinia pseudoacacia*. B_2 – fresh relatively poor forest type conditions; C_2 – fresh relatively fertile forest type conditions; D_2 – fresh fertile forest type conditions (classes by Alekseev-Pogrebnyak)

According to IPCC (2014), there are main carbon pools in forest ecosystems: biomass (aboveground and underground biomass), dead organic matter (dead wood and litter) and soil organic matter. In our study, carbon stock calculations and dynamics were performed for trees biomass of forest stands, and dead wood (dead trees and dead logs) on the base of values of total stocks (volume), using conversion method of calculations. Growing stock and dead wood volume were converted into mass (using the base density for tree species and decay stages and species for dead wood) (Bilous et al., 2019; Cosmoa, Gasparinia, Palettoa, & Nocettib, 2013; IPCC, 2014) and the carbon stock (formulas (1)-(3)) (Buksha, Butrim, & Pasternak, 2008). The fraction of branches was considered without fractions of leaves and needles (Lakida, Vasylyshyn, Lashenko, & Terentiev, 2011). For deciduous mixes stands calculations were performed for individual trees, while for pine monocultures – for the total growing stock.

Carbon stock in trees biomass was estimated according to the formula:

$$C_{trees} = \Sigma Ms_i \cdot BEF_{si \cdot Di} \cdot 0.5, \quad (1)$$

where C_{trees} – total carbon stock in live trees biomass pool (tonnes C ha^{-1}); Ms_i – total stem volume of *i* tree species; BEF_{si} – conversion coefficient for calculation of stem biomass into total biomass taking into account branches, for *i* – tree species; Di – basic density of timber of *i* – tree species; 0.5 – conversion coefficient used for calculation of dry organic mass into carbon mass (carbon content of absolutely dry matter) (IPCC, 2014).

Carbon stocks in dead wood pool (dead trees and dead logs) were calculated according to the data on the basic density of dead wood by decomposition stages and tree species.

$$C_{deadtrees} = \Sigma Mdt_i \cdot Di \cdot 0.5; \quad (2)$$

where $C_{deadtrees}$ – carbon stocks in dead trees (tonnes C ha^{-1}); Mdt_i – total stem volume of dead trees of *i* tree; Di – basic density of timber of *i* – tree species.

$$C_{deadlogs} = Md \cdot Di_j \cdot 0.5; \quad (3)$$

where $C_{deadlogs}$ – carbon stocks in dead logs (tonnes C ha^{-1}); Md – total volume of dead logs; Di_j – basic density of timber of *i* – tree species of j – decomposition stage.

Annual changes of carbon stocks in carbon pools were calculated according to IPCC formula (2014) at site level, as the difference of two estimates:

$$\Delta C = \sum \frac{C_{t2} - C_{t1}}{(t_2 - t_1)} \quad (4);$$

where ΔC – annual changes of carbon stocks in pool *i*, tonnes C ha^{-1} year^{-1};

C_{t1} – total carbon stock in pool *i* at year t_1, tonnes C ha^{-1};

C_{t2} – total carbon stock in pool *i* at year t_2, tonnes C ha^{-1}.

The growth and mortality in the studied monitoring plots were estimated. To estimate the growth, the annual changes in the growing stock of forest stands were calculated taking into account changes in dead wood stocks.

$$Z = (M_2\text{-}M_1\text{+}Dw_2\text{-}Dw_1)/(t_2\text{-}t_1), \quad (5);$$

where Z – current annual increment, m^{3}ha^{-1} year^{-1};

M_1 – growing stock in year t_1, m^3, M_2 – growing stock in year t_2, Dw_2 – dead wood volume in year t_2, Dw_1 – dead wood volume in year t_1.

To estimate the mortality changes in dead wood stocks were evaluated.

$$\Delta DW = (Dw_2\text{-}Dw_1)/(t_2\text{-}t_1), \quad (6);$$

where ΔDW is an annual change of total dead wood volume.

The analysis of the obtained values was performed by comparison with the data on the current growth and mortality according to the yield tables (Forest taxation guide book, 2013) for the main tree species and age classes in terms of an actual density of stocking. In case of negative balance of dead wood stock, it was concluded that some of the dead wood was removed from the studied stands.

For a comprehensive generalized assessment of all carbon pools in oak and pine forests, we used our data on carbon pools in biomass and mortmass (at forest stand aged 81-100 years) and data of (Buksha, Raspopina, & Pasternak, 2012) for litter and soils with adaptation for plots: for all oak stands in D_2 soil C stock in the 30-cm layer is 88.0 tonnes C ha^{-1}, in B_2 (sod-podzolic sandy soils) –50.9 tonnes C ha^{-1}. These values are in the range of data published by (Balyuk et al., 2017) for the same soil types. Litter carbon pool was also calculated from (Buksha, Raspopina, & Pasternak, 2012): for oak stands – 2.78 tonnes C ha^{-1}, for pine stands – 11.6 tonnes C ha^{-1}. Changes in stocks in litter pools and soil have not been evaluated.

The results of the assessments were summarized by age classes and stand groups by the main tree species: oak, pine and other deciduous since in this case, the accuracy of productivity estimates is higher (Pregitzer & Euskirchen, 2004). The results are presented as an arithmetic mean values and standard deviations. The comparison of mean values was performed using the T-test.

Results and discussion. Significant trees dieback in the inter-survey period occurred in almost all plots (Tab. 2). The annual mortality rate exceeded the reference level (Forest inventory handbook, 2013) at half of the observed stands, at the rest sites this variable could not be compared with reference level due to the partial removal of dead wood from stands (sanitary cuttings and/or dead logs removal by the local population).

Between surveys at 6 oak forest stands (32473, 33734, 33771, 33754, 41544, 3), there was significant mortality of Norway maple and field maple (*Acer platanoides* L. and *A. campestre* L.) caused by Verticillium wilt (Meshkova & Davydenko, 2016), at 5 plots there was oak dieback (at almost all age classes) exceeding the reference level, at two plots – pathological dieback of Common ash (*Fraxinus excelsior* L.). In pine stands, trees mortality was registered in three plots, in two of them, the level of mortality exceeded the reference level, in two plots the dead wood was removed. The largest level of dieback was recorded at plot 2263079 due to the impact of clear-cut at the neighbor forest site several trees were damaged and microclimatic conditions on the studied plot changed. In the soft-leaved deciduous forest stand the pathological dieback of aspen (*Populus tremula* L.) was observed.

Just at one plot (42906) in oak and at one (631309) in pine stands there was no mortality during the study period.

Table 2

Mortality and increment at monitoring plots

Plot ID	Age class	Observed		Reference		Class on DW dynamic	Spp DW
		Stock change, m^3 ha^{-1} year^{-1}	ΔDW stock m^3 ha^{-1}	Increment m^3 ha^{-1} year^{-1}	ΔDW stock m^3 ha^{-1}		
Oak							
1	2	3	4	5	6	7	8
32491	41-60	6.9	4.4	8.5	3.1	↑	Oak
33761	61-80	-5.9	1.0	4.8	1.2	↓, R	Oak
32473	81-100	3.8	-0.1	3.9	1.5	R	Maple
33734	81-100	5.1	-0.3	3.0	1.0	R	Maple
42906	81-100	3.2	0.0	4.3	1.2	0	0
33751	81-100	6.3	-0.3	3.9	1.5	R	Ash

Continuation of table 2

1	2	3	4	5	6	7	8
1	81-100	4.9	5.4	3.8	1.2	↑	Oak
33771	81-100	5.7	-0.5	5.3	1.7	R	Maple
32496	101-120	5.8	1.5	2.2	0.7	↑	Oak
33754	101-120	-1.7	11.8	3.3	1.1	↑	Maple, Ash
41544	>121	2.1	0.1	1.7	0.6	R	Maple
36324	>121	5.0	0.9	2.0	0.6	↑	0
2	>121	-8.5	3.3	2.4	0.7	↑	Oak
3	>121	-12.8	1.0	2.3	0.6	↑	Maple
Pine							
631309	41-60	12.4	-0.1	12.3	3.1	R	Pine
32485	61-80	4.7	2.4	9.5	3.7	↓	Pine
33760	61-80	11.2	5.8	11.5	4.9	↑	Pine
2263079	81-100	7.3	11.4	8.6	3.2	↑	Pine
Other deciduous							
44262	61-80	3.6	2.8	5.0	1.3	↑	Aspen

Notes: Reference – Forest inventory handbook, 2013; ↓ – lower level of mortality compared to reference level, ↑ – higher level of mortality compared to reference level; R – removed dead wood.

The average annual increment of studied stands varies in a wide range. For oak stands the increment level lower than in reference data (Forest inventory handbook, 2013) is observed in younger (2 plots) and older (age class >120 yeas) (2 plots) stands, and 1 plot at age 81-100. That is typical for old-growth stands where the process of mortality prevails over growth. In younger oak stands (41-60 and 61-80 years) – it can be explained by the influence of high mortality level caused by diseases. Almost all other oak stands have increment level higher than in (Forest inventory handbook, 2013), mainly due to the growth of younger accompanying tree species. Among pine stands the increment was normal at two stands, and lower at another two plots.

Trees biomass stocks (Tab. 3) in the studied stands vary over a wide range from 120.4 to 251.8 $t \cdot ha^{-1}$. The average value is 186.8±39.2 $t \cdot ha^{-1}$ for oak stands and 177.1 ±34 $t \cdot ha^{-1}$ for pine stands in the first survey cycle (during 2012-2015). For the second cycle (2016-2019), the range of values increased: from 120.0 to 287.8 $t \cdot ha^{-1}$, the average for oak stands is 188,3±39.7 $t \cdot ha^{-1}$, and for pine stands – 186,7± 25.6 $t \cdot ha^{-1}$.

Table 3

Trees biomass and mortmass at monitoring plots for two observations (dry weight, tonnes ha^{-1})

Plot ID	Trees biomass		Dead trees		Deadlogs		Total dead wood	
	1*	2	1	2	1	2	1	2
1	2	3	4	5	6	7	8	9
32491	160.2	182.1	0.9	8.5	0.0	1.4	0.9	9.9
33761	136.1	120.3	5.7	11.8	16.1	12.0	21.8	23.8
32473	180.0	186.8	1.5	0.9	0.4	0.7	1.9	1.6
33734	147.1	156.8	5.8	5.8	1.0	0.8	6.8	6.6
42906	138.8	144.1	0	0	0	0	0	0
33751	244.3	287.8	1.7	2.9	4.7	2.2	6.4	5.1
1	188.7	192.3	4.9	15.6	1.1	0.9	6	16.5
33771	180.7	190.5	13.4	13.0	11.1	9.4	24.5	22.4
32496	149.2	162.3	0.4	3.5	0.5	0.1	0.9	3.6
33754	249.5	231.8	3.2	25.3	1.6	5.3	4.8	30.6

Continuation of table 3

1	2	3	4	5	6	7	8	9
41544	174.3	178.4	8.4	10.2	47.0	45.1	55.4	55.3
36324	192.5	208.0	0.0	0.0	22.0	23.2	22	23.2
2	251.8	222.8	10.2	5.1	17.6	25.9	27.8	31
3	221.7	171.8	0.0	1.5	2.9	14.5	2.9	16
Avg Oak	**186.8**	**188.3**	**4.0**	**7.4**	**9.0**	**10.1**	**13**	**17.5**
SD	**39.2**	**39.7**	**4.1**	**7.0**	**12.8**	**12.8**	**15.7**	**15.1**
631309	120.4	143.7	0.1	0.5	1.7	1.4	1.8	1.9
32485	184.0	191.7	1.2	2.2	0.1	1.5	1.3	3.7
33760	194.6	209.3	2.3	12.7	0.0	0.5	2.3	13.2
2263079	209.5	202.2	2.3	22.7	0.0	0.9	2.3	23.6
Avg Pine	**177.1**	**186.7**	**1.5**	**9.5**	**0.5**	**1.1**	**2**	**10.6**
SD	**34.0**	**25.6**	**0.9**	**8.9**	**0.7**	**0.4**	**0.5**	**10.0**
44262	151.8	154.1	1.2	6.1	0.4	1.4	1.6	7.5

* 1 – I observation (in 2012-2015), 2 – II observation (in 2016-2019); SD – standard deviation.

Dead wood at studied stands is represented both by dead trees and dead logs, at oak stands prevail dead logs, and at pine stands – dead trees. Dead wood in oak stands is predominantly formed by English oak, while other species as Norway maple and field maple, elm, common ash, linden are less represented. This is explained not only by the dominance of the oak in the composition of the stands but also by it significant decline compared to other species and a longer decomposition time (Yarotsky, Pasternak, & Nazarenko, 2019a). In pure pine stands dead wood is formed only by pine.

During the four-year period between observations, changes in trees biomass and mortmass stocks occurred as a result of natural growth processes, as well as the dieback and removal of dead wood from the stands. Carbon stocks and it accumulation in forest ecosystems depend on productivity, species composition, and age structure, as well as on forest management regime and disturbances (biotic damage and anthropogenic) (Jandl, Bauhus, Bolte, Schindlbacher, & Schüler, 2015). Generalized data on the total carbon accumulation in tree biomass (Tab. 4) and mortmass showed that the oak stands have, on average a higher carbon stock in these two pools than the pine stands, which is associated with a higher representation of mature and overmature oak stands. The average C in the trees biomass of oak stands is 93.4±10.3 and 94.1±10.5 t C ha^{-1}, respectively, by observations. For the studied pine stands, these values are 88.6±3.8 and 93.4±12.6 t C ha^{-1}, respectively. The lowest carbon stock is observed in other deciduous stands (75.9 and 77.1 t C ha^{-1}), which is natural taking into account their lower productivity.

Table 4

Average carbon stocks at main C pools for two observations (t ha^{-1})

Age class	C trees biomass		C dead wood		C total	
	1	2	1	2	1	2
1	2	3	4	5	6	7
Oak stands						
41-60	80.1	91.1	0.5	5.0	80.6	96.0
61-80	68.1	60.2	10.9	11.9	79.0	72.1
81-100	90.0±17.1	96.5±23.0	3.8±4.0	4.4±4.0	93.8±18.1	100.9±23.7
101-120	99.7±25.1	98.5±17.4	1.4±1.0	8.6±6.8	101.1±26.1	107.1±24.1
>120	105.0±14.7	97.6±10.5	13.5±9.4	15.7±7.4	118.6±12.6	113.3±12.0
Avg Oak	93.4±19.6	94.1±19.8	6.5±7.6	8.8±7.3	99.9±21.4	102.9±21.7

Continuation of table 4

1	2	3	4	5	6	7
Pine stands						
41-60	60.2	71.9	0.9	1.0	61.1	72.8
61-80	94.7±2.6	100.3±4.4	0.9±0.3	4.2±2.4	95.6±2.9	104.5±6.8
81-100	104.8	101.1	1.2	11.8	105.9	112.9
Avg Pine	88.6±17.0	93.4±12.8	1.0±0.2	5.3±4.3	89.5±17.1	98.7±16.1
Other deciduous stands						
74	75.9	77.1	0.8	3.8	76.7	80.8

The estimated values for oak and pine stands are lower than average values for modal oak (104 t C·ha^{-1}) and pine stands (101.3 t C·ha^{-1}) for the forest-steppe at the same age ranges according to «Tables and models of growth…» (Shvidenko, Schepaschenko, Nilsson, & Buluy, 2008).

Generally, forest carbon pools vary with stand age, so our data were generalized by age classes. Unfortunately, the monitoring plots didn't represent all age classes range and for some age classes, there was just one plot. However, comparison of total carbon stocks at trees biomass by age classes presented in both types of stands, shows that pine stands, in general, have higher values (in age classes 61-80 and 81-100), which is associated with higher pine productivity. In the age class 41-60, the situation is opposite.

Both in oak and pine stands, the increase in carbon stocks with age is observed. The exclusion is plot 33761 in the age group 61-80, which is located in an oak stand in poorer conditions (C_2) with a lower density of stocking, and a significant mortality of trees.

In general, mortmass carbon stocks in oak stands is higher than in pine stands both in absolute and relative terms: in oak stands, it makes 6.5±7.6 and 18.8± 7.3 t C ha^{-1} or 7.0% and 9.3% of trees biomass pool for each survey, respectively, while in pine stands only 1.0±0.2 and 5.3±4.3 t C ha^{-1}, or 1.1% and 5.7% respectively. Generally, the mortmass pool is characterized by C stock higher variability compared to trees biomass.

The data on average annual carbon change in the studied forest stands showed (Tab. 5) that the youngest oak stands have the highest level of the total C change (mainly due to higher trees biomass increment), while mature and overmature oak stands have negative trees biomass growth and positive dead wood growth. In such forests, the net ecosystem productivity is low due to the slow growth and rather large volumes of dead wood (Taylor, Seedre, Brassard, & Chen, 2014).

For pine stands the similar features are observed: the change of C stock in trees biomass is the highest in younger stands, and it decreases with age; in mortmass changes is the opposite situation: increasing with age is observed (see Tab 5).

Combination of our data for oak and pine stands at age class 81-100 (the latest observation) with data from (Buksha, Raspopina, & Pasternak, 2012) on carbon stock in litter and soils (30-cm layer) showed (Tab 6), that oak forest stands have higher carbon storage capacity, than pine stands (total carbon stock in main pools of the oak forest is 191.7 t C·ha^{-1} and in pine stands – 175.4 t C·ha^{-1}). The share of trees biomass carbon pool is the highest among other pools (50.3 % in oak forests, and 57.6% in pine forests), the next is soil carbon pool (45.9 and 29.0%, respectively).

Table 5

Average changes in carbon stocks per year (t ha^{-1}year^{-1})

Age class, years	ΔC trees biomass	ΔC dead wood	ΔC total	ΔC total, %*
Oak stands				
41-60	2.7	1.1	3.9	4.8
61-80	-2.0	0.3	-1.7	-2.18
81-100	1.6	0.1	1.8	1.9
101-120	-0.3	1.8	1.5	1.5
>120	-1.9	0.5	-1.3	-1.1
AVG Oak	0.2	0.6	0.8	0.8
Pine stands				
41-60	2.9	0.0	2.9	4.8
61-80	1.4	0.8	2.2	2.3
81-100	-0.9	2.7	1.8	1.7
AVG Pine	1.2	1.1	2.3	2.6
Other deciduous				
74	0.3	0.7	1.0	1.3

* Calculated as per cent of changes of C total (observation 1)

Our data (see Tab 6) is comparable to the results of (Shpakivska & Maryskevych, 2009) on carbon pools in Carpathians in spite of different climatic zone and forest composition: the percentage of the C stock in trees biomass in average is 54.2%, and in soils – 41.4%. Similar proportions of carbon pools were described by (Ķēniņa, Jaunslaviete, Liepa, Zute, & Jansons, 2019) for old-growth unmanaged Scots pine stands in Latvia: trees biomass – 59%, mineral soils – 31%.

Table 6

Total C stock in oak and pine stands by main pools (at age class 81-100 years)

Stands	Main C pools				Total
	Trees biomass	Mortmass	Litter*	Soil*	
	Absolute values, t C ha^{-1}				
Oak	96.5	4.4	2.78	88	191.7
Pine	101.1	11.8	11.6	50.9	175.4
	Percentage, %				
Oak	50.3	2.3	1.5	45.9	100
Pine	57.6	6.7	6.6	29.0	100

* data from (Buksha et al, 2012)

Our results are preliminary, as soil and litter data are from literature, and studied stands don't represent all age classes and productivity classes. Introduction of NFI and soil monitoring in Ukraine will allow obtaining in particular precise data of forest carbon stocks and their dynamics.

Conclusions. In the forest-steppe zone of Ukraine tree biomass and mineral soils are the main carbon pools. The total carbon stock in main pools of oak and pine forests at age class 81-100 is 191.7 t C·ha^{-1} and 175.4 t C·ha^{-1}, respectively. Two processes influence the carbon balance in studied stands: biotic damage which leads to tree dieback, and partial removal of dead wood from stands.

The introduction of National forest inventory will provide primary data for state-level assessments of carbon stocks and dynamics in forest stands and dead wood pools. However, special large-scale studies, such as forest soil monitoring, are needed to evaluate carbon pools in soils and litter that play an important role in carbon cycling.

References

Alemu, B. (2014). The Role of Forest and Soil Carbon Sequestrations on Climate Change Mitigation. *Journal of Environment and Earth Science, 4* (13), 98-111. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/324844908_The_Role_of_Forest_and_Soil_Carbon_Sequestrations_on_Climate_Change_Mitigation

Alioshkina, U., Zhovtenko, A., Vyshenska, I., Rasevych, V., Gavrylov, S., & Tkachova, A. (2011). Carbon accumulation by forest ecosystems (by the example of «Foresters» reserve, Kyiv). *NaUKMA Research Papers.* «Biology and ecology». Vol. 119, 52-55 (in Ukrainian).

Balyuk, S., Medvedyev, V., Kucher, A., Solovey, V., Levin, A., & Kolmaz, Yu. (2017). Control over organic carbon of soil in the context of safety and climate fluctuation. *Bulletin of agrarian science*, *95* (9), 11-18. Retrieved from https://agrovisnyk.com/pdf/en_2017_09_02.pdf

Bilous, A., Matsala, M., Radchenko, V., Matiashuk, R., Boyko, S., & Bilous S. (2019). Coarse woody debris in mature oak stands of Ukraine: carbon stock and decomposition features. *Forestry Ideas*, *25* (1), 196-219. Retrieved from http://oaji.net/articles/2020/6191-1577991276.pdf

Bilous, A., Myroniuk, V., Holiaka, D., Bilous, S., See, L., & Schepaschenko, D. (2017). Mapping growing stock volume and forest live biomass: a case study of the Polissya region of Ukraine. *Environmental Research Letters*, *12* (10). https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa8352

Bilous, A.M., & Kotlyarevska, U.M. (2017). The biomass structure of alder plantations of Ukrainian Polissya. *Scientific bulletin of Ukrainian National Forestry University, 27* (9), 14-18. https://doi.org/10.15421/40270902 (in Ukrainian).

Buksha, I.F., Raspopina, S.P., & Pasternak, V.P. (2012). Carbon stock in soil and litter in forest monitoring plots. *Forestry & Forest melioration*, *120*, 106-112. Retrieved from http://forestry-forestmelioration.org.ua/index.php/journal/issue/view/13/120-pdf (in Ukrainian).

Buksha, I.F., Butrim, O.V., & Pasternak, V.P. (2008). *Inventory of greenhouse gases in the land use and forestry sectors*. Kharkiv: KhNAU (in Ukrainian).

Cienciala, E., Seufert, G., Blujdea, V., Grassi, G., & Exnerová, Z. (2010). Harmonized Methods for Assessing Carbon Sequestration in European Forests. Results of the Project «Study under EEC 2152/2003 Forest Focus regulation on developing harmonized methods for assessing carbon sequestration in European forests». JRC-IES Italy, EUR 24300 EN – 2010 Retrieved from https://ec.europa.eu/jrc/en/publication/eur-scientific-and-technical-research-reports/harmonized-methods-assessing-carbon-sequestration-european-forests

Cosmoa, L. Di, Gasparinia, P., Palettoa, A., & Nocettib, M. (2013). Deadwood basic density

values for national-level carbon stock estimates in Italy Forest. *Ecology and Management*, *295*, 51-58. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2013.01.010

Filipchuk, A.N., Malysheva, N.V. Moiseev, V.V., & Strahov, V.V. (2016). Analytical overview of methodologies calculating missions and absorption of greenhouse gases by forests from the atmosphere. *Forestry information*, *3*, 36-85. Retrieved from http://lhi.vniilm.ru/PDF/2016/3/LHI_2016_03-04-Filipchuk.pdf (in Russian).

IPCC (2014). Revised Supplementary Methods and Good Practice Guidance Arising from the Kyoto Protocol, Hiraishi, T., Krug, T., Tanabe, K., Srivastava, N., Baasansuren, J., Fukuda, M. and Troxler, T.G. (eds). Published: IPCC, Switzerland. Retrieved from https://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/kpsg/index.html.

Jandl, R., Bauhus, J., Bolte, A., Schindlbacher, A. & Schüler, S. (2015). Effect of Climate-adapted forest management on carbon pools and greenhouse gas emissions. *Current forestry report 1*, 1-7. https://doi.org/10.1007/s40725-015-0006-8

Ķēniņa, L., Jaunslaviete, I., Liepa, L., Zute, D., & Jansons, Ā. (2019). Carbon pools in old-growth Scots pine stands in Hemiboreal Latvia. *Forests, 10* (10), 911. https://doi.org/10.3390/f10100911

Lakyda, P., Vasylyshyn, R., Lashenko, A., & Terentiev, A. (2011). *Standards of evaluation of components of aboveground trees biomass of trees of the main forest-forming species of Ukraine*. Kyiv: ECO-inform (in Ukrainian).

Lakyda, P., Bilous, A., Shvidenko, A., Myroniuk, V., Matsala, V., Vasylyshin, R. ... Lakyda, I. (2018). *Ecosystem services of Ukrainian forests: a case study for Polissya region*. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine.

Manual on methods and criteria for harmonized sampling, assessment, monitoring and analysis of the effects of air pollution on forests. (2016). UNECE ICP Forests Programme Co-ordinating Centre (ed.). Thünen Institute of Forest Ecosystems, Eberswalde, Germany. Retrieved from http://www.icp-forests.net/page/icp-forests-manual

Meshkova, V., & Davydenko, K. (2016). Verticillium wilt on Norway maple (*Acer platanoides* L.) in the East of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine. 14*, 174-179. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu_2016_14_27.

Ostapenko, B.F., & Tkach, V.P. (2002). *Forest typology: Tutorial.* Kharkiv: Kharkiv State Agrarian University (in Ukrainian).

Paris agreement. (2015). United Nations. 25 p. Retrieved from https://unfccc.int/files/essential_background/convention/application/pdf/english_paris_agreement.pdf

Pregitzer, K.S., & Euskirchen, E.S. (2004). Carbon cycling and storage in world forests: biome patterns related to forest age. *Global Change Biology, 10* (12), 2052-2077. https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2004.00866.x

Shpakivska, I.M. & Maryskevych, O.G. (2009). Estimation the reserves of organic carbon in the forest ecosystems of Eastern Beskydy. *Forestry & forest melioration, 115*, 176-180 (in Ukrainian).

Shvidenko, A.Z., Schepaschenko, D.G., Nilsson, S., & Buluy, Yu. I. (2008). *Tables and models of growth and productivity of forests of major forest forming species of Northern Eurasia (standard and reference materials)* (2nd ed.). Moscow: Russian Federal Forestry Agency (in Russian).

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

Shvidenko, A., Lakyda, P., Schepaschenko, D., Vasylyshyn, R., & Marchuk, Yu. (2014). *Carbon, climate, and land-use in Ukraine: Forest sector: A monograph*. Korsun-Shevchenkivskyi: FOP Gavrishenko V.M. (in Ukrainian).

Strochyns′kyy, A.A. & Kashpor, S.M. (Ed.) (2013). *Forest inventory handbook.* Korsun-Shevchenkivsky: publisher Maidachenko (in Ukrainian).

Taylor, A.R., Seedre, M., Brassard, B.W., & Chen, H.Y.H. (2014). Decline in net ecosystem productivity following canopy transition to late-succession forests. *Ecosystems*, *17*, 778-791. https://doi.org/10.1007/s10021-014-9759-3

Tokar, O. (2015). *Information technology for studying carbon sink in forest ecosystems*. (Thesis for Ph.D degree. Lviv Polytechnic National University, Lviv, Ukraine) (in Ukrainian).

Wang, G., Oyana T., Zhang, M., Adu-Prah, S., Zeng, S., Lin H., & Se J. (2009). Mapping and spatial uncertainty analysis of forest vegetation carbon by combining national forest inventory data and satellite images. *Forest Ecology and Management. 258* (7), 1275-1283. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.06.056

Yarotskiy, V. Yu., Pasternak, V.P., & Nazarenko, V.V. (2019a). Deadwood in the oak forests of the Left Bank Forest steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*, *Series A. Forestry. 61* (4), 247-254. https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0024

Yarotskiy, V. Yu., Pasternak, V.P., & Nazarenko, V. V. (2019b). Phytomass and mortmass assessment in pine Forests of Left-bank Forest Steppe of Ukraine. *Silva Balcanica*. *20* (2), 63-71. https://silvabalcanica.files.wordpress.com/2020/03/sb_202_2019_6.pdf

Zamolodchikov, D. (2011). Carbon stock assessment and forecasting systems in forest ecosystems. *Sustainable forest management*. *4* (29), 15-22. Retrieved from https://wwf.ru/upload/iblock/fb8/04-_17_.pdf (In Russian).

Запаси вуглецю у лісах Лівобережного Лісостепу України за даними інтенсивного моніторингу

В. П. Пастернак[1], Т. С. Пивовар[2], В. Ю. Яроцький[3]

Розглядаються питання запасів і динаміки вуглецю в різних вуглецевих пулах лісових насаджень Лівобережного Лісостепу України. Метою дослідження було оцінити запаси вуглецю та їхні зміни в основних пулах – фітомасі та мортмасі на ділянках інтенсивного моніторингу лісів. Для дослідження використано дані двох повторних спостережень на 19-ти постійних ділянках інтенсивного моніторингу лісів у Харківській і Сумській областях. Запаси і динаміка вуглецю в пулах фітомаси і мортмаси оцінено за допомогою конверсійного методу. Узагальнені значення запасів вуглецю в ґрунтах та підстилці за літературними даними включені до сумарної оцінки запасу вуглецю для дубових і соснових насаджень у віці 80-100 років. Дані представлено за класами віку.

Вивчення динаміки приросту і відпаду на ділянках моніторингу показало, що на баланс вуглецю впливають два процеси: біотичні пошкодження, що призводять до всихання та відпаду дерев, і часткове видалення мертвої деревини з деревостанів.

Встановлено, що середній запас вуглецю © у фітомасі дубових лісів становить 94,1 ± 10,5 тС·га$^{-1}$; соснових – 93,4 ± 12,6 тС·га$^{-1}$, у мортмасі дубових – 8,8 ± 3,8 тС·га$^{-1}$; соснових – 5,3 ± 4,2 тС·га$^{-1}$. У середньому в усій вибірці дубові насадження нагромаджують сумарно більший запас вуглецю у фітомасі та мортмасі (102,9 тС·га$^{-1}$), ніж соснові (98,7 тС·га$^{-1}$), що пов'язано з більшою представленістю стиглих і перестійних дубових насаджень. Однак, порівняння значень за класами віку показало, що соснові насадження загалом мають більші значення С у фітомасі, що пов'язано з більшою продуктивністю соснових деревостанів. Відзначено збільшення запасів вуглецю з віком. Найменший запас вуглецю визначений в інших листяних насадженнях (77,1 т С га $^{-1}$).

Встановлено, що запас вуглецю у мортмасі у дубових лісах вищий, ніж у соснових, як в абсолютному, так і у відносному вираженні: у перших він становить 9,3% пулу фітомаси, тоді як у останніх – лише 5,7%.

У дубових і соснових лісах найбільшу річну зміну запасу С у фітомасі визначено у молодших насадженнях, і з віком цей показник зменшується, тоді як у мортмасі – збільшується. Стиглі і перестійні дубові насадження характеризуються негативним приростом фітомаси і позитивним – мортмаси.

Поєднання наших даних із літературними про запаси вуглецю в пулах підстилки та ґрунту (30-сантиметровому шарі) свідчить, що у віці 81-100 років дубові ліси є більш ефективними нагромаджувачами вуглецю, ніж соснові (загальний запас вуглецю в чотирьох основних пулах становить 191,7 т С га$^{-1}$ для дубових лісів і 175,4 т С га$^{-1}$ для соснових). Частка вуглецю у фітомасі переважає серед інших пулів (50,3% у дубових лісах і 57,6% у соснових), за нею йде пул ґрунтів (45,9 і 29,0% відповідно).

Впровадження Національної інвентаризації лісів забезпечить первинними даними для оцінювання запасів вуглецю і його динаміки для пулів фітомаси та мортмаси. Однак, для оцінювання пулів ґрунтів і підстилки, які відіграють важливу роль у кругообігу вуглецю в лісових екосистемах, необхідний моніторинг лісових ґрунтів.

Ключові слова: фітомаса; мортмаса; вуглецеві пули; зміни запасів вуглецю; дубові насадження; соснові насадження; класи віку.

Запасы углерода в лесах Левобережной Лесостепи Украины по данным интенсивного мониторинга

В. П. Пастернак[1], Т. С. Пивовар[2], В. Ю. Яроцкий[3]

Рассмотрены вопросы накопления и динамики углерода в разных углеродных пулах лесных насаждений Левобережной Лесостепи Украины. Целью

[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] *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

[3] *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

[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] *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: pyvovartatiana@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-7250-8549

[3] *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

исследования было оценить запасы углерода и их изменение в основных пулах – фитомассе и мортмассе на участках интенсивного мониторинга лесов. Для исследования использованы данные двух повторных наблюдений на 19 постоянных участках интенсивного мониторинга лесов в Харьковской и Сумской областях. Запасы и динамика углерода в пулах фитомассы и мортмассы оценены при помощи конверсионного метода. Обобщенные значения запасов углерода в почвах и подстилках по литературным данным включены в суммарную оценку запаса углерода для дубовых и сосновых насаждений в возрасте 80-100 лет. Данные представлены по классам возраста.

Изучение динамики прироста и отпада на участках мониторинга показало, что на баланс углерода влияют два процесса: биотические повреждения, приводящие к усыханию и отпаду деревьев, и частичное удаление мертвой древесины из древостоев.

Установлено, что средний запас углерода © в фитомассе дубовых лесов составляет 94,1 ± 10,5 тС·га$^{-1}$; сосновых – 93,4 ± 12,6 тС·га$^{-1}$, в мортмассе дубовых – 8,8 ± 3,8 тС·га$^{-1}$; сосновых – 5,3 ± 4,2 тС·га$^{-1}$. В среднем по всей выборке дубовые насаждения накапливают суммарно больший запас углерода в фитомассе и мортмассе (102,9 тС·га$^{-1}$), чем сосновые (98,7 тС·га$^{-1}$), что связано с большей представленностью спелых и перестойных дубовых насаждений. Однако, сравнение значений по классам возраста показало, что сосновые насаждения в целом имеют более высокие значения С в фитомассе, что связано с более высокой продуктивностью сосны. Отмечено увеличение запасов углерода с возрастом. Наименьший запас углерода наблюдается в других лиственных насаждениях (77,1 тС·га $^{-1}$).

Установлено, что запас углерода в мортмассе в дубовых лесах выше, чем в сосновых, как в абсолютном, так и в относительном выражении: в первых он составляет 9,3% пула фитомассы, в то время как во вторых – только 5,7%.

В дубовых и сосновых лесах наибольшее годовое изменение запаса С в фитомассе отмечено в более молодых насаждениях и с возрастом уменьшается, в то время как в мортмассе – увеличивается. Спелые и перестойные дубовые насаждения характеризуются отрицательным приростом фитомассы и положительным – мортмассы.

Сочетание наших данных с литературными данными о запасах углерода в пулах подстилки и почвы (30-сантиметровом слое) показало, что в возрасте 81-100 лет дубовые леса являются более эффективными накопителями углерода, чем сосновые (общий запас углерода в четырех основных пулах составляет 191,7 т С га$^{-1}$ для дубовых лесов и 175,4 т С га$^{-1}$ для сосновых). Доля углерода в фитомассе преобладает среди других пулов (50,3% в дубовых лесах и 57,6% в сосновых), за ней следует почвенный пул углерода (45,9 и 29,0% соответственно).

Внедрение Национальной инвентаризации лесов обеспечит первичными данными для оценки запасов углерода и его динамики для пулов фитомассы и мортмассы. Однако для оценки пулов почв и подстилки, которые играют важную роль в круговороте углерода в лесных экосистемах необходим мониторинг лесных почв.

Ключевые слова: фитомасса; мортмасса; углеродные пулы; изменения запасов углерода; дубовые насаждения; сосновые насаждения; классы возраста.

5. ЗАХИСТ ЛІСІВ І МИСЛИВСЬКЕ ГОСПОДАРСТВО

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412012
Article received 2019.11.14
Article accepted 2020.06.04

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

UDC 630.4

Parameters of *Pinus sylvestris* health condition and *Ips acuminatus* population in pure and mixed stands of Sumy region

V. L. Meshkova[1], I. O. Bobrov[2]

Outbreaks of bark beetles have increased in recent years in various regions. Pine engraver beetle (Ips acuminatus (Gyllenhal, 1827); Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) is most common in the pine forests of many European countries. Research on its biology and spread carried out in different natural conditions, phases of pest outbreak and considered various parameters to characterize the population of the pest and forest health condition.

The aim of the research was to compare the health condition of Scots pine stands and population parameters of I. acuminatus in its two generations in pure and mixed stands in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region. Research was carried out in 2017 in the pure Scots pine stands and mixed stands with Scots pine and other forest species in Polissya (State Enterprise «Seredyno-Budsky Agroforest Economy»; State Enterprise «Seredyno-Budsky Forest Economy») and Forest-steppe parts (State Enterprise «Velykopysarivske Agroforest Economy»; State Enterprise «Okhtyrske Forest Economy») of Sumy region at 26 sample plots. In sample plots, parameters of forest health condition and bark beetle population were assessed in June and in September, after completion of development of spring and summer generation of I. acuminatus.

By most of the parameters assessed, significant differences between sample plots in Forest-Steppe and Polissya parts of Sumy region were not found. In pure Scots pine stands the mean area of bark beetles' foci and bark beetles' production were larger in Forest-steppe in June, and the density of Ips acuminatus nuptial chambers in June and September.

In pure Scots pine stands the area of I. acuminatus focus, the number of colonized trees, the proportion of recently died trees, health condition indices, the density of egg galleries and nuptial chambers as well as young beetle's production increased from June to September. In mixed stands the focus area, the number of colonized trees and health condition index increased insignificantly, and population parameters of I. acuminatus decreased from June to September. Pure Scots pine stands changed the health condition from «severely weakened» to «drying up» in three months, and mixed ones remained in the «weakened» category.

[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] *Ivan A. Bobrov* – PhD (agricultural sciences), engineer-taxator of the 1st category of the Complex Forest Management Expedition of the Ukrainian State Project Forest Management Production Association «Ukrderzhlisproekt», Troitskaya street, 22-24, Irpin, Kiev region, 08200, Ukraine. Tel. +38-097-890-55-26. E-mail: bobrov.ivan.org@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3087-561X

In pure pine stands, the density of egg galleries and beetles of the young generation increased for three months from the lower limit of a moderate level to a high level, the density of nuptial chambers – from low to a high level. In mixed stands, all population parameters of I. acuminatus correspond to a low population level. The parameters characterizing the investigated foci of I. acuminatus in the Sumy region significantly correlated with the participation of pine in the stand composition, and in September the correlation is closer than in June. The data obtained indicate the feasibility of creating predominantly mixed pine stands.

***Key words**: bark beetle; outbreak; health condition index; tree mortality; egg galleries; nuptial chambers; young beetle's production.*

Introduction. Outbreaks of bark beetles have increased in recent years in various regions (Wermelinger, Rigling, Schneider, & Dobbertin, 2008; Siitonen, 2014; Andreieva, Guzii, & Vyshnevskyi, 2018; Meshkova, 2019), which is explained by climate change (Andreieva, & Goychuk, 2018; Andreieva, Korma, Zhytova, Martynchuk, & Vyshnevskyi, 2020) and anthropogenic impacts (Björkman, Bylund, Nilsson, Nordlander, & Schroeder, 2015; Foit, 2015; Shvidenko, Buksha, Krakovska, & Lakyda, 2017; Meshkova, Borysenko, & Pryhornytskyi, 2018; Jaime et al., 2019). Pine engraver beetle (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827); Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) is most common in the pine forests of many European countries (Colombari et al., 2012, 2013; Andreieva, Vyshnevskyi, & Boliukh, 2019). Its harmfulness increases due to its possibility of vectoring ophiostomatoid fungi to Scots pine trees (Davydenko, Vasaitis, & Menkis, 2017; Davydenko, 2019).

Recently, much research has been published on the biological characteristics of the pine engraver beetle and its distribution in forest stands (Colombari et al., 2012, 2013; Siitonen, 2014; Meshkova, Borysenko, & Pryhornytskyi, 2018; Meshkova, Kochetova, Zinchenko, & Skrylnik, 2017, Andreieva, Guzii, & Vyshnevskyi, 2018; Andreieva, Vyshnevskyi, & Boliukh, 2019).

Pine engraver beetle is found to inhabit trees and forest residues of pine at the beginning of the growing season – in April, but in a few weeks, the females again lay eggs from which the sister brood develops (Colombari et al., 2012). Due to the ability of the pine engraver beetle to hibernate as larvae and imago, under the bark and in the forest litter, to develop in several generations a year, including sister broodi, tree colonization occurs throughout whole summer (Meshkova, Kochetova, Zinchenko, & Skrylnik, 2017). Infested trees have been dying for several weeks (Meshkova, 2019). External signs of tree colonization by pine engraver beetle are the change in the color shade of needles and the presence within the projection of crowns of fallen twigs and branches with the galleries of this pest (Colombari et al., 2012). The study of the spatial dynamics of the foci of pine engraver beetle revealed that they are formed from a well-lighted forest wall, clear-cuts or other plots where there has been intensive forest thinning or removal (Andreieva, Guzii, & Vyshnevskyi, 2018; Meshkova, Borysenko, & Pryhornytskyi, 2018).

However, each researcher carried out his studies in certain natural conditions, in different phases of pest outbreak and considered various parameters to characterize the population of the pest and forest health condition. We assumed, that decline of Scots pine caused by pine engraver beetle depends on the natural zone and forest stand structure, particularly its tree composition, and the population parameters of this pest vary in different generations of the same pest at the same year.

Objects and methods. *Object of research* – forest health condition and *Ips acuminatus* population parameters. *Subject of research* – parameters of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) health condition and *Ips acuminatus* population in pure and mixed stands.

The aim of the research was to compare the health condition of Scots pine stands and population parameters of *Ips acuminatus* in its two generations in pure and mixed stands in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region.

Research was carried out in 2017 in the pure Scots pine stands and mixed stands with Scots pine and other forest species in Polissya (State Enterprise «Seredyno-Budsky Agroforest Economy»; State Enterprise «Seredyno-Budsky Forest Economy») and Forest-steppe parts (State Enterprise «Velykopysarivske Agroforest Economy»; State Enterprise «Okhtyrske Forest Economy») of Sumy region at 26 sample plots (Tab. 1).

Fresh poor forest site conditions (A_2) and fresh relatively poor forest site conditions (B_2) were presented in sample plots. In fresh poor forest site conditions mainly Scots pine is presented with single silver birch (*Betula pendula* Roth.) trees. In fresh relatively poor forest site conditions from 7 to 10 units of Scots pine were mixed with silver birch, English oak (*Quercus robur* L.) and Northern Red oak (*Quercus rubra* L.).

The age of stands in sample plots was from 40 to 65 years old (see Tab. 1).

Two groups of parameters were analyzed in sample plots. The first group described the health condition of the forest stand, and the second group characterized the bark beetle population. Taking into account the fact that pure pine stands are represented in all sample plots with fresh poor forest site conditions (A_2), and mixed stands in all sample plots with fresh relatively poor forest site conditions (B_2), all the results of comparing the parameters stand health condition and the bark beetle population in the groups of sample plots A_2 and B_2 correspond to a comparison of pure and mixed forests.

Table 1

Characteristics of sample plots in the bark beetles' foci in Sumy region

Sample plot (SP)	Forest plot	Subcompartment	Area, ha	Age, years	Species composition*	Forest site conditions**
State Enterprise «Seredyno-Budsky Agroforest Economy» (Polissya)						
1	92	15	12.5	42	10 Pinsyl	A_2
2	15	2	14.7	54	10 Pinsyl + Betpen	A_2
3	18	1	3.5	44	10 Pinsyl	A_2
4	75	37	9.8	60	10 Pinsyl	B_2
5	84	12	10.7	62	9 Pinsyl 1Betpen	B_2
6	110	12	6.3	54	10 Pinsyl + Betpen	B_2
State Enterprise «Seredyno-Budsky Forest Economy» (Polissya)						
7	43	10	11.9	43	8 Pinsyl 2Betpen	B_2
8	5	14	7.5	51	7 Pinsyl 3Betpen	B_2
9	12	4	17.9	54	8 Pinsyl 2Betpen	B_2
10	72	19	10.4	56	10 Pinsyl	A_2
11	85	27	13.7	45	10 Pinsyl	A_2
12	92	13	18.4	61	10 Pinsyl	A_2
13	94	20	3.7	65	10 Pinsyl	A_2
State Enterprise «Velykopysarivske Agroforest Economy» (Forest-steppe)						
14	2	4	10.7	56	10 Pinsyl	A_2
15	7	12	17.3	55	10 Pinsyl	A_2
16	10	15	8.4	47	10 Pinsyl	A_2
17	10	18	6.7	62	10 Pinsyl	A_2
18	12	8	15.9	51	7 Pinsyl 3 Betpen	B_2
19	12	18	10.4	56	8 Pinsyl 2 Betpen	B_2
20	24	2	18.3	44	9 Pinsyl 1 Betpen	B_2
State Enterprise «Okhtyrske Forest Economy» (Forest-steppe)						
21	124	13	20.5	53	10 Pinsyl	A_2
22	50	3	4.7	62	10 Pinsyl	A_2
23	50	42	5.8	62	10 Pinsyl + Betpen	A_2
24	43	14	6.9	54	8 Pinsyl 1 Betpen 1 Querob	B_2
25	58	24	11.4	67	7 Pinsyl 2 Querob 1 Betpen	B_2
26	62	74	10.1	63	7 Pinsyl 2 Betpen 1 Querub	B_2

Notes: *Pinsyl – *Pinus sylvestris;* Querob – *Quercus robur;* Querub – *Quercus rubra*; Betpen – *Betula pendula;* ** B_2 – fresh relatively poor forest type condition; C_2 – fresh relatively fertile forest type condition; D_2 – fresh fertile forest type condition (classes by Alekseev-Pogrebnyak).

All parameters were assessed twice – in June and in September, after completion of the development of spring and summer generation of *Ips acuminatus*.

Average focus area was evaluated in each subcompartment with a sample plot by stand inspection (Mozolevskaya, Kataev, & Sokolova, 1984). The proportion of trees colonized by *Ips acuminatus* as well as the health condition of trees were evaluated only for Scots pine trees in all sample plots. Category of health condition for each tree was evaluated on a range of visual characteristics according to «Sanitary rules in the forests of Ukraine» (Anonimous, 1995) by the following classes: 1st – healthy; 2nd – weakened; 3rd – severely weakened; 4th – drying up; 5th – recently died; 6th – died over a year ago. Health condition index (HCI) was calculated as mean weighted from trees number of each category of health condition, separately for all living and dead trees (HCI_{1-6}) and for living trees only (HCI_{1-4}).

The number of egg galleries, nuptial chambers, and young beetles was evaluated in model branch sections (with diameter 0.5-2.6 cm and length 10-

15 cm, 7–10 branches per sample plot) and recalculated on 1 dm^2.

Summary statistics, one-way analysis of variance (ANOVA) and correlation analysis (Atramentova & Utevskaya, 2008) were performed using Microsoft Excel applications.

Results and discussion. The analysis shows a significant difference by the mean area of bark beetles' foci in pure and mixed stands both in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region (Fig. 1).

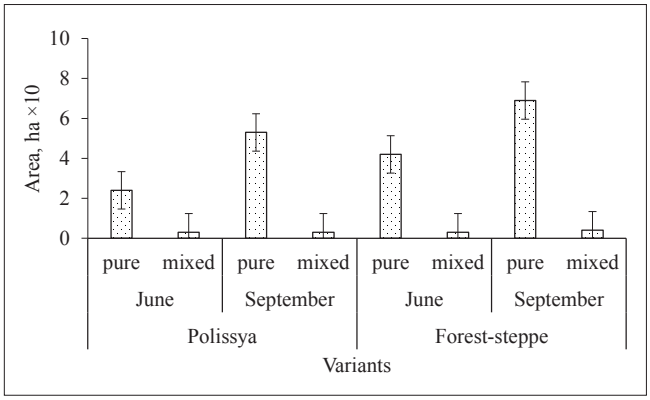


Fig.1. Area of bark beetles' foci in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

The mean area of bark beetles' foci was significantly higher in the Forest-Steppe than in Polissya part of Sumy region in June in pure pine stands in 1.8 times ($F_{fact.}$=4.1; $F_{0.05}$=4.6; p=0.1) and insignificantly in mixed stands 1 ($F_{fact.}$=0.2; $F_{0.05}$=5.3; p=0.7), in September – insignificantly both in pure and mixed stands ($F_{fact.}$=2.1; $F_{0.05}$=4.6; p=0.5 and $F_{fact.}$=0.1; $F_{0.05}$=5.3; p=0.7 respectively).

In the Polissya part of Sumy region, the mean area of bark beetles' foci in pure pine stands was significantly larger than in mixed ones. In June it was 8 times larger ($F_{fact.}$=4.72; $F_{0.05}$=4.70; p=0.05), and in September – 17.7 times larger ($F_{fact.}$=14.0; $F_{0.05}$=4.8; p=0.003). In the Forest-steppe part of Sumy region in June the mean area of bark beetles' foci in pure pine stands was also significantly larger than in mixed ones. In June it was 14 times larger than in mixed ones ($F_{fact.}$=31; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001), and in September – 17.3 times larger ($F_{fact.}$=180.6; $F_{0.05}$=4.8; p=<0.001).

In the Polissya part of Sumy region the mean foci area increased in September compared to June in 2.2 times in the pure pine stands ($F_{fact.}$=7.5; $F_{0.05}$=4.5; p=<0.01) and did not increase in the mixed stands ($F_{fact.}$=0.04; $F_{0.05}$=5.99; p=0.85). In the Forest-steppe part of Sumy region the mean foci area increased in September compared to June in 1.6 times in the pure pine stands ($F_{fact.}$=12.5; $F_{0.05}$=4.7; p=0.004) and increased insignificantly in the mixed stands ($F_{fact.}$=0.01; $F_{0.05}$=4.96; p=0.94).

At the time of June assessment, the trees of the 5th and 6th categories of health condition were available in all sample plots. Proportion of trees which have died over a year ago (the 6th category of health condition) could not change during the season, so the comparison of its share was made only according to the assessment made in June (Fig. 2).

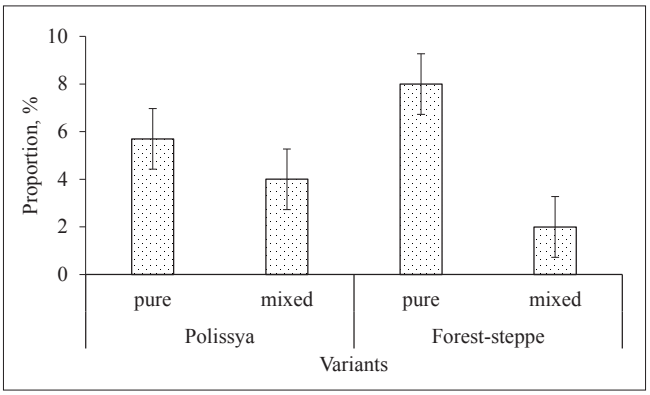


Fig. 2. Proportion of Scots pine trees of the 6th category of health condition in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in June

Proportion of the trees of the 6th category of health condition in June was insignificantly larger in pure pine stands than in mixed ones in Polissya ($F_{fact.}$=0.7; $F_{0.05}$=4.8; p=0.4) and significantly 4 times larger in the Forest-steppe part of Sumy region ($F_{fact.}$=11; $F_{0.05}$=4.8; p=0.01). The differences in this parameter between Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region were insignificant both for pure ($F_{fact.}$=0.5; $F_{0.05}$=4.6; p=0.2) and mixed stands ($F_{fact.}$=2.3; $F_{0.05}$=5.3; p=0.2).

Recently died Scots pine trees (the 5th category of health condition) were found in June in all sample plots in the pure Scots pine stands and in 90 % sample plots in mixed stands (Fig. 3). Assessment in September shows an increase the proportion of the trees of the 5th category of health condition compared to June at all sample plots in pure Scots pine stands and in about half of sample plots in mixed stands.

In Polissya part of Sumy region the difference between the proportion of the trees of the 5th category of health condition was significantly (in 3.3 times) larger in pure Scots pine stands than in mixed stands in June ($F_{fact.}$=5.5; $F_{0.05}$=4.7; p=0.04) and in September ($F_{fact.}$=9.5; $F_{0.05}$=4.7; p=0.01). In Forest-steppe part of Sumy region the difference between pure and mixed stands was insignificant in June ($F_{fact.}$=3.7; $F_{0.05}$=4.8; p=0.1) and significant (in 7.4 times) in September ($F_{fact.}$=116.7; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001).

In Polissya part of Sumy region the proportion of the trees of the 5th category of health condition was significantly larger in September (in 5.7 times) compared to June in pure stands ($F_{fact.}$=27.9; $F_{0.05}$=4.5; p<0.001) and insignificant in mixed stands ($F_{fact.}$=1.2; $F_{0.05}$=5.0; p=0.3). In Forest-steppe part of Sumy region the proportion of the trees of the 5th category of health condition was also significantly larger (in 5.7 times) in September compared to June in pure stands ($F_{fact.}$=107.7; $F_{0.05}$=4.7; p<0.001) and insignificant in mixed stands ($F_{fact.}$=1.8; $F_{0.05}$=5.0; p=0.2). The proportion of recently dead Scots pine trees differed insignificantly between sample plots in Polissya and Forest-steppe part of Sumy region for pure Scots

pine stands in June ($F_{fact.}$=0.2; $F_{0.05}$=4.6; p=0.6) and September ($F_{fact.}$=1.3; $F_{0.05}$=4.6; p=0.3), as well as for mixed stands in June ($F_{fact.}$=0.8; $F_{0.05}$=5.0; p=0.4) and September ($F_{fact.}$=0.3; $F_{0.05}$=5.0; p=0.6).

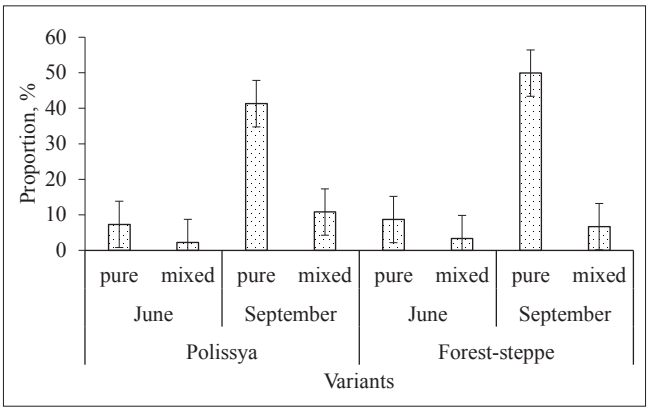


Fig. 3. Proportion of Scots pine trees of the 5th category of health condition in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

Health condition index for all living and dead trees ($HCI_{(1-6)}$) was significantly larger in pure Scots pine stands compared to mixed stands in both natural zones and in both dates of assessment (Fig. 4).

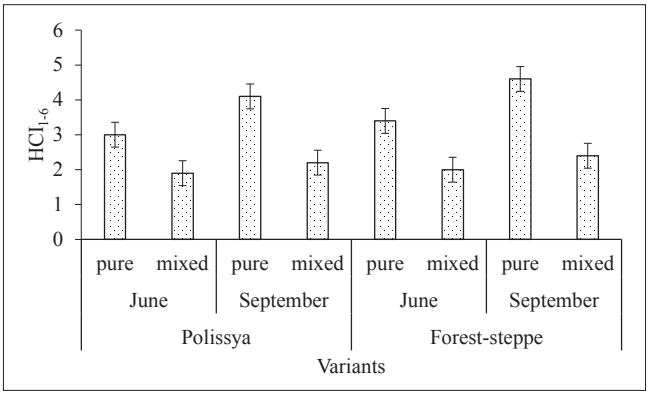


Fig. 4. Health condition index for all living and dead trees (HCI_{1-6}) in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

Such difference of HCI_{1-6} between pure and mixed stands was significant for Polissya part of Sumy region in June ($F_{fact.}$=9.5; $F_{0.05}$=4.8; p=0.01) and September ($F_{fact.}$=20.5; $F_{0.05}$=4.8; p=0.001) as well as for Forest-steppe part of Sumy region in June ($F_{fact.}$=59.9; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001) and September ($F_{fact.}$=223.7; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001).

The HCI_{1-6} increased significantly in September compared to June in pure ($F_{fact.}$=8.3; $F_{0.05}$=4.5; p<0.01) and insignificantly in mixed stands of Polissya ($F_{fact.}$=4.4; $F_{0.05}$=6.0; p<0.1). However, the difference was significant both in pure ($F_{fact.}$=54.8; $F_{0.05}$=4.7; p<0.001) and mixed stands of Forest-steppe part of Sumy region ($F_{fact.}$=6.1; $F_{0.05}$=5.0; p=0.03).

The difference of HCI_{1-6} between Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region was insignificant for pure Scots pine stands in June ($F_{fact.}$=1.6; $F_{0.05}$=4.6; p=0.2) and September ($F_{fact.}$=2.0; $F_{0.05}$=4.6; p=0.2), as well as for mixed stands in June ($F_{fact.}$=0.1; $F_{0.05}$=5.3; p=0.7) and September ($F_{fact.}$=1.6; $F_{0.05}$=5.3; p=0.2).

Health condition index for living trees (HCI_{1-4}) was significantly larger in pure Scots pine stands compared to mixed stands in both natural zones and in both dates of assessment (Fig. 5).

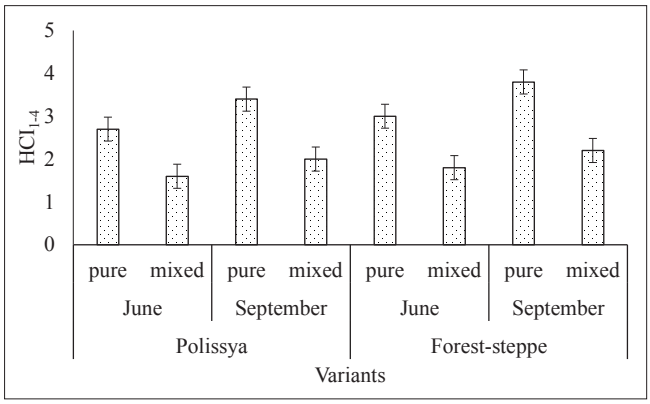


Fig. 5. Health condition index for living trees (HCI_{1-4}) in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

The difference in HCI_{1-4} was significantly larger in pure Scots pine stands compared to mixed stands of Polissya in June ($F_{fact.}$=11.0; $F_{0.05}$=4.8; p=0.01) and September ($F_{fact.}$=13.9; $F_{0.05}$=4.8; p=0.003), as well as of Forest-steppe part of Sumy region in June ($F_{fact.}$=90.7; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001) and September ($F_{fact.}$=156.0; $F_{0,05}$=4.8; p<0.002).

The HCI_{1-4} insignificantly increased in September compared to June in pure ($F_{fact.}$=4.3; $F_{0.05}$=4.5; p=0.1) and mixed stands of Polissya part of Sumy region ($F_{fact.}$=4.4; $F_{0.05}$=6.0; p=0.1). However, such an increase of HCI_{1-4} was significant in the Forest-steppe part of Sumy region both for pure ($F_{fact.}$=29.9; $F_{0.05}$=4.7; p<0.001) and mixed stands ($F_{fact.}$=9.8; $F_{0.05}$=5.0; p=0.01).

The difference of HCI_{1-4} between Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region was insignificant for pure Scots pine stands in June ($F_{fact.}$=1.4; $F_{0.05}$=4.6; p=0.3) and September ($F_{fact.}$=2.1; $F_{0.05}$=4.6; p=0.2), as well as for mixed stands in June ($F_{fact.}$=0.7; $F_{0.05}$=5.3; p=0.4) and September ($F_{fact.}$=0.8; $F_{0.05}$=5.3; p=0.4).

The number of trees colonized by pine engraver beetle was higher in pure stands compared to mixed ones (Fig. 6).

This difference in Polissya part of Sumy region was 7.8 times in June ($F_{fact.}$=12.3; $F_{0.05}$=4.8; p=0.005) and 5.2 times in September ($F_{fact.}$=12.2; $F_{0.05}$=4.8; p=0.005). In the Forest-steppe part of Sumy region the difference between a number of colonized trees in pure and mixed stands was 4.8 times in June ($F_{fact.}$=13.3; $F_{0.05}$=5.0; p=0.005) and 9.4 times in September ($F_{fact.}$=34.2; $F_{0.05}$=5.0; p=0.00025).

Increase of colonized trees from June to September in Polissya part of Sumy region in pure stands (3.8 times) is significant ($F_{fact.}$=17.4; $F_{0.05}$=4.7; p=0.001),

and in mixed stands (5.8 times) is not significant ($F_{fact.}$=1.0; $F_{0.05}$=5.0; p=03) because an amount of such trees is rather low. In the Forest-steppe part of Sumy region, we see the similar situation: the number of trees increased for three months in 2.6 and 1.3 times in pure and mixed stands respectively ($F_{fact.}$=17.1; $F_{0.05}$=5.0; p=0.002 and $F_{fact.}$=0.1; $F_{0.05}$=5.0; p=0.8), but such increase is insignificant in mixed stands.

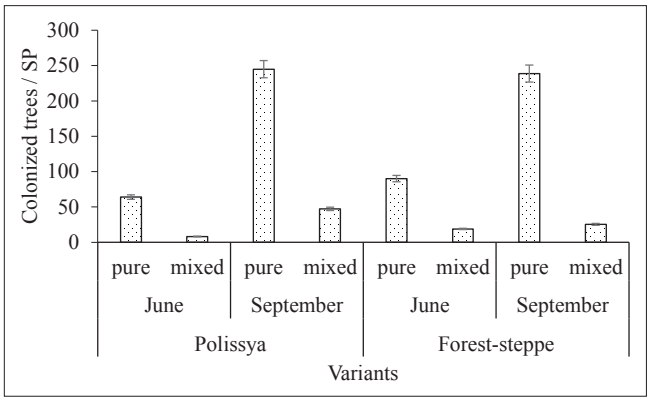


Fig. 6. Number of bark beetle colonized trees in pure and mixed pine stands in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

The differences between sample plots in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region by colonized trees number are insignificant in June ($F_{fact.}$=1.5; $F_{0.05}$=4.8; p=0.3 and $F_{fact.}$=0.9; $F_{0.05}$=5.0; p=0.4 in pure and mixed stands respectively) and in September ($F_{fact.}$=0.01; $F_{0.05}$=4.8; p=0.9 and $F_{fact.}$=0.3; $F_{0.05}$=5.0; p=0.6 in pure and mixed stands respectively).

Mother galleries of pine engraver beetle were found at all sample plots in pure stands and at 20 % sample plots in mixed stands. In the Polissya part of Sumy region in June the density of egg galleries in pure and mixed stands differed insignificantly ($F_{fact.}$=4.3; $F_{0.05}$=4.8; p=0.1), and in September it differed in 18 times which was significant ($F_{fact.}$=15.0; $F_{0.05}$=4.8; p=0.003) (Fig. 7).

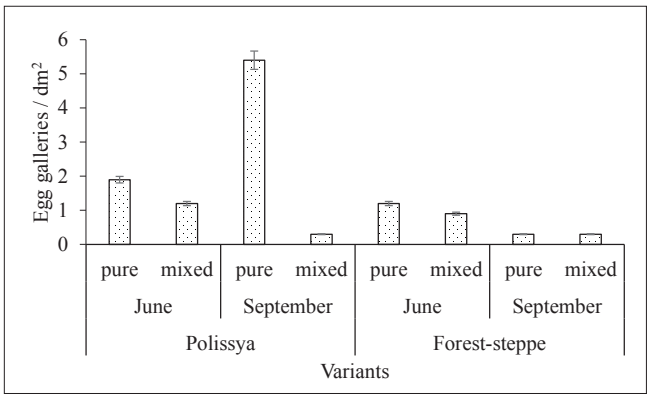


Fig. 7. Density of egg galleries in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

In the Forest-steppe part of Sumy region the density of egg galleries in pure and mixed stands differed significantly both in June ($F_{fact.}$=62.5; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001) and in September ($F_{fact.}$=340.4; $F_{0.05}$=4.8; p<0.001).

From June to September the density of egg galleries significantly increased in pure stands of Polissya part of Sumy region ($F_{fact.}$=16.5; $F_{0.05}$=4.5; p<0.001). It significantly decreased mixed stands of Polissya part of Sumy region ($F_{fact.}$=270.0; $F_{0.05}$=4.7; p<0.001), pure ($F_{fact.}$=6.2; $F_{0.05}$=6.0; p=0.05) and mixed stands of Forest-steppe part of Sumy region ($F_{fact.}$=5.7; $F_{0.05}$=5.0; p<0.04).

The differences in density of egg galleries in Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region are insignificant in June for pure ($F_{fact.}$=3,1; $F_{0.05}$=4,6; p=0.1) and mixed stands ($F_{fact.}$=1,4; $F_{0.05}$=5.3; p=0.3) and in September for pure ($F_{fact.}$=4,0; $F_{0.05}$=4,6; p=0,07) and mixed stands ($F_{fact.}$=0,03; $F_{0.05}$=5.3; p=0.9).

The density of nuptial chambers of pine engraver beetle in June was almost 5 times more in pure stands compared to mixed ones (Fig. 8). In September this parameter increased in pure stands and decreased in mixed stands.

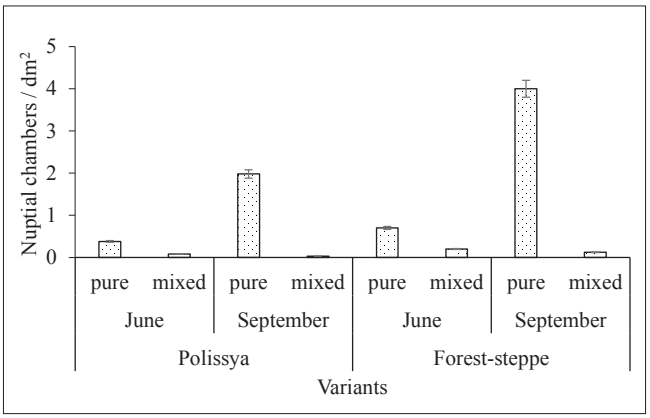


Fig. 8. Density of nuptial chambers in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

In the Polissya part of Sumy region the density of nuptial chambers was significantly larger in pure stands compared to mixed stands in June ($F_{fact.}$=5.9; $F_{0.05}$=4,8; p=0,03) and in September ($F_{fact.}$=9.7; $F_{0.05}$=4,8; p=0,01) – in 4.8 and 66 times in June and September respectively. In the Forest-steppe part of Sumy region the density of nuptial chambers was significantly larger in pure stands compared to mixed stands in June ($F_{fact.}$=28.6; $F_{0.05}$=4,8; p<0,001) and in September ($F_{fact.}$=112.3; $F_{0.05}$=4,8; p<0,001) – in 3.5 and 33.3 times in June and September respectively.

The density of nuptial chambers significantly increased in September compared to June in pure stands of Polissya (in 5.2 times) ($F_{fact.}$=14.9; $F_{0.05}$=4,5; p=0,001) and Forest-Steppe (in 5.7 times) ($F_{fact.}$=98.2; $F_{0,05}$=4.7; p<0.001) and insignificantly decreased in mixed stands of Polissya ($F_{fact.}$=2.4; $F_{0.05}$=6.0; p=0,2) and Forest-Steppe parts of Sumy region ($F_{fact.}$=0.2; $F_{0.05}$=5.0; p=0,7).

In pure stands, the density of nuptial chambers was significantly larger in Forest-steppe compared to Polissya both in June ($F_{fact.}$=7.8; $F_{0.05}$=4.6; p=0,01) and

September ($F_{fact.}$=13.3; $F_{0.05}$=4.6; p=0,003). In mixed stands, the differences between Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region were insignificant both in June ($F_{fact.}$=1.9; $F_{0.05}$=5.3; p=0,2) and September ($F_{fact.}$=0.4; $F_{0.05}$=5.3; p=0,6).

The density of young beetles (production) of pine engraver beetle was significantly larger in pure pine stands compared to mixed ones (Fig. 9).

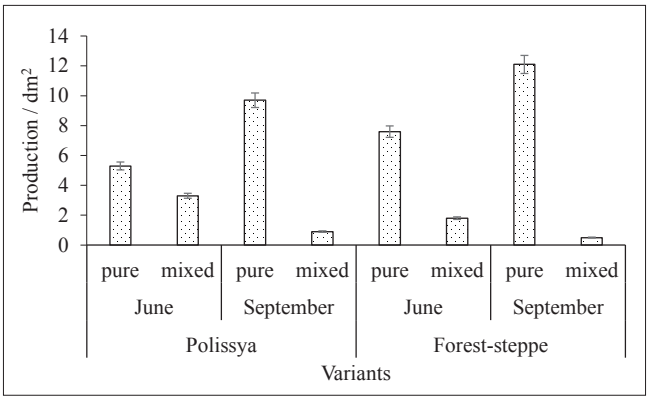


Fig. 9. Production of bark beetles in pure and mixed pine stands in the Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region in different dates of assessment

The difference of bark beetles' production in pure and mixed pine stands in the Polissya part of Sumy region was significant in June ($F_{fact.}$=3.1; $F_{0.05}$=4.8; p=0,1) and in September ($F_{fact.}$=16.6; $F_{0.05}$=4.8; p=0,002). In the Forest-steppe part of Sumy region the bark beetles' production was also significantly larger in pure stands in June ($F_{fact.}$=82.1; $F_{0.05}$=4.8; p<0,001) and in September ($F_{fact.}$=206.7; $F_{0.05}$=4.8; p<0,001).

The bark beetles' production increased in 1.8 times from June to September in pure stands ($F_{fact.}$=28.5; $F_{0.05}$=4.7; p<0,001) and decreased 3.7 times in mixed stands ($F_{fact.}$=5.4; $F_{0.05}$=5.0; p=0,04) of Polissya part of Sumy region. In the Forest-steppe part of Sumy region the bark beetles' production increased in 1.6 times from June to September in pure stands ($F_{fact.}$=30.7; $F_{0.05}$=4.7; p<0,001) and decreased 3.6 times in mixed stands ($F_{fact.}$=5.6; $F_{0.05}$=5.0; p=0,04).

The differences on bark beetles' production in pure stands of Polissya and Forest-steppe parts of Sumy region were significant in June ($F_{fact.}$=6.3; $F_{0.05}$=4.6; p=0.03) and insignificant in September ($F_{fact.}$=2.3; $F_{0.05}$=4.6; p=0,2). Such differences in mixed stands were also significant in June ($F_{fact.}$=7.8; $F_{0.05}$=5.3; p=0.02) and insignificant in September ($F_{fact.}$=0.2; $F_{0.05}$=5.3; p=0,6).

Within the age range of Scots pine stands in sample plots (40–65 years old), no dependence of forest condition and bark beetle population parameters was found on the age of stands (r – 0.01-0.18; p>0.1). A significant dependence of foci area, the number of colonized trees, the proportion of recently died trees, HCI_{1-6}, HCI_{1-4}, the density of egg galleries, nuptial chambers, and production from proportion of Scots pine in the stand composition was shown, which was is in September closer than in June (Tab. 2).

Table 2

Correlation of parameters of forest health and *Ips acuminatus* population with Scots pine proportion in Sumy region

Parameters	r		s_r		t*	
	June	September	June	September	June	September
Foci area	0.65	0.8	0.16	0.12	**4.19**	**6.53**
Number of colonized trees	0.6	0.74	0.16	0.14	*3.67*	**5.39**
Proportion of trees of 5 HCI	0.42	0.78	0.19	0.13	2.27	**6.11**
HCI_{1-6}	0.77	0.83	0.13	0.11	**5.91**	**7.29**
HCI_{1-4}	0.81	0.81	0.12	0.12	**6.77**	**6.77**
Density of egg galleries	0.71	0.80	0.14	0.12	**4.94**	**6.53**
Density of nuptial chambers	0.58	0.73	0.17	0.14	*3.49*	**5.23**
Production	0.69	0.81	0.15	0.12	**4.67**	**6.77**

Note: *N = 26; $t_{0.05}$= 2.06; $t_{0.01}$= 2.8 – italic; $t_{0.001}$= 3.75 – bold.

Conclusions. By most of the parameters of *Ips acuminatus* outbreak, significant differences between sample plots in Forest-Steppe and Polissya parts of Sumy region were not found. In pure Scots pine stands the mean area of bark beetles' foci and bark beetles' production were larger in Forest-steppe in June, and the density of *Ips acuminatus* nuptial chambers in June and September.

In pure Scots pine stands the area of *Ips acuminatus* focus, the number of colonized trees, the proportion of recently died trees, health condition indices, the density of egg galleries and nuptial chambers, as well as young beetle's production, increased from June to September. In mixed stands, the focus area, the number of colonized trees and health condition index increased insignificantly, and population parameters of *Ips acuminatus* decreased from June to September. Pure Scots pine stands changed the health condition from «severely weakened» to «drying up» in three months, and mixed ones remained in the «weakened» category.

The abundance of *Ips acuminatus* in pure pine stands by the density of egg galleries and by production (the density of beetles of the young generation) increased for three months from the lower limit of a moderate level to a high level, by the density of nuptial chambers – from low to a high level. In mixed stands, all population parameters of *Ips acuminatus* correspond to a low population level.

The parameters characterizing the investigated foci of *Ips acuminatus* in the Sumy region significantly correlated with the participation of pine in the stand composition, and in September the correlation is closer than in June.

The data obtained indicate the feasibility of creating predominantly mixed pine stands.

References

Andreieva, O.Y., & Goychuk, A.F. (2018). Spread of Scots pine stands decline in Korostyshiv Forest Enterprise. *Forestry and Forest Melioration*, *132,* 148-154. https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.148

Andreieva, O. Y., Guzii, A. I., & Vyshnevskyi, A. V. (2018) Spread of bark beetles foci in pine stands of Rivne Polissya. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *28* (3), 14-17. https://doi.org/10.15421/40280302 (in Ukrainian).

Andreieva, O., Korma, O., Zhytova, O., Martynchuk, I., & Vyshnevskyi, A. (2020). Beetles and nematodes associated with wither Scots pines. *Central European Forestry Journal*, *66* (1), 49-59. https://doi.org/10.2478/forj-2020-0001

Andreieva, O. Yu., Vyshnevskyi, A.V., & Boliukh, S.V. (2019). *Population dynamics of bark beetles in the pine forests of Zhytomyr region. Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *29* (8), 31-35. https://doi.org/10.36930/40290803 (in Ukrainian).

Anonimous: *Sanitary rules in the forests of Ukraine* (1995). Kiev: State Forestry Committee of Ukraine (in Ukrainian).

Atramentova, L.A., & Utevskaya, O.M. (2008). *Statistical methods in biology*. Gorlovka: Likhtar. ISBN 978-966-2129-26-7 (in Russian).

Björkman, C., Bylund, H., Nilsson, U., Nordlander, G., & Schroeder, M. (2015). Effects of new forest management on insect damage risk in a changing climate. *Climate change and insect pests. CABI, UK*, 248-266.

Colombari, F., Battisti, A., Schroeder, L.M., & Faccoli, M. (2012). Life-history traits promoting outbreaks of the pine bark beetle *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae, Scolytinae) in the south-eastern Alps. *Eur J Forest Res., 131,* 553-561. https://doi.org/10.1007/s10342-011-0528-y

Colombari, F., Schroeder, M. L., Battisti, A., & Faccoli, M. (2013). Spatio-temporal dynamics of an *Ips acuminatus* outbreak and implications for management. *Agricultural and Forest Entomology, 15*, 34-42. https://doi.org/10.1111/j.1461-9563.2012.00589.x

Davydenko, K. (2019). A comparative characteristic of fungal communities associated with Ips acuminatus in different regions of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, *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

Foit, J. (2015). Bark- and wood-boring beetles on Scots pine logging residues from final felling: effects of felling date, deposition location and diameter of logging residues. *Ann. For. Res*. *Journal*, *58* (1), 67-79. https://doi.org/10.15287/afr.2015.302

Jaime, L., Batllori, E., Margalef-Marrase, J., Navarro, M.Á.P., & Lloret, F. (2019). Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) mortality is explained by the climatic suitability of both host tree and bark beetle populations. *Forest Ecology and Management*, *448*, 119-129. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.05.070

Meshkova, V. L. (2019). Decline of pine forest in Ukraine with contribution from bark beetles: causes and trends. *Proceedings of the St. Petersburg Forest Technical Academy*, *228*, 312-335 (In Russian with English summary). https://doi.org/10.21266/2079-4304.2019.228.312-335

Meshkova, V.L., Borysenko, O.I., & Pryhornytskyi, V.I. (2018). Forest site conditions and other features of Scots pine stands favorable for bark beetles. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 16*, 106-114. https://doi.org/10.15421/411812

Meshkova, V.L., Kochetova, A.I., Zinchenko, O.V., & Skrylnik, Yu. Ye. (2017). Biology of multivoltine bark beetles species (Coleoptera: Scolytinae) in the North-Eastern Steppe of the Ukraine. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University*. *Series «Phytopathology and Entomology», 1-2*, 117-124. https://knau.kharkov.ua/uploads/visn_ento_fito/2017/18.pdf

Mozolevskaya, E.G., Kataev, O.A., & Sokolova, E.S. (1984). *Metody lesopatologicheskogo obsledovaniya ochagov stvolovykh vrediteley i bolezney lesa* [*Methods of forest pathological examination of foci of stem pests and forest diseases*]. Moscow: Forest Industry (in Russian).

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

Siitonen, J. (2014). *Ips acuminatus* kills pines in southern Finland. *Silva Fennica. 48* (4), article id 1145. 7 p. http://dx.doi.org/10.14214/sf.1145.

Wermelinger, B., Rigling, A., Schneider, M.D., & Dobbertin, M. (2008). Assessing the role of bark-

and woodboring insects in the decline of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in the Swiss Rhone valley. *Ecological Entomology, 33*, 239-249. https://doi.org/10.1111/j.1365-2311.2007.00960.x

Показники санітарного стану *Pinus sylvestris* та популяцій *Ips acuminatus* у чистих і мішаних насадженнях Сумської області

В.Л. Мєшкова[1], І.О. Бобров[2]

Спалахи масового розмноження короїдів посилилися останнім часом у багатьох регіонах. Верхівковий короїд (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827); Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) найбільш поширений у соснових лісах багатьох країн Європи. Дослідження його біології та поширення здійснили у різних природних умовах, фазах спалаху та брали до уваги різні показники для характеристики популяції шкідника і санітарного стану насаджень.

Мета досліджень полягала у порівнянні санітарного стану сосни звичайної та параметрів популяцій верхівкового короїда у двох поколіннях у чистих і мішаних насадженнях поліської та лісостепової частин Сумської області. Дослідження здійснені у 2017 р. на 26 пробних площах, закладених у поліській (ДП «Середино-Будський агролісгосп»; ДП «Середино-Будське лісове господарство») та лісостеповій частинах (ДП «Великописарівський агролісгосп»; ДП «Охтирське лісове господарство») Сумської області. На пробних площах оцінювали показники санітарного стану насаджень і популяцій верхівкового короїда у червні та вересні – після завершення розвитку його весняного і літнього поколінь.

За більшістю оцінених параметрів не виявлено достовірної різниці між пробними площами у поліській і лісостеповій частинах Сумської області. У чистих соснових насадженнях середня площа осередка короїда та його продукція (щільність молодих жуків) були більшими у лісостеповій частині Сумської області у червні, а щільність шлюбних камер – у червні та вересні.

У чистих соснових насадженнях середня площа осередку *I. acuminatus*, кількість заселених дерев, частка свіжого сухостою, індекси санітарного стану сосни, щільність маточних ходів і шлюбних камер короїда, а також його продукція збільшувалися від червня до вересня. У мішаних насадженнях за цей період середня площа осередку *I. acuminatus* та індекси санітарного стану сосни змінилися недостовірно, а параметри популяції *I. acuminatus* зменшилися. За санітарним станом впродовж трьох місяців чисті соснові насадження змінили статус від «сильно ослаблених» до «всихаючих», а мішані залишилися «ослабленими».

У чистих соснових насадженнях щільність маточних ходів і продукція зросли протягом трьох місяців від нижньої межі помірного рівня до високого рівня, а щільність шлюбних камер – від низького до високого рівня. У мішаних насадженнях усі параметри популяції *I. acuminatus* відповідають низькому рівню. Значення показників, які характеризують обстежені осередки *I. acuminatus* у Сумській області, достовірно корелюють із участю сосни у складі насаджень; у вересні зв'язок є тіснішим, ніж у червні.

З погляду біотичної стійкості, одержані дані свідчать про доцільність створення переважно мішаних соснових насаджень.

Ключові слова: короїд; спалах; індекс санітарного стану; відпад дерев; маточні ходи; шлюбні камери; продукція молодих жуків.

Показатели санитарного состояния *Pinus sylvestris* и популяций *Ips acuminatus* в чистых и смешанных насаждениях Сумской области

В.Л. Мешкова[1], И.А.Бобров[2]

Вспышки массового размножения короедов усилились в последнее время во многих регионах. Вершинный короед (*Ips acuminatus* (Gyllenhal, 1827); Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) наиболее распространен в сосновых лесах многих стран

[1] *Мєшкова Валентина Львівна* – академік Лісівничої академії наук України, керівник Східного відділення ЛАН України, доктор сільськогосподарських наук, професор. Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. 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] *Бобров Іван Олексійович* – кандидат сільськогосподарських наук, інженер-таксатор 1-ї категорії комплексної лісовпорядної експедиції Українського державного проектного лісогосподарського виробничого об'єднання ВО «Укрдержліспроект», вул. Троїцька, м. Ірпінь, Київська обл., 08200, Україна. Тел.: +38-097-890-55-26. E-mail: bobrov.ivan.org@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3087-561X

[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] *Бобров Иван Алексеевич* – кандидат сельскохозяйственных наук, инженер-таксатор 1-й категории комплексной лесоустроительной экспедиции Украинского государственного проектного лесохозяйственного производственного объединения ВО «Укргослеспроект», ул. Троицкая, г. Ирпень Киевской обл., 08200, Украина. Тел.: +38-097-890-55-26. E-mail: bobrov.ivan.org@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3087-561X

Европы. Исследования его биологии и распространения провели в разных природных условиях, фазах вспышки и учитывали разные показатели для характеристики популяции вредителя и санитарного состояния насаждений.

Цель исследований заключалась в сравнении санитарного состояния сосны обыкновенной и параметров популяций вершинного короеда двух поколений в чистых и смешанных насаждениях полесской и лесостепной зон Сумской области. Исследования проведены в 2017 г. на 26 пробных площадях, заложенных в полесской (ГП «Середино-Будский агролесхоз»; ГП «Середино-Будское лесное хозяйство») и лесостепной частях (ГП «Великописаревский агролесхоз»; ГП «Ахтырское лесное хозяйства») Сумской области. На пробных площадях оценивали показатели санитарного состояния насаждений и популяций вершинного короеда в июне и сентябре – после завершения развития его весеннего и летнего поколений.

По большинству оцененных параметров не обнаружено достоверных различий между пробными площадями в полесской и лесостепной зонах Сумской области. В чистых сосновых насаждениях средняя площадь очага короеда и его продукция (плотность молодых жуков) были более высокими в лесостепной части Сумской области в июне, а плотность брачных камер – в июне и сентябре.

В чистых сосновых насаждениях средняя площадь очага *I. acuminatus*, количество заселенных деревьев, доля свежего сухостоя, индексы санитарного состояния сосны, плотность маточных ходов и брачных камер короеда, а также его продукция возрастали с июня по сентябрь. В смешанных насаждениях за этот период средняя площадь очага *I. acuminatus* и индексы санитарного состояния сосны изменились недостоверно, а параметры популяции *I. acuminatus* уменьшились. По санитарному состоянию за три месяца чистые сосновые насаждения изменили статус с «сильно ослабленных» на «усыхающие», а смешанные остались «ослабленными».

В чистых сосновых насаждениях плотность маточных ходов и продукция возросли за три месяца от нижней границы умеренного уровня до высокого уровня, а плотность брачных камер – от низкого до высокого уровня. У смешанных насаждениях все параметры популяции *I. acuminatus* соответствуют низкому уровню. Значения показателей, характеризующих обследованные очаги *I. acuminatus* в Сумской области, достоверно коррелируют с долей сосны в составе насаждений, а в сентябре связь более тесна, чем в июне.

С точки зрения биотической устойчивости, полученные данные свидетельствуют о целесообразности создания преимущественно смешанных сосновых насаждений.

Ключевые слова: короед; вспышка; индекс санитарного состояния; отпад деревьев; маточные ходы; брачные камеры; продукция молодых жуков.

6. ЕКОЛОГІЯ ТА ПРИРОДНО-ЗАПОВІДНА СПРАВА

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412013
Article received 2019.11.15
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Volodymyr Korzhov
vl.korzhov@ukr.net
Grushevsky st., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine

*УДК 630*116.2;630*116.3*

Особливості техногенного впливу лісокористування на чистоту води у гірських лісових водотоках

В.Л. Коржов[1], В.С. Кудра[2]

Під час здійснення лісозаготівель у гірських умовах із застосуванням наземного транспортування деревини відбувається трансформація лісового ґрунту як у межах лісосіки, так і на трелювальних волоках. Трелювальні волоки, по яких заготовлена деревини доставляється до навантажувальних майданчиків, прокладаються на схилах різної стрімкості, що спричиняє порушення монолітної структури ґрунту та утворення значних обсягів експлуатаційної ерозії. Внаслідок багаторазового проїзду лісових машин по волоках формуються глибокі колії, по яких відбувається поверхневий стік води до підніжжя схилу, яка потрапляє у водотоки. Тому волоки одночасно є і руслами стоку води, яка концентрується на них у разі виникнення інтенсивних опадів та внаслідок сніготанення. При цьому разом із водою виносяться і частинки лісового ґрунту, що призводить до забруднення води.

Дослідженнями зарубіжних і вітчизняних науковців встановлено, що основним потенційним впливом на чистоту води внаслідок лісогосподарської діяльності є потрапляння у річки частинок землі з доріг і трелювальних волоків. Тому одним із важливих завдань є встановлення ступеня впливу техногенних чинників, які виникають під час лісокористування, на ступінь забруднення води в лісових водотоках. З огляду на це, були здійснені чотирирічні дослідження на двох лісових водозборах з метою вивчення ступеня каламутності води в руслах рік. У результаті дослідження встановлено чітку тенденцію щодо збільшення каламутності води в робочі дні (понеділок-п'ятниця) та її суттєве зменшення під час не робочих днів (субота, неділя). При цьому характерним є зростання забруднення води, починаючи з ранішніх годин з поступовим його зменшенням наприкінці робочого дня.

Ключові слова: *гірські умови; лісозаготівлі; трелювальні волоки; ерозія ґрунтів; лісові водотоки; каламутність.*

[1] *Коржов Володимир Леонідович* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, перший заступник директора. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: 03422-53-02-36, +38-067-380-25-08. E-mail: vl.korzhov@ukr.net ORCID: http: //orcid.org/0000-0002-3201-1199

[2] *Кудра Василь Степанович* – старший науковий співробітник лабораторії лісових природозберігаючих технологій і транспорту. Український науково-дослідний інститут гірського лісівництва ім. П.С. Пастернака, вул. Грушевського, 31, м. Івано-Франківськ, 76018, Україна. Тел.: 03422-53-02-36,+38-096-694-20-22. E-mail: vs.kudra@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2205-0861

Вступ. Здійснення лісозаготівлі в гірських умовах, особливо під час переважаючого застосування наземного трелювання, призводить до часткового переміщення лісового ґрунту як у межах лісосіки, так і по первинних шляхах транспортування деревини до підніжжя схилу, з виносом його безпосередньо до водотоків. У Карпатському регіоні цей процес поглиблюється недостатнім розвитком транспортної інфраструктури, що призводить до переважного застосування суцільних способів рубок. Це, своєю чергою, зумовлює необхідність будівництва густої мережі трелювальних волоків, по яких деревина доставляється до навантажувальних майданчиків не лише гусеничними та колісними тракторами, але й часто гужовим транспортом. Зазвичай, їх влаштовують на схилах різної стрімкості, що спричиняє до порушення монолітної структури ґрунту та формування відчутних обсягів експлуатаційної ерозії. Особливо вразливими в ерозійному відношенні є магістральні трелювальні волоки, які за низької густоти лісових автодоріг експлуатуються тривалий час, набираючи згодом форм лінійних виїмок чи ярів (Bybluk, Styranivsky, Korzhov, & Kudra, 2010; Korzhov, 2011, 2015).

Одним із негативних проявів механічного впливу на ґрунтову поверхню трелювальних волоків є процес колієутворення, який відбувається внаслідок багаторазового проїзду по них лісових машин. Саме по утворених коліях проходять основні обсяги поверхневого стоку води, яка потім потрапляє у водотоки. Науковці НЛТУ України (Bybluk et al., 2016) стверджують, що інтенсивність колієутворення істотно залежить від утримуючої здатності грунту, яка значною мірою зумовлена його геоморфологічною структурою. Суттєвий вплив на формування глибини колії волоку здійснює також величина його поздовжнього ухилу. Експерименти, здійснені в провінції Квебек (Канада) показали, що середня глибина колії на різних ухилах перебувала в діапазоні 5,1-15,8 см. Після 14-ти проїздів найменше значення глибини колії було зафіксоване на волоку з ухилом $0\text{-}10^0$, а найбільше – за його ухилу більше 20^0 (Brais, & Camire, 1998).

Американські вчені (Fulton, & West, 2002) на основі аналізу низки літературних джерел стверджують, що основним потенційним впливом на чистоту води внаслідок лісогосподарської діяльності, є потрапляння у річки частинок землі з доріг і трелювальних волоків. До інших негативних, але незначних, на їхній погляд, наслідків відносяться: короткострокові збільшення піку паводків у лісових потоках під час зливових дощів; короткочасне підвищення концентрацій поживних речовин (насамперед азоту та фосфору); короткочасне збільшення кількості гербіцидів, добрив та похідних речовин; термічне забруднення у вигляді підвищеної температури потоку.

Процес трансформації ґрунту на волоках особливо посилюється в період сніготанення та під час встановлення періоду інтенсивних і затяжних дощів, внаслідок чого відбувається підйом води у руслах лісових потоків та зростає їхнє забруднення. Змив лісового ґрунту з гірських схилів та шляхів, зазвичай, супроводжується утворенням наносів, частина з яких безпосередньо потрапляє у гірські річки і потоки та суттєво змінює в них як фізичний, так і хімічний склад води. Дослідження, виконані в лісах Північного Кавказу показують, що здійснення гірської лісозаготівлі, особливо з використанням технологічних процесів на базі наземних засобів трелювання деревини, суттєво впливає не лише на лісове середовище, але й на гідрологічний режим лісових потоків та якість води в них. При цьому суцільні рубки, порівняно з групово-вибірковими, спричинюють збільшення негативних проявів у цьому напрямі, які до того ж спостерігаються тривалий час. Для прикладу, показники каламутності води перевищують допустимі значення навіть після 14 років по завершенню рубки (Drobikov, 1973; Konokova, 2001, 2012).

Проведені в Росії дослідження (Mayorova, & Ryabukhin, 2012) підтверджують, що основним негативним проявом водної ерозії є твердий стік, який є постійним забруднювачем річкових вод. Наноси ґрунту, що потрапляють у водотоки, погіршують якість води біологічно та екологічно, як фізично, так і хімічно. Вони можуть викликати незворотні зміни у структурі біоценозів, їхній різноманітності і темпах відтворення популяцій водних організмів (Henley, Patterson, Neves, & Lemly, 2000). Дослідники із США (Hedrick, Anderson, Welsh, & Lin, 2013) підготували комплексний огляд методології і пристроїв, а також методів обробки та аналізу зібраних зразків, які можуть бути використані для вимірювання нагромадження відкладень у гірських потоках.

Запобігання проникненню намулу та твердого стоку у лісові потоки і струмки є одним із способів протидіяти вище названим процесам. Це можна здійснити завдяки оптимальному плануванню розташування первинних шляхів транспортування деревини, дотримання лісівничих вимог під час проведення лісозаготівель, відновлення рослинного покриву, використання буферних зон, а також інших ефективних заходів (Wood, 1997). Fulton & West (2002) особливо підкреслюють, що планування дорожньої інфраструктури є визначальною складовою підготовчих робіт під час лісозаготівель. За умови раціонального планування мережі доріг і трелювальних волоків можна значно зменшити обсяги утворення і переміщення твердого стоку. Дорожня інфраструктура має бути сформована з урахуванням необхідності оптимізації густоти лісових автодоріг, мінімізації розмірів і кількості лісових складів, довжини трелювальних волоків, кількості переходів через водотоки, особливо у вразливих водозборах. Також доцільно використовувати сприятливі сезони чи умови, не здійснювати лісозаготівлі в умовах перезволоження ґрунтів або періодів нересту, чим досягається зменшення негативного впливу на чистоту води та водні організми.

Необхідно відмітити наявність особливих підходів до забезпечення якості води у лісових водо-

зборах США, де вже майже десятиліття ефективно функціонує система класифікації їх стану та здійснення заходів комплексного відновлення пріоритетних водозборів (Watershed Condition Framework, 2011; Watershed Condition Classification, 2011). Також широко запроваджуються, розроблені з урахуванням регіональних особливостей та сучасних вимог з природозбереження, кращі практики ведення лісозаготівлі, які спрямовані на забезпечення якості води. Зазвичай, вони включають наступні елементи: раціональне розташування доріг, волоків та навантажувальних пунктів чи лісових складів відносно водних потоків, місць їх перетину; будівництво водопропускних споруд та мостів; влаштування укріплюючих елементів на укосах та проїзній частині; обмеження величини поздовжніх ухилів; здійснення заходів для відведення і розпорошення поверхневих вод з елементів лісової інфраструктури; укріплення і дернування порушених земель тощо. При цьому, наведені вище заходи повинні бути завершені до часу закінчення лісозаготівлі (West Virginia Silvicultural, 2014; New Hampshire Best, 2016; National Best Management, 2012).

З огляду на вищенаведене, *актуальним* є питання вивчення особливостей впливу лісокористування на чистоту води, що дасть змогу в подальшому опрацювати заходи із запобігання потрапляння продуктів ерозії грунту у лісові водотоки.

Об'єкти та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – малі водозбори гірських лісових територій. *Предмет досліджень* – процес забрудненя водотоків під впливом техногенних чинників. *Мета роботи* – встановити ступінь впливу лісогосподарської діяльності на чистоту води.

Польові дослідження зосередили на території лісового фонду ДП «Осмолодське лісове господарство», який, згідно з лісорослинним районуванням, відноситься до поясу Зовнішніх Карпат з глибокими поперечними долинами. Це найбільш піднятий над рівнем моря гірський район, який простягається від Сколівських Карпат на північному заході, до Покутських Карпат на південному сході. Середня висота гірських лісництв, в т.ч. Піскавського, де проводилися дослідження, знаходиться в межах 1100-1300 м над рівнем моря. Територія підприємства в орографічному відношенні розташована переважно в гірській частині Бескид, що порізана системою хребтів. Головну роль у розчленуванні території відіграє річка Лімниця та її притоки. Рельєф району середньовисотний, де середньорічна температура повітря становить $+4,5^0$, сума атмосферних опадів за рік – 838 мм, а відносна вологість повітря – 74,5%.

Основною особливістю кліматичних і гідрологічних чинників території підприємства є яскраво виражена висотна диференціація. Тут кліматичні умови залежать не лише від абсолютної висоти території, але й від форми рельєфу та експозиції схилу. За кількістю опадів та умов випаровування територія належить до зони стійкого зволоження, а найбільш високі ділянки – до зони надмірного зволоження. Для даної місцевості переважаючими типами є бурі гірсько-лісові, інколи – гірсько-підзолисті різного ступеня скелетності та еродованості ґрунти. Характерною рисою є невелика потужність ґрунтового профілю із значним включенням уламків піщаників. Найінтенсивніші ерозійні процеси розвиваються на суцільних зрубах, коли на 60-70% їхньої поверхні відсутня лісова підстилка і гумусовий горизонт. За ступенем вологості більша частина ґрунтів відноситься до вологих, вони займають 85,6% площі. Рівень ґрунтових вод залежить від рельєфу: найглибше вони залягають на схилах гірських хребтів. На гірських схилах мають місце прояви всіх видів водної ерозії. Ступінь активності цих процесів, насамперед, пов'язаний зі стрімкістю та експозицією схилів.

Безпосереднім об'єктом дослідження слугували два суміжні малі лісові водозбори річок Чорна та Болотняк, які зливаються і утворюють річку Молода. Вони складають основну частину площі Піскавського лісництва, контора якого знаходиться на відстані близько 45 км від контори лісгоспу (смт Перегінське). Середні річні обсяги лісозаготівлі на території лісництва складають близько 20 тис. $м^3$. Площа водозбору річки Чорна становить орієнтовно 2890, а річки Болотняк – 2560 га. Ці водозбори розташовані на значній віддаленості від населених пунктів і оточені тільки лісовими територіями. Значна частина їх меж проходить по головному Карпатському хребту. На цих водозборах розташовані тільки лісові землі та відсутні будь-які житлові чи господарські будівлі, що виключає місцевий вплив антропогенного чинника.

Встановлення впливу техногенних чинників, притаманних лісогосподарській діяльності та лісозаготівлі, на чистоту води, здійснювалось шляхом проведення польових і аналітичних досліджень з визначення каламутності води в головних річках малих лісових водозборів. З цією метою застосовували метод кількісного визначення каламутності, який регламентується державним стандартом та часто використовується в практиці (DSTUISO 7027:2003, 2004, Turbidity of the water, 2014). Його суть полягає у встановленні висоти стовпчика забрудненої води, за якого можна візуально прочитати чорний шрифт, нанесений на білому фоні. У процесі досліджень використовували ламінований зразок шрифта висотою 3,5 мм і шириною ліній 0,35 мм, спеціальний скляний циліндр з міліметровими поділками та чорний екран для циліндра. Визначення показника кількісної каламутності води здійснювали у наступній послідовності:

– посудину з набраною в руслі річки пробою води збовтували до отримання однорідної маси і заливали в циліндр;

– обгорнутий для захисту від бокового світла чорним екраном циліндр поміщали на ламінований зразок шрифта;

– каламутність проби води визначали шляхом спостереження зверху через відкритий отвір циліндра при достатньому освітленні зверху;

– поступово понижували рівень води, відкриваючи отвір циліндра до тих пір, поки не стане помітним зразок шрифта;

– за поділками на скляному циліндрі визначали висоту стовпчика залишеної у циліндрі води, за якої видно шрифт.

Забирання води з русла згаданих вище річок здійснювали на глибині 10-15 см від дна на відстані 1-2 м від берега в місцях, розташованих на 15-20 м вище злиття річок, тобто у найнижчій точці водозборів (рис. 1).

Рис. 1. Схема розташування місць забирання води.
О – місця забирання води на річках Чорна та Болотняк

Проби води у триразовій повторності відбирали п'ять разів на день через кожні три години, починаючи з 8-ої і закінчуючи 20-ою годиною. Перед відбором проб поліетиленові посудини 2-3 рази промивали чистою водою. Під час забирання води з русла річки посудину заповнювали вщерть, щоб не залишалось повітря, і закривали корком. За відібраними пробами води одразу ж у приміщенні лісництва здійснювали визначення показника каламутності. Чим менші його значення, тим вища ступінь каламутності води. Польові дослідження проводили один раз в рік, починаючи з 2016 р. і закінчуючи 2019 р., впродовж усіх семи днів одного тижня у безсніжний період. Загальний вигляд місця злиття двох згаданих річок, вище якого забирались проби води, а також візуальне забруднення води у річках показано на рис. 2.

Рис. 2. Загальний вид місць забирання проб води в річках

Результати та обговорення. Отримані в польових умовах впродовж тижневих періодів вказаних вище чотирьох років значення показників каламутності проб води опрацьовані методами статистики. Їхні середні значення для двох малих лісових водозборів у розрізі днів тижня (понеділок–неділя) та в розрізі годин доби (8-20 година) наведені в табл.

Таблиця

Усереднені показники каламутності води на модельних водозборах

Дні забирання проб води	Висота стовпчика води, при якій видно шрифт (в см) в момент забирання проб					Середнє значення за день, см
	8.00-8.20	11.00-11.20	14.00-14.20	17.00-17.20	20.00-20.20	
1	2	3	4	5	6	7
Річка Чорна						
понеділок	29,6	28,4	22,4	21,6	20,2	24,5
вівторок	29,4	22,5	21,7	18,2	22,5	22,9
середа	27,6	21,4	17,2	13,0	15,0	18,9
четвер	21,8	18,7	14,4	15,0	21,0	18,2
п'ятниця	27,1	17,5	18,1	22,7	28,8	22,8
субота	28,7	27,7	29,6	28,3	29,2	28,7
неділя	28,6	29,6	29,6	30,0	30,0	29,4
середнє значення по годинах	27,1	21,7	18,8	18,1	21,5	

Продовж. табл.

1	2	3	4	5	6	7
			Річка Болотняк			
понеділок	29,8	17,8	8,9	10,5	13,5	16,1
вівторок	30,0	16,2	14,2	13,7	18,8	18,6
середа	26,5	14,6	8,0	8,2	13,8	14,2
четвер	18,7	11,0	5,9	9,0	15,4	12,0
п’ятниця	24,8	14,0	13,7	20,1	25,8	19,7
субота	25,7	27,7	28,3	24,5	28,8	27,0
неділя	28,8	28,3	30,0	30,0	30,0	29,3
середнє значення по годинах	26,0	14,7	10,1	12,3	17,5	

Примітка. Показник середнього значення по годинах встановлено для робочих днів (понеділок–п’ятниця).

На основі отриманих результатів побудовані графіки, які показують особливості змін каламутності води в руслах річок впродовж тижня та робочого дня (рис. 3, 4).

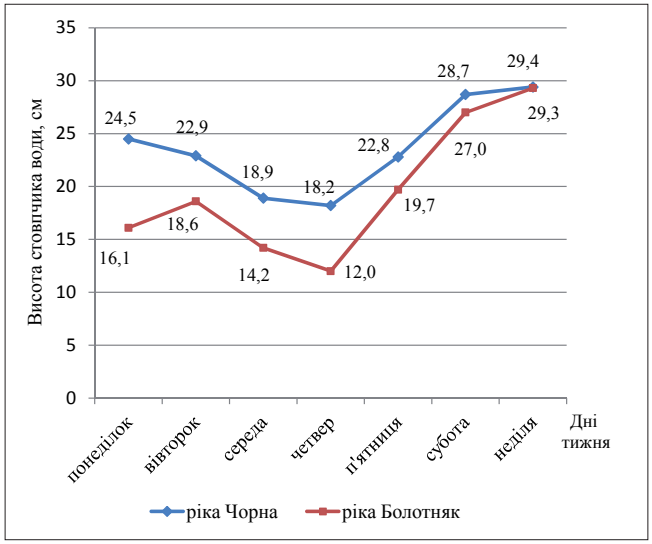


Рис. 3. Динаміка показників каламутності води у розрізі днів тижня

Отримані дані забруднення води у водотоках дають підставу стверджувати про наявність чіткої тенденції збільшення каламутності за період з понеділка по п’ятницю та її суттєве зменшення під час неробочих днів (субота, неділя). Для обох рік характерним є зростання каламутності води, починаючи із вранішніх годин до середини другої половини дня, та поступове її зменшення наприкінці робочого дня. При цьому до 20-ої години не спостерігається відновлення її чистоти до ранішнього рівня, що пояснюється терміном поступлення води до нижнього пункту водозбору. Певне збільшення каламутності води в річці Болотняк зумовлено, передусім, інтенсивністю ведення лісосічних робіт, що здійснювались на цьому водозборі, а також меншою довжиною водозбору.

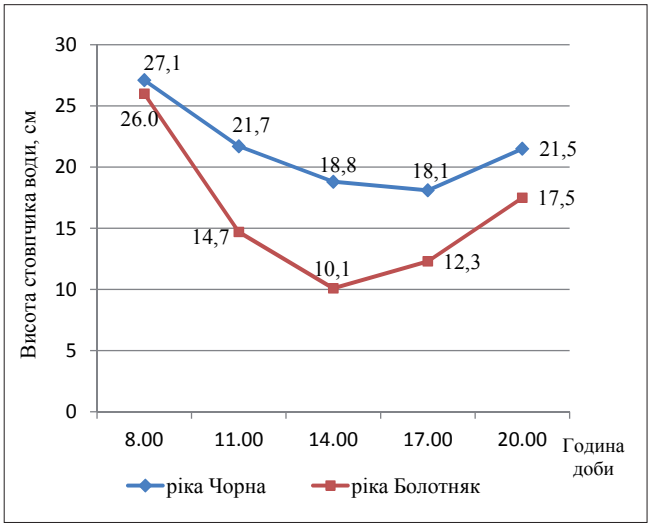


Рис. 4. Динаміка показників каламутності води впродовж робочого дня

Висновки. Основним потенційним впливовим чинником на чистоту води, що виникає внаслідок лісогосподарської діяльності та лісозаготівлі, є виноси водяними потоками ґрунтових частинок з доріг і трелювальних волоків, під час влаштування чи експлуатації яких відбувається трансформація лісового ґрунту з наступним проявом ерозійних процесів. Внаслідок багаторазового проїзду лісових машин по волоках формуються глибокі колії, в яких концентрується поверхневий стік води до підніжжя схилу, після чого вона потрапляє у водотоки. Тому волоки одночасно є й антропогенно сформованими руслами стоку води, який утворюється під час інтенсивних опадів та внаслідок сніготанення.

На лісових водозборах, де здійснюють лісогосподарську діяльність, в т.ч. й інтенсивну лісозаготівлю, спостерігається чітка тенденція зростання каламутності води в лісових потоках впродовж робочих днів – з понеділка по п’ятницю, тоді як під час неробочих днів (субота, неділя) забруднення води суттєво зменшується. Характерним є зростан-

ня каламутності води, починаючи з вранішніх годин до середини другої половини дня, та поступове її зменшення наприкінці робочого дня.

Актуальним аспектом є розширення досліджень щодо встановлення різних видів і ступеня забруднення води внаслідок лісокористування, а також дії чинників, які його зумовлюють. Використання отриманих результатів дасть змогу створити умови для розробки та запровадження дієвої системи оцінки чистоти води у лісових водозборах і підготовки відповідних заходів, спрямованих на забезпечення якості води в експлуатованих лісових ділянках. Пріоритетними повинні бути технічні рішення, які забезпечують зниження ерозії ґрунтів, попереджують поступлення поверхневих вод з елементів лісової інфраструктури у водотоки. Цю умову можна здійснювати шляхом належного дотримання вимог з природозбереження під час лісозаготівлі, раціонального розташування доріг, волоків та навантажувальних пунктів чи лісових складів відносно водних потоків, будівництва водопропускних споруд у місцях їх перетину, влаштування укріплюючих елементів на укосах та проїзній частині шляхів лісотранспорту, обмеження величини поздовжніх ухилів, здійснення заходів для відведення і розпорошення поверхневих вод з елементів лісової інфраструктури, укріплення і дернування порушених земель, влаштування буферних зон вздовж водотоків тощо.

References

Bybluk, N., Styranivsky, O., Korzhov, V. & Kudra, V. (2010). Timber harvesting in the Carpathians: ecologica lproblems and methods to solve them. *Journal of forest science,56* (7)*,* 333-340. https://doi.org/10.17221/111/2009-JFS

Byblyuk, N.I., Styranivsky, O.A., Herys, M. I, Boyko, M.M., Oliynyk, M.I. & Shchupak, A.L. (2016). The Research of the Influence of Tracked and Wheeled Skidders on the Forest Environment in the Conditions of Skole Beskids. Some research results of the influence of different types of skidders. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 26* (1)*,* 196-203. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2016/26_1/32.pdf (in Ukrainian).

Brais, S, & Camire, C. (1998). Soil compaction induced by careful logging in the clay belt region of north western Quebec (Canada). *Can. J. Sol. Science, 78,* 197-206. https://doi.org/10.4141/S97-032

Drobikov, A.A. (1973). Change in the physic-chemical composition of water under the influence of logging. *Silviculture*, *3*, 3-9 (in Russian).

DSTU ISO 7027:2003 (2004). Water quality. Determination of turbidity. Kyiv: Derzhspozhyvstandart of Ukraine (in Ukrainian).

Fulton, S. & West, B. (2002). Forestry Impacts on Water Quality. In Wear, D.N. & Greis, J.G. *Southern forest resource assessment.* (pp. 501-518). Gen. Tech. Rep. SRS-53. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. 635 p. Retrieved from https://www.srs.fs.usda.gov/sustain/report/pdf/chapter_21e.pdf

Hedrick, L.B., Anderson, J.T., Welsh, S.A. & Lin, L.S. (2013). Sedimentation in Mountain Streams: A Review of Methods of Measurement. *Natural Resources, 4,* 92-104. https://dx.doi.org/10.4236/nr.2013.41011

Henley, W.F., Patterson, M.A., Neves, R.J., & Lemly, A.D. (2000). Effects of sedimentation and turbidity on lotic food webs: a concise review for natural resource managers. *Reviews in Fisheries Science, 8* (2). 125-139. Retrieved from https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/1617

Konokova, B.A. (2001). *The influence of logging on the change in the quality of the brook runoff in beech-fir stands* (Doctoraldissertation). Retrieved from https://www.dissercat.com/content/vliyanie-rubok-na-izmenenie-kachestva-ruchevogo-stoka-v-bukovo-pikhtovykh-nasazhdeniyakh. (in Russian).

Konokova, B.A. (2012). The problem of preservation of fresh water quality in the mountains. *New technologies, 2*, 26-31 Retrieved from https://cyberleninka.ru/article/n/problema-sohraneniya-kachestva-presnyh-vod-v-gornyh-usloviyah (in Russian).

Korzhov, V.L. (2011). Improvement of forest resource management as factor of climate change mitigation. *Scientific works of the Forestry Academy of Science of Ukraine: collection of scientific works, 9,*189-193. Retrieved from http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/393/309 (in Ukrainian).

Korzhov, V.L. (2015). Some Peculiarities of Hydrological Role of Mountain Forest Areas during Floods Formation. *Scientific bulletin of the Ukrainian National Forestry University, 25.3,* 9-16 Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/1115 (in Ukrainian).

Maiorova, L.P., & Ryabukhin P.B. (2012). Logging influence on environment. *Scientific bulletin of the Krasnodar State Agrarian University, 8,* 73-77. Retrieved from https://readera.org/vozdejstvie-lesozagotovok-na-okruzhajushhuju-sredu-14082598 (in Russian).

National Best Management Practices for Water Quality Management on National Forest System Lands. (2012).USDA Forest Service publication FS-990a. Retrieved from https://www.fs.fed.us/naturalresources/watershed/pubs/FS_National_Core_BMPs_April2012.pdf

New Hampshire Best Management Practices for Erosion Control on Timber Harvesting Operations. (2016). New Hampshire, USA: New Hampshire Division of Forests and Lands. Retrieved from https://extension.unh.edu/resources/files/Resource000247_Rep266.pdf

Turbidity of the water. Instruments for determining turbidity (2007). Retrieved from http://www.eurolab.ru/mutnost_i_prozrachnost.(in Russian).

Watershed Condition Framework. A Framework for Assessing and Tracking Changes to Watershed Condition (2011). USDA Forest Service publication FS-977. Retrieved from https://www.fs.usda.gov/sites/default/files/Watershed_Condition_Framework.pdf

Watershed Condition Classification Technical Guide. (2011). USDA Forest Service publication FS-978. Retrieved from https://www.fs.fed.us/biology/resources/pubs/watershed/maps/watershed_classification_guide2011FS978.pdf

West Virginia Silvicultural Best Management Practices for Controlling Soil Erosion and Sedimentation from Logging Operations. (2014). Charleston, USA: West Virginia Division of Forestry. Retrieved from https://www.wvforestry.com/pdf/DOFbmpManual2014.pdf

Wood, P. J. (1997). Biological effects of fine sediment in the lotic environment. *Environmental Management, 21* (2), 203-217. Retrieved from https://link.springer.com/article/10.1007/s002679900019

Особенности техногенного влияния лесопользования на чистоту воды горных лесных водотоков

В.Л. Коржов[1], В.С. Кудра[2]

Лесозаготовки в горных условиях оказывают значительное влияние на лесную среду. Особенно это проявляется при наземной трелевке древесины вследствие трансформации лесной почвы как непосредственно в пределах лесосеки, так и на трелевочных волоках. В процессе прокладки трелевочных волоков нарушается монолитность грунта и с возрастанием крутизны склона значительно увеличиваются объемы эксплуатационной эрозии. При многократных проездах трелевочных тракторов по волокам образуются глубокие колеи, по которым во время интенсивных осадков или в процессе снеготаяния проходит усиленный поверхностный сток воды к подножью склона. Вместе с ним одновременно выносятся частицы лесного грунта, которые, попадая в близлежащие лесные водотоки, приводят к их загрязнению. Многие как зарубежные, так и отечественные исследователи пришли к выводу, что основным фактором, который влияет на качество воды, являются твердые частицы грунта, которые в процессе лесохозяйственной деятельности попадают в водотоки с лесных дорог и трелевочных волоков.

С учетом сказанного, актуальным является вопрос изучения особенностей влияния лесопользования на чистоту воды. В связи с этим, на двух лесных водосборах в ГП «Осмолодское лесное хозяйство» проведены четырехлетние исследования, целью которых было установление влияния лесопользования на загрязнение воды. Это позволит в дальнейшем разработать разноплановые мероприятия по предупреждению или уменьшению попадания продуктов грунтовой эрозии в лесные водотоки.

Установление влияния техногенных факторов, присущих лесохозяйственной деятельности, в том числе лесозаготовкам, на чистоту воды осуществляли путем проведения полевых и аналитических исследований по определению мутности воды в реках малых лесных водосборов. При этом использовали метод количественного определения мутности, суть которого заключается в установлении высоты столбика загрязненной воды. Применение этого метода регламентируется государственным стандартом и часто используется на практике. На основании полученных результатов построены графики, показывающие изменение мутности воды в руслах рек на протяжении недели и отдельно – рабочего дня. Следует отметить наличие тенденции увеличения мутности воды в рабочий период (с понедельника по пятницу) и существенное ее уменьшение в нерабочие дни (суббота, воскресенье). Также, для обеих рек характерно увеличение мутности воды, начиная с утренних часов к средине второй половины дня, и постепенное ее уменьшение к концу рабочего дня. При этом, к 20 часам восстановление прозрачности воды до ее утреннего уровня не наблюдается, что объясняется временем ее поступления к месту забора проб воды.

Актуальным является расширение исследований, направленных на установление различных видов и степени загрязнения воды в результате лесопользования и факторов, что их вызывают. Это позволит создать условия для разработки и внедрения системы оценки качества воды в лесных водосборах и выработки соответствующих решений, направленных на ее улучшение. Главными из них должны быть технические мероприятия, которые должны обеспечивать снижение эрозии грунтов и предупреждать или существенно уменьшить вынос твердых частиц грунта поверхностными водами с элементов лесной инфраструктуры в водотоки.

Ключевые слова: горные условия; лесозаготовки; трелевочные волоки; эрозия почв; лесные водотоки; мутность воды.

[1] *Коржов Владимир Леонидович* – член-корреспондент Лесной академии наук Украины, кандидат технических наук, старший научный сотрудник, первый заместитель директора. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П.С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: 03422-53-02-36, +38-067-380-25-08. E-mail: vl.korzhov@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3201-1199

[2] *Кудра Василий Степанович* – старший научный сотрудник лаборатории лесных природосберегающих технологий и транспорта. Украинский научно-исследовательский институт горного лесоводства им. П.С. Пастернака, ул. Грушевского, 31, г. Ивано-Франковск, 76018, Украина. Тел.: 03422-53-02-36,+38-096-694-20-22. E-mail: vs.kudra@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2205-0861

Features of anthropogenic impact of forest management on water purity in mountain forest watercourses

V. Korzhov[1], V. Kudra[2]

Harvesting in the mountains has a significant impact on the forest environment. This is especially evident during ground skidding due to forest soil transformation both directly within the harvesting area and at skid trails. In the process of construction, the skid trails, the solidity of the soil is brokenand with an increase in the steepness of the slope, the volumes of operational erosion are considerably increased.

In the case of multiple passages of skidding tractors on the trails, deep tracks are formed, through which during intense precipitation or during snowmelt occurs surface run-off leading to the foot of the slope. It is accompanied by the simultaneous removal of forest soil particles which, when they enter nearby forest streams, lead to their pollution. Many researchers have come to the conclusion, that the main factor that affects the water quality is the sediment, which in the process of forestry activities enters to watercourses from forest roads and skid trails.

In view of the foregoing, the issue of studying the features of the forest management impact on water quality is relevant. Therefore, four-year studies were conducted at two forest catchments in the state enterprise «Osmoloda Forestry». It purpose was to define the effect of forest management on water pollution. This will allow further development of measures to prevent the entry of soil erosion products into forest streams. The influence of technogenic factors inherent in forestry activities, including logging, on water quality was determined by conducting field and analytical studies to determine the turbidity of water in rivers of small forest catchment.

The method of quantitative determination of turbidity, essence of that consists in establishment of height of column of muddy water, was thus used. Its application is regulated by the State standard and is often used in practice. On the basis of the results, graphs showing the changes in turbidity in the riverbeds during the week and separately during the working day have been constructed. There is a clear trend of water turbidity increasing of during the working period (Monday to Friday) and a significant decrease on weekend (Saturday, Sunday). Both rivers are also characterized by increased turbidity from morning hours to mid-afternoon and its gradual reduction towards the end of the working day. At the same time, the restoration of water transparency by 20 hours to its morning level is not observed. This is due to the time it takes to reach the water sampling site.

More studies are needed to fulfil to identify the different types and levels of water pollution caused by forest management and the factors that cause them. It will allow to create the conditions for establishing a system for assessing the water quality in forest catchments and developing appropriate decisions for its improvement. The main ones should be technical measures that reduce soil erosion and prevent the entry of surface water from forest infrastructure elements in to watercourses.

Key words: mountain conditions; logging; skid trails; soil erosion; forest streams; turbidity.

[1] *Volodymyr Korzhov* – corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, PhD in Technical Sciences, Senior researcher, first deputy director for Science of the Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry named after P. Pasternak, Grushevsky st., 31, Ivano-Frankivsk, 76018, Ukraine. Tel.: 03422-53-02-36, +38-067-380-25-08. E-mail: vl.korzhov@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3201-1199

[2] *Vasyl Kudra* – senior researcher of the laboratory of forest environmental technology and transport, Ukrainian Research Institute of Mountain Forestry named after P. Pasternak, Grushevsky st., 31, Ivano-Frankivsk, 76018 Ukraine. Tel.: 03422-53-02-36, +38-096-694-20-22. E-mail: vs.kudra@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-2205-0861

7. ЕКОНОМІКА ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ ТА МЕНЕДЖМЕНТ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412014
Article received 2019.11.28
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Lyudmyla Maksymiv
lyudmyla.maksymivl@nltu.edu.ua
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 338.485:504:130.2

Соціо-еколого-економічні аспекти розвитку екологічного туризму в Українських Карпатах

Л. І. Максимів[1], Т. А. Гарматій[2], М. Т. Бець[3]

Проаналізовано роль туризму в соціально-економічному поступі країни. Визначено особливості екологічного туризму та його роль в економіці регіону. Охарактеризовано стан і проблеми розвитку екологічного туризму в Україні. Наведено особливості організації туристичної діяльності НПП «Сколівські Бескиди», зокрема напрями розвитку екологічного туризму. За допомогою розробленої авторами анкети здійснено опитування громадян стосовно їхньої готовності добровільно фінансово підтримувати розвиток екологічного туризму на території НПП «Сколівські Бескиди». Всього було опитано 80 осіб. З'ясовано, що значна частина опитаних респондентів готова жертвувати певну частку своїх доходів на розвиток природоохоронних територій. Половина респондентів висловили готовність брати добровільну участь у покращенні екомаршрутів (49%), а 27% – за винагороду. Чверть опитаних (24%) не готові брати участь у покращенні екологічних маршрутів на території парку. Поглиблений аналіз відповідей респондентів, не готових виділяти кошти на покращення екологічних маршрутів на території парку, показав, що третина респондентів цієї категорії не готові брати участь у покращенні екологічних маршрутів на території НПП (36%), третина (30%) готові на волонтерських засадах і третина (34%) – готові на умовах оплати.

За даними SWOT-аналізу виявлено рушії і перешкоди на шляху розвитку екологічного туризму. На його основі розроблено пропозиції щодо перспектив розвитку екологічного туризму в Українських Карпатах з погляду забезпечення належного рівня добробуту місцевих громад шляхом доступу до гідних робочих місць і гідної оплати праці та без порушення природних екосистем.

Ключові слова: *національний природний парк, готовність платити, SWOT-аналіз, фінансування природно-заповідних територій, туристична галузь, сталий туризм, добробут.*

[1] *Максимів Людмила Іванівна* – член-кореспондент Лісівничої академії наук України, кандидат економічних наук, доцент кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-39-27-78. E-mail: lyudmyla.maksymiv@nltu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5003-0249

[2] *Гарматій Тетяна Андріївна* – магістр економіки довкілля та природних ресурсів. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: + 38-066-857-99-17. E-mail: tetyanaharmatiy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5373-5682

[3] *Бець Мар'яна Тиберіївна* – кандидат економічних наук, доцент кафедри підприємництва та екологічної експертизи товарів. Національний університет «Львівська політехніка», вул. С. Бандери, 12, м. Львів, 79013, Україна. Тел.: + 38-067-140-40-96. E-mail: becmtpeet@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4413-3705

Вступ. Туризм є невід'ємним складником сучасного життя, а туристична галузь – важливим сектором економіки, що забезпечує поповнення державного бюджету і забезпечує ринок праці робочими місцями. Туристичний бізнес в усьому світі є прибутковою та динамічною галуззю зі значним потенціалом росту, а туризм визнано вагомим чинником економічного розвитку. З погляду економіки, туризм – особливий вид споживання матеріальних і духовних благ, послуг і товарів, виділений в самостійну галузь господарства (Malska, 2009).

Стратегією розвитку туризму та курортів на період до 2026 р., схваленою розпорядженням КМУ від 16.03.2017 р. № 168-р (Strategy for the development of tourism..., 2017), на державному і регіональному рівнях визначено пріоритетні секторальні види туризму, а саме: міський; екологічний (зелений); етнічний; сільський; культурно-пізнавальний; подієвий; медичний, лікувально-оздоровчий; гастрономічний; релігійний; гірський, спортивний, велосипедний; пригодницький та активний; науковий та освітній; круїзний та яхтовий; шопінг і розважальний туризм; інші пріоритетні види туризму.

Незважаючи на унікальні можливості розвитку туризму, в Україні досі широкому загалу відомі лише його традиційні види, а вигоди від використання інших видів, таких як екологічний туризм, часто залишаються недооціненими і, відповідно, недоотриманими. Принагідно зазначимо, що Всесвітня організація туризму (ВТО) ООН ще на початку XXI ст. (2002) оголошувала Міжнародний рік екотуризму, підкресливши його глобальну важливість, і який на сьогодні є реальним механізмом забезпечення сталого майбутнього.

Всебічне втілення концепції сталого розвитку, задекларованого Стратегією сталого розвитку «Україна 2020» відповідно до Указу Президента України від 12 січня 2015 р. № 5/2015 (The Strategy for Sustainable Development «Ukraine 2020», 2015), робить екологічний туризм дедалі значущішим видом туристичної діяльності. У Національній доповіді «17 цілей сталого розвитку: Україна» (Sustainable Development Goals: Ukraine, 2015) розвиток туризму і рекреації розглядають як невід'ємний складник розроблення і реалізації стратегій місцевого розвитку в числі першочергових завдань (завдання 11.6) задля досягнення Цілі 11 «Сталий розвиток міст і громад». Моніторинг виконання цього завдання уможливлює індикатор 11.6.1 «Кількість робочих місць у сфері туризму (середньооблікова кількість штатних працівників колективних засобів розміщування та суб'єктів туристичної діяльності України), тис. одиниць».

Розвиток сталого туризму є однією із пріоритетних програм Десятирічної стратегії дій з переходу до використання моделей сталого споживання і виробництва (ССВ) (10YFP, 2002), прийнятої на Конференції зі сталого розвитку (Ріо+20) у червні 2012 р. – глобальної платформи для формування потенціалу і партнерства у сфері ССВ задля досягнення Цілі 12 «Відповідальне виробництво та споживання». Глобальне завдання 12.b передбачає розроблення й упровадження інструментів моніторингу впливу на сталий розвиток сталого туризму, який сприяє створенню робочих місць, розвитку місцевої культури та виробництву місцевої продукції. Це глобальне завдання поки що не знайшло відображення у згаданій доповіді для реалізації на національному рівні.

Туризм відіграє вагому роль у збереженні морських ресурсів (Ціль 14), партнерства заради сталого розвитку (Ціль 17). Для досягнення Цілі 8 «Гідна праця та економічне зростання» національним завданням 8.9 передбачено до 2030 р. забезпечити розроблення та здійснення стратегій заохочення сталого туризму, який сприяє створенню робочих місць, розвитку місцевої культури, виробництву місцевої продукції і розглядається як один із можливих напрямів реалізації потенціалу активної частини населення. На думку міжнародних експертів, сталий туризм (Ціль 8.9) передбачає вирішення проблеми повільного економічного розвитку віддалених гірських районів (The Future is now, 2019).

Екологічний туризм здебільшого розвивається на природно-заповідних територіях. На сьогоднішній день заповідні території задіяні не повною мірою для розвитку перспективних видів туризму. Виняток становить Карпатський біосферний заповідник, де прокладено 18 екотуристичних маршрутів загальною протяжністю близько 200 км (Chudoba & Kizyma, 2018). Екотуризм може бути альтернативним видом діяльності суб'єктів природно-заповідного фонду. Це дасть змогу заробляти кошти як для підтримання заповідних об'єктів, так і збільшити доходи місцевого населення завдяки розвитку сфери послуг.

Відповідно до ст. 9 ЗУ «Про природно-заповідний фонд України» (Law of Ukraine «On the nature reserve fund», red. 2019), одним із видів використання територій та об'єктів природно-заповідного фонду є задіяння їх в оздоровчих та інших рекреаційних цілях. *Актуальність проблеми* полягає в тому, що за умови забезпечення належного стану інфраструктури, сфери послуг і реклами особливо охоронювані території України можуть стати основними осередками рекреаційно-туристичної діяльності на природно-заповідних територіях, зокрема, екологічного туризму (Vorobyova, 2012; Maksymiv, Soloviy, Fedorchuk, 2017).

Об'єкти та методика дослідження. *Об'єкт дослідження* – процес розвитку екологічного туризму в контексті сталого туризму з урахуванням вимог та інтересів зацікавлених сторін. *Предмет дослідження* – соціо-еколого-економічні аспекти розвитку екологічного туризму на території національних природних парків за критерієм мінімізації негативного впливу на довкілля і покращення добробуту місцевих громад.

Мета досліджень полягає в розробленні напрямів розвитку екологічного туризму, як невід'ємного складника сталого туризму, на основі ідентифікації

ендогенних і екзогенних чинників з урахуванням інтересів зацікавлених сторін.

У роботі використано спеціальний метод дослідження готовності платити для визначення готовності відвідувачів підтримувати національні природні парки на добровільній основі (Dixon et al., 1994).

Результати досліджень. За оцінкою ВТО, внесок туризму до світового валового внутрішнього продукту з урахуванням непрямого ефекту становить 10%. Загальна кількість робочих місць, що прямо чи опосередковано стосуються сфери туризму, становить 11%. У 2015 р. частка міжнародних туристичних прибутків збільшилася на 4,4% і становила 1184 млн туристів (Strategy for the development of tourism..., 2017).

На успішний розвиток туризму впливає низка різноманітних чинників. Поруч із добре відомими традиційними чинниками з'являються нові виклики, які вимагають адекватного реагування. Запорукою довготривалого розвитку туризму є сприятлива санітарно-епідеміологічна ситуація у світі. Як засвідчили події, пов'язані з глобальним спалахом пандемії covid 19 на початку 2020 р., туризм є вкрай чутливим до форс-мажорних обставин такого типу. Ситуацію ускладнив той факт, що цей виклик з'явився раптово і в неочікувано великих масштабах. За оцінкою ВТО, саме туризм найбільше постраждав серед усіх основних секторів економіки (Covid-19..., 2020). Втрати міжнародного туризму через пандемію склали від 850 млн до 1,1 трлн міжнародних туристів, збитки у грошовому вимірі – від 910 млрд дол. США до 1,2 трлн дол. США в експортних надходженнях від туризму, а під загрозою закриття опинилися від 100 до 120 млн робочих місць (UNWTO Tourism data dashboard, 2020).

Г. Міллер у 1978 р. вперше визначив екотуризм як «життєздатний туризм, що є чутливим до довкілля і пов'язаний з вивченням природного і культурного довкілля з метою покращення його стану» (Novytska, 2013). Недоліком такого визначення вважають те, що воно не враховує ні ролі місцевого населення, ані синергічного ефекту від поєднання різних видів рекреації.

Міжнародна спілка охорони природи у 1996 р. прийняла таке визначення мексиканського економіста-еколога H. Ceballos-Lascurain (1987): «Екологічний туризм – це екологічно відповідальні подорожі та відвідування відносно непорушених природних територій з метою вивчення, отримання позитивних емоцій, дослідження природи та супутніх культурних пам'яток, які сприяють збереженню довкілля, мінімально шкодять природі та створюють соціально-економічні вигоди для місцевого населення».

У сучасному розумінні екотуризм означає «відповідальну подорож у природні райони, яка базується на збереженні природного довкілля, підтримці добробуту місцевого населення і потребує інформування та навчання» (TIES, 2015). Навчанням мають бути охоплені як персонал, так і відвідувачі парку.

Основні принципи екотуризму за Вестерном (Schola et al., 2007):

1. Подорожі на природу, головний зміст яких – знайомство з живою природою, а також із місцевими звичаями та культурою.

2. Мінімізація негативних наслідків екологічного і соціально-культурного характеру, підтримка соціальної сталості та охорони довкілля.

3. Сприяння охороні природи і місцевого соціокультурного довкілля.

4. Екологічна просвіта.

5. Участь місцевих жителів і отримання ними доходів від туристичної діяльності, що створює для них економічні стимули до охорони природи.

6. Економічна ефективність і внесок у сталий розвиток територій.

Екотуризм – це поєднання охорони довкілля, місцевих громад і сталих подорожей. На практиці це означає, що ті, хто займається запровадженням, участю і маркетингом цього виду діяльності на міжнародному рівні, мають дотримуватись принципів екотуризму. Серед них (Principles of Ecotourism, 2019):

– мінімізація фізичних, соціальних (поведінкових) навантажень;

– підвищення рівня екологічної культури та поваги до природи;

– забезпечення позитивного досвіду для відвідувачів і господарів;

– надання прямих фінансових вигід для збереження природного довкілля;

– створення фінансових вигід, насамперед, для місцевого населення;

– надання відвідувачам незабутнього досвіду, який допоможе підвищити рівень чутливості до екологічного та соціального клімату приймаючої сторони;

– проектування, облаштування й експлуатація об'єктів з низьким рівнем негативних впливів на довкілля і людину;

– визнання прав і духовних переконань місцевого населення в партнерстві з ними для створення нових можливостей.

Ми розглядаємо екологічний туризм як складник сталого туризму, який, за визначенням ВТО, встановлює баланс між екологічними, економічними та соціально-культурними аспектами розвитку туризму (Defining Sustainable Tourism, 2019). Він сповна враховує нинішні та майбутні економічні, екологічні і соціальні наслідки, задовольняючи потреби відвідувачів, промисловості, природного довкілля і місцевих громад.

Сталий туризм відіграє важливу роль у збереженні біорозмаїття, прагне звести до мінімуму негативний вплив на довкілля і місцеву культуру, щоби вони були доступними для майбутніх поколінь, водночас сприяючи отриманню доходів, зайнятості та збереженню місцевих екосистем. Сталий туризм, таким чином, максимізує позитивний

внесок туризму у збереження біорозмаїття і, отже, скорочення бідності й досягнення цілей сталого розвитку загалом.

Рекомендації ВТО щодо сталого розвитку туризму і методів управління застосовні до всіх видів туризму у всіх напрямах, зокрема масового туризму та різноманітних нішевих туристичних сегментів. Принципи сталості стосуються екологічних, економічних і соціокультурних аспектів розвитку туризму з тим, щоби забезпечити його сталість у довготерміновій перспективі.

Сталий екологічний туризм, як і сталий туризм загалом, повинен: оптимально використовувати природні ресурси як головний елемент розвитку туризму, підтримуючи важливі екологічні процеси і допомагаючи зберегти природну спадщину, біорозмаїття та цілісність природних екосистем; поважати соціально-культурну самобутність місцевих громад, зберігати їхній устрій і живу культурну спадщину, традиційні цінності, а також сприяти міжкультурному взаєморозумінню та терпимості; забезпечити життєздатну в довготерміновій перспективі економічну діяльність, зокрема, соціально-економічні вигоди для всіх зацікавлених сторін. Ці вигоди мають бути справедливо розподілені, зокрема, йдеться про стабільні можливості працевлаштування та отримання доходу місцевими мешканцями, отримання і надання соціальних послуг для приймаючих громад, сприяння зниженню рівня бідності.

Сталий розвиток туризму потребує інформаційної участі всіх відповідних зацікавлених сторін, а ще – сильного політичного керівництва для забезпечення широкої участі і досягнення консенсусу. Рух у напрямі сталого туризму – це неперервний процес, який вимагає постійного моніторингу впливів і вживання за потреби відповідних профілактичних і/чи коригувальних заходів. Сталий туризм має підтримувати високий рівень задоволеності туристів і забезпечувати набуття досвіду, підвищуючи рівень ознайомленості з проблеми сталості та просуваючи серед них методи сталого туризму (Halimovska, 2016).

Виділяють чотири види екологічного туризму (Babkin, 2008):

1. Науковий туризм. Зазвичай, туристськими об'єктами в таких турах виступають особливо охоронювані природні території, заповідники, заказники, національні парки. Під час наукових екологічних турів туристи беруть участь у різних дослідницьких експедиціях, ведуть польові спостереження.

2. Тури з історії природи. Це сукупність навчальних, науково культурних і туристських екскурсій спеціально облаштованими екологічними маршрутами. Здебільшого такі тури організують на територіях заповідників, національних парків, туристських територіях і акваторіях.

3. Пригодницький туризм. Він може охоплювати такі тури: відпочинок у віддалених регіонах (*Discovery amp; adventure holidays*); короткострокові тури на велосипедах (*Short destinations*); пішохідні маршрути по пересічній місцевості *(Walking amp; trekking*); подорожі, пов'язані зі значними фізичними навантаженнями (*Multi activity holidays*); подорожі автомобілями, спеціально переобладнаними для проживання (*Overland tours*).

Останній з них об'єднує всі подорожі, пов'язані з активними способами пересування і відпочинку на природі. До загального виду екологічного туризму відносять альпінізм і скелелазіння, лазіння по льоду та спелеотуризм, гірський і пішохідний туризм, водний, лижний, гірськолижний туризм, кінний туризм, дайвінг, парапланеризм.

4. Подорож до природних заповідників і резерватів. Надзвичайна привабливість унікальних та екзотичних природних об'єктів і явищ на території заповідників заохочує туристів відвідати їх.

Екологічний туризм потрібно розглядати як соціо-еколого-економічне явище, кожен складник якого зумовлює два інших і навпаки.

*Роль туризму в соціально-економічному розвитку країни***.** Україна має різноманітний і потужний туристичний потенціал як за географічними, так і культурними ознаками. До привабливих туристичних місць в Україні належать, зокрема, Прикарпаття і Закарпаття, на території яких знаходяться Українські Карпати. Внесок туризму, як одного із головних кластерів економіки України, в загальне зростання сумарних доходів і поповнення бюджету України експерти оцінюють як такий, що в довготерміновому періоді лише збільшуватиметься.

Серед бар'єрів, які стримують розвиток туризму в Україні, – відсутність розвиненої інфраструктури, якісного сервісу, належної освіти й культури у цій сфері, а також брак інформації. Належна туристична інфраструктура сприяє не лише розвитку туристичного сектору, але й пожвавленню ділової активності в регіоні. Туристична інфраструктура охоплює велику кількість і видів об'єктів. Це, зокрема, заклади розміщення та харчування, об'єкти транспортної системи, засоби комунікації (Dolgopola & Korobeynykova, 2013). Запровадження відповідних заходів з метою поліпшення туристичної інфраструктури, а також завдяки належному інформуванню про привабливість того чи іншого регіону для цілей екологічного туризму можуть, на наш погляд, суттєво вплинути на збільшення чисельності екотуристів.

Цілеспрямований розвиток туристичного кластера економіки потенційно може приносити країні до 5% від ВВП. Результати експертних досліджень для туристичного кластера віддзеркалили сильні чинники розвитку: різноманіття культур та історичних пам'яток, географічне положення (прикордонна країна між Сходом і Заходом), гостинність і доброзичливість місцевого населення, вишукана та різноманітна кухня. Серед слабких чинників відзначено низький рівень державної підтримки туризму та безпеки, недостатній рівень розвитку інфраструктури та незадовільний стан довкілля, високий рівень корупції. Загрозами для розвитку ту-

ризму є низький рівень освіти у сфері туристичних послуг, високий рівень злочинності й корупції, низька якість і нестабільність державного управління, низький рівень медичного обслуговування. Разом із тим, розмаїття культур та історичних пам'яток, вдале географічне розташування, розвиток менеджменту туризму та посилення державної підтримки, є тими чинниками, які уможливлюють розвиток туризму в Україні (Foresight Ukraine, 2015).

Беручи до уваги перелічені сильні сторони та потенційні можливості розвитку туристичного кластера економіки, зазначимо, що вони є надійним підґрунтям для розвитку екологічного туризму в Україні, зокрема, на території Українських Карпат (Carpathians..., 2003).

Стан і проблеми розвитку екологічного туризму в Україні. Україна відзначається значним розмаїттям природно-кліматичних умов і ландшафтів, володіє, як було згадано, невичерпною культурно-історичною спадщиною, що є запорукою її повноцінного інтегрування у світовий туристичний процес.

Україна багата різноманітними природними туристичними ресурсами, що є важливою передумовою розвитку екологічного туризму. До них належать кліматичні, біологічні, гідрологічні, ландшафтні ресурси, джерела мінеральних вод, лікувальні грязі тощо. Загальна площа земель, придатних для рекреації та туристичного використання, займає 9,4 млн га або 15,6% території України. З них 7,1 млн га припадають на рівнинні рекреаційні території, 2,3 млн га – на гірські (1,9 млн га – на Карпати і 0,4 млн га – на Крим**).** Умовно придатні для туристичного використання 7,8 млн га території України (Sak et al., 2014)**.**

В Україні екологічний туризм перебуває на початковій стадії розвитку. Екотуристичні мандрівки відбуваються переважно самостійно, комерційна діяльність у цьому напрямі ще не розвинена. Причини, які гальмують розвиток екотуризму в Україні, традиційно пов'язують із політичною й економічною непевністю. Глобальний спалах пандемії коронавірусу доповнює перелік таких причин, усунення яких може затягтися на тривалий час. Це означає упущену економічну вигоду, а також подальше погіршення стану довкілля, яке можна стримати, зокрема, сприяючи розвитку екологічного туризму.

Успішний розвиток екотуризму в Україні гальмує низка чинників:

– відсутність соціально-політичних та економічних умов, сприятливих для інвестування у розвиток екотуризму. Полегшує таку ситуацію Постанова КМУ «Про затвердження переліку платних послуг, які можуть надаватися бюджетними установами природно-заповідного фонду» (Resolution, 2000);

– неспроможність національних природних парків України забезпечити надання платних послуг, їх відповідну якість;

– відсутність докладної інформації (зокрема, спеціальної) про рекреаційні території національних природних парків, їх реклама (напр., у вигляді буклетів) та популяризація в ЗМІ. Успіх екотуризму значною мірою залежить від можливості відвідувачів парків отримати достовірну інформацію ще до початку екотуру;

– відсутність туристичного продукту, який відповідав би кращим зразкам міжнародного туристичного ринку (недосконалі спеціалізовані маршрути і програми для різних категорій екотуристів);

– відсутність у штатних працівників відповідних структурних підрозділів адміністрації національних природних парків достатнього досвіду і знань щодо організації екологічного туризму, зокрема, в галузі маркетингу, ціноутворення, пізнавальних програм для різних категорій відвідувачів;

– відсутність єдиних стандартів формування цін на послуги, нерідко ціни за надані послуги не відповідають їхній якості;

– спеціалізовані структурні підрозділи національних природних парків не забезпечують належного рівня управління рекреаційно-туристичною діяльністю, що здійснюється спільними підприємствами із залученням комерційних структур – туристичних фірм (турагенти, туроператори);

– недооцінювання ролі місцевих громад у розвитку екотуризму.

Перелічені проблеми притаманні, головно, внутрішньому туризму, в той час як виїзний туризм продовжує розвиватися. Порушення балансу між цими видами туризму призводить до того, що з України вивозять валюту, яку можна інвестувати у зміцнення матеріально-технічної бази внутрішнього екотуризму.

Здебільшого це економічні й організаційні причини. Серед економічних: варто згадати про відсутність стартового капіталу для фінансування робіт зі створення науково-природознавчих центрів, формування цільових програм екологічного туризму; брак інвестицій у туристичну інфраструктуру; недоліки менеджменту та маркетингу екотуризму; відсутність цілеспрямованих наукових досліджень, а також недосконала система підготовки кадрів (Kadnichanska, 2008).

Серед організаційних причин – обмеженість туристичних маршрутів у місцях екологічного туризму та їхнє недостатнє облаштування; відсутність спеціалізованих турорганізацій у сфері екотуризму; бюрократичні заборони й обмеження на відвідування екотуристами привабливих місць; скромний набір рекреаційних послуг для туристів; відсутність належної реклами екотуризму; обмеженість кваліфікованих кадрів у галузі екотуризму; відсутність відповідної законодавчої бази екотуризму (Dobryanska, 2013).

До основних завдань програми розвитку екотуризму в Україні належать:

– законодавче оформлення здійснюваної в межах територій екотуристичної діяльності;

– запровадження економічного механізму надання платних туристичних послуг, створення на засадах самозабезпечення, самофінансування та само-

окупності госпрозрахункових рекреаційних структурних підрозділів;

– забезпечення національних природних парків рекреаційно-туристичною інфраструктурою за міжнародними стандартами (умови проживання і харчування туристів, транспортні засоби, спостережні вежі тощо);

– розроблення й облаштування науково-пізнавальних туристських маршрутів та еколого-освітніх екскурсійних стежок відповідно до параметрів внутрішнього і зовнішнього пейзажного розмаїття природних ландшафтів (малі архітектурні форми, інформаційно-охоронні знаки, інформаційні щити тощо).

Ефективне використання екотуристичного потенціалу заповідників і національних парків – запорука їхнього подальшого успішного розвитку. Національні природні парки покликані відігравати провідну роль у розвитку сталого туризму. Сталість у туризмі передбачає позитивний загальний баланс екологічного, соціально-культурного та економічного впливів туризму, а також позитивний взаємний вплив відвідувачів один на одного (Teodorovych, 2013).

Тільки з усвідомленням того, що екотуризм є важливим складником сталого розвитку природоохоронних територій, можна подолати перешкоди на шляху розвитку екологічного туризму.

Проблеми та перспективи розвитку екологічного туризму в НПП «Сколівські Бескиди». Всебічне сприяння сталому туризму в Карпатах, про що йдеться в Карпатській конвенції (Framework convention, 2003), принесе користь місцевому населенню на основі наявності унікальних природних об'єктів, ландшафтів і культурної спадщини Карпат, а також розширить співробітництво в цьому напрямі.

Серед природоохоронних територій Українських Карпат вагоме місце посідає національний природний парк (НПП) «Сколівські Бескиди», який є природоохоронною рекреаційною, культурно-освітньою, науково-дослідною установою загальнодержавного значення і входить до складу природно-заповідного фонду України (Environmental tourism, 2015).

Для забезпечення організації рекреаційної і туристичної діяльності на території парку функціонує дільниця рекреації та благоустрою. Основними напрямами діяльності дільниці рекреації є створення умов для організованого та ефективного туризму, відпочинку та інших видів рекреаційної діяльності в природних умовах з дотриманням режиму охорони заповідних природних комплексів та об'єктів, формування екологічної культури, ощадного ставлення до національного природного надбання та ін.

Парк пропонує різноманітні маршрути для прихильників відпочинку на природі. Популярними серед туристів є прогулянки еколого-пізнавальними стежками і маршрутами, серед яких «Водоспад на р. Кам'янка», «Колодка», «Павлів потік», «Майдан», «Тустань». Прокладено та промарковано еколого-пізнавальні стежки та маршрути (загалом їх 11), найпопулярніші з них – «Бучина», «Крокус», «На гору Лопата», «На водоспад», «Долиною річки Кам'янки», «м. Сколе – г. Парашка – с. Майдан». У парку промарковані кінний маршрут, по два вело- та автомобільні маршрути, облаштовані два туристичні притулки, які можуть прийняти одночасно близько 160 осіб (Recreation potential, 2016).

Одним із найпопулярніших є еколого-пізнавальний маршрут «м. Сколе – г. Парашка». Маршрут цікавий тим, що дає змогу спостерігати природні зміни, зумовлені висотною зональністю (маршрут починається на висоті 440 м н.р.м., а найвища точка маршруту – г. Парашка сягає 1268 м н.р.м.).

Вплив туристичної діяльності на лісові екосистеми. Використання лісу для цілей відпочинку ускладнює процес природного поновлення. Внаслідок витоптування знищуються сходи деревних і кущових видів. Ущільнення ґрунту, зниження аерації призводить до значного відпаду та пошкодження підросту. На витоптаних місцях він відсутній або представлений поодиноко. Важливим наслідком дигресії є зменшення загальних запасів фітомаси. Вздовж стежок спостерігається «старіння» лісу внаслідок систематичного знищення підросту. Через знищення підросту припиняється самовідновлення деревостану.

Першим складником лісових біогеоценозів, який найсильніше зазнає рекреаційного впливу і в якому спостерігаються найбільші зміни, є живе надґрунтове вкриття. Поряд із зменшенням проективного вкриття типових лісових трав (розміщення мозаїчне), у трав'яне вкриття у просвітах та вздовж стежок проникають лучні та лучно-лісові види. Збільшується участь рудеральних видів і «лісових бур'янів». Проаналізувавши видовий склад та ценотичну структуру рослинного вкриття вздовж еколого-пізнавального маршруту, ми виділили другу і третю стадії рекреаційної дигресії. Спостерігали також порушений та сильно порушений стан рослинних угруповань. У рослинному вкритті букових лісів вздовж еколого-пізнавального маршруту виявлено всі ознаки антропогенної трансформації (Lukashchuk & Fedorchuk, 2015).

З огляду на наведене вище, можна зробити висновок, що ненормований туризм негативно впливає на біорозмаїття, зокрема, на стан лісових екосистем.

Характеристика туристичного потенціалу НПП «Сколівські Бескиди». Незважаючи на популярність НПП «Сколівські Бескиди» як об'єкта рекреації, існує низка проблем, які гальмують розвиток екотуризму на цій території.

Для розроблення пропозицій щодо розвитку екологічному туризму ми визначили переваги та недоліки туристичного потенціалу НПП «Сколівські Бескиди» методом SWOT-аналізу. Такий підхід дав змогу виявити сильні і слабкі сторони туристичної діяльності парку й охарактеризувати можли-

вості та загрози на шляху його подальшого розвитку. SWOT-аналіз потенціалу розвитку екотуризму в НПП «Сколівські Бескиди» наведено в табл. 1.

Екотуристичні перспективи парку охоплюють планомірне використання наявних ресурсів, що виражається в проектуванні й розробленні екологічних та еколого-культурних туристичних маршрутів, а також плануванні, управлінні і моніторингу екотуристичної діяльності. Це зумовлює високу перспективність організації наукового туризму і літніх польових практик як для вітчизняних, так і зарубіжних студентів.

Таблиця 1

SWOT-аналіз потенціалу розвитку екологічного туризму на території НПП «Сколівські Бескиди»

Сильні сторони (S)	Слабкі сторони (W)
• чисте та безпечне довкілля; • гарні краєвиди, багате біорозмаїття; • розмаїття ландшафту: гір, річок, водоспадів, мінеральних джерел; • багатство історико-культурної спадщини, зокрема, державного історико-культурного заповідника «Тустань»; • формування мережі домогосподарств, зорієнтованих на екотуризм; • доступна ціна за проживання та якісне і різноманітне харчування; • велика кількість індивідуальних операторів, які традиційно приймають туристів; • збережені народні традиції; • гостинність місцевого населення.	• низький рівень промоції регіону; • практично відсутня інфраструктура розміщення та харчування туристів; • незадовільний стан автомобільних доріг і погане сполучення з високогірними районами; • недостатня кількість маршрутів, практично не залучено історико-культурну спадщину, зокрема, дерев'яні церкви; • незнання іноземних мов господарями, що ускладнює спілкування з гостями; • відсутність системи резервування місць відпочинку; • недостатній рівень знань місцевих мешканців щодо організації екотуризму.
Можливості (O)	**Загрози (T)**
• збільшення доходів місцевих жителів; • покращення економічного розвитку регіону; • збільшення зайнятості місцевого населення; • створення нових робочих місць у сфері обслуговування, зокрема, медицини, транспортній мережі; • підвищення рівня екологічної свідомості туристів; • зниження антропогенного навантаження на територію; • підвищення рівня задоволеності та відчуття щастя від єднання з природою.	• несприятлива санітарно-епідеміологічна ситуація у світі; • наявність некатегоризованої нічліжної бази, що погіршує якість послуг; • суперництво та відсутність належної координації між організаціями, які займаються екологічним туризмом; • слабка співпраця з місцевими органами влади і турфірмами; • відсутність належної організаційно-правової бази в галузі екотуризму; • фінансова криза; • нестабільна політична ситуація в країні.

Важливе місце у розвитку національних парків відіграє фінансування. Недостатність фінансування є, серед іншого, одним із чинників ризику всієї господарської діяльності туристичного підприємства (Grycyuk & Maksymiv, 2011). На сьогоднішній день недостатнє фінансування з боку держави є однією із причин гальмування розвитку екологічного туризму на території НПП «Сколівські Бескиди». Ця обставина зумовлює потребу активного залучення інших джерел отримання доходу від екологічного туризму, дозволених в НПП: здавання в оренду ділянок, зокрема, лісового фонду, рекреаційним, спортивним та іншим установам і організаціям; стягнення податків за короткотермінове користування ділянками з метою екологічного туризму. Сюди можна віднести також стягнення плати за надання послуг з рекреаційного лісокористування: піших прогулянок, екскурсій з досвідченим провідником чи екскурсоводом, який знає історію місцевості, зокрема місцевого лісу; водних прогулянок (на човнах, байдарках); облаштування пляжів на берегах лісових озер чи річок; надання обладнаних місць для пікніків; продаж сувенірів, буклетів, а також дарів лісу відвідувачам (власними силами чи силами малих підприємств, ФОПів); проведення спортивного орієнтування, тренувальних заходів (альпінізм, верхова їзда, лижні походи і кроси), культурні заходи, а також змагань; користування обладнанням кемпінгів; продаж дров і деревного вугілля; надання місць для паркування автомобілів та інших транспортних засобів; прокат наметів, наплічників, спорядження, вудок, велосипедів, фотоапаратів, відеокамер, різноманітних знарядь та інвентарю; продаж спортінвентарю і туристичного спорядження.

За наявності унікальних, особливо охоронюваних, природних об'єктів чи обладнаних діля-

нок (дендрарії, заказники, ботанічні сади, паркипам'ятки садово-паркового мистецтва, обладнані дитячі майданчики з атракціонами, спортивні майданчики чи комплекси) в окремих випадках можливо встановлювати плату за вхід на територію цих ділянок чи об'єктів.

Важливо зазначити, що таку плату справляють не тільки для підтримання національних парків як суб'єктів господарювання, але й повнішого задоволення потреб відвідувачів – суб'єктів екологічного туризму, виходячи з того, що екологічний туризм має бути привабливим для різних категорій відвідувачів.

Серед шляхів вирішення проблеми фінансування НПП, на наш погляд, варто приділити увагу благодійним внескам і пожертвам. Метою авторів було з'ясувати і проаналізувати наявність і рівень мотивації відвідувачів виділяти благодійні внески на підтримання і розвиток екотуризму на території парку.

Дослідження готовності виділяти благодійні внески на підтримання в належному стані та покращення екологічних маршрутів. Одним із методів визначення готовності платити за вигоди від використання довкілля є метод анкетного опитування (Dixon et al., 1994; Zahvoyska et al., 2006). Головним завданням під час опитування було з'ясувати міру готовності туристів робити благодійні внески на підтримку в належному стані та покращення екологічних маршрутів в НПП «Сколівські Бескиди».

Для дослідження було складено анкету з 11 запитаннями. Опитування респондентів здійснювали анонімно, тобто без надання їх персональних даних і підписів. Виняток становили запитання про стать, вік і місячний дохід; за цими ознаками було здійснено поділ респондентів за окремими категоріями. Всього було опитано 80 респондентів різних вікових категорій, серед них: 21% віком до 20 років; 60% – від 20 до 30 років; 19% – від 30 до 45 років); різної статі (29% жінок і 71% чоловіків), з різними сукупними місячними доходами (18% – до 4000 грн; 44% – від 4000 до 7000 грн; 38% – більше 7000 грн).

Серед запитань, які, на нашу думку, могли мати вирішальний вплив на готовність жертвувати на розвиток екотуризму в НПП «Сколівські Бескиди», були такі: «Чи відомий Вам такий вид туризму як екологічний?» та «Чи практикуєте Ви екологічний туризм?». Більшості респондентів (69%) такий вид туризму був невідомий.

Усі респонденти відвідували Карпатський регіон Львівщини (100% опитаних дали ствердну відповідь). Переважна більшість (64%) подорожує територією НПП «Сколівські Бескиди» один-два рази на рік, 11% – відвідують парк більше трьох разів на рік, а чверть (25%) респондентів жодного разу не були на території парку.

Досліджуючи міру готовності туристів надавати благодійні внески на розвиток екологічного туризму на території парку, нами виокремлено три категорії респондентів і з'ясовано суму коштів, які вони готові вносити за відвідування парку на добровільній основі (табл. 2).

Таблиця 2

Категорії респондентів, які взяли участь в опитуванні щодо готовності надавати благодійні внески на розвиток екологічного туризму на території НПП «Сколівські Бескиди»

№ з.п.	Категорія респондентів	К-сть осіб, чол.	Сума благодійного внеску, грн
I	Респонденти, які готові виділити разовий благодійний внесок під час відвідування парку	29	5-100
II	Респонденти, які готові виділяти благодійні внески під час кожного відвідування парку	18	1-10
III	Респонденти, не готові робити добровільні внески на розвиток екологічного туризму	33	-

З метою визначення впливу змінних на готовність виділяти благодійні внески було здійснено кореляційний аналіз. Для забезпечення візуалізації залежностей нами побудовано кореляційні поля залежності готовності виділяти благодійний внесок від місячного доходу, кількості відвідувань території парку та частоти готовності робити пожертви.

Обернений кореляційний зв'язок спостерігався в залежності готовності платити від частоти надання благодійних внесків. В інших випадках мав місце прямий кореляційний зв'язок. Можна також припустити, що за збільшення середньомісячного доходу та частоти відвідувань території НПП «Сколівські Бескиди» сума добровільних внесків зростатиме. Аналіз частоти готовності виділяти благодійний внесок показав, що у випадку готовності надавати благодійний внесок під час кожного відвідування парку його сума зменшується.

Побудова кореляційної матриці дала змогу кількісно оцінити щільність зв'язків. Для цього було використано інструмент КОРЕЛЯЦІЯ з ПАКЕТУ АНАЛІЗУ даних у середовищі табличного процесора *Excel*. Встановлено, що *X1* (стать) та *X7* (частота пожертв) мають обернений зв'язок, решта – прямий. За щільністю слабкий зв'язок спостерігався в *X1* (стать); *X4* (відомості про екотуризм); *X5* (зайнятість в екотуризмі); *X6* (відвідуваність парку), помірний – *X2* (вік); *X3* (дохід) і помітний між готовніс-

тю платити та *X7* (частота пожертв). Для оцінювання сили зв'язку було використано шкалу Чеддока.

Розрахункове значення *t*-критерію Ст'юдента ми порівняли з табличним. Табличне значення *t*-критерію Ст'юдента визначається з урахуванням рівня значущості 0,9 та кількості ступенів свободи (80-1-1) і становить 1,665. Усі значення готовності платити, крім статі та регулярності відвідування парку, є значущими, оскільки їх розрахункове значення є вищим за значення *t*-критерію Ст'юдента. Отже, з ймовірністю 0,9 можна стверджувати про наявність кореляційного зв'язку між готовністю платити та віком, доходом, поінформованістю в галузі екотуризму, зайнятістю в екотуризмі та частотою пожертв.

Також у всіх трьох категорій респондентів ми дізнавалися, чи готові вони взяти участь у покращенні екологічних маршрутів. Половина опитаних готові брати участь у покращенні екомаршрутів на волонтерських засадах (49%), а 27% респондентів – за винагороду. Чверть опитаних (24%) не готові брати участь у покращенні екологічних маршрутів на території парку.

Окремо проаналізовано категорію III респондентів (не готові виділяти кошти на покращення екологічних маршрутів на території парку) і встановлено, що третина респондентів цієї категорії не готова брати участь у покращенні екологічних маршрутів на території національного природного парку (36%), третина (30%) готова брати участь на волонтерських засадах і третина (34%) – на умовах оплати. На такі відповіді можуть впливати різні чинники, серед них, низький рівень екологічної свідомості громадян, ширше – несформованість громадянського суспільства. На сьогодні також з високою ймовірністю може бути незадовільний фінансовий стан респондентів або ж зміна пріоритетів, коли перевагу надають, наприклад, пожертвам на армію.

Результати дослідження засвідчили, що більшість респондентів готові добровільно виділяти певні кошти на розвиток екотуризму і рекреації в НПП «Сколівські Бескиди», а також брати участь у різних екологічних акціях як волонтери. Незважаючи на відносно невелику вибірку респондентів, вважаємо, що отримані результати становлять достовірну базу для аналізу та розроблення заходів щодо покращення фінансового стану парку.

Рекомендації щодо покращення організації екологічного туризму в НПП «Сколівські Бескиди». Територія парку має значний потенціал для розвитку екологічного туризму**.** Парк характеризується багатим біорозмаїттям (флора національного парку налічує понад 1200 видів судинних рослин, близько 235 видів хребетних, ще багатшою є фауна комах і птахів). Велику кількість флори парку внесено до Червоної книги України та Європейського червоного списку. Тут виявлено єдине в Україні оселище декоративного кущика – брукенталії гостролистої. Представники фауни, зокрема 35 видів комах, також знайшли відображення у Червоній книзі України (Carpathians, 2003). В районі розташування НПП є велика кількість об'єктів природної спадщини, а також пам'яток культури, зокрема, сакрального мистецтва, які є додатковими мотиваційними чинниками для прихильників екологічного туризму.

Активний розвиток екотуризму на території НПП «Сколівські Бескиди» сприятиме вирішенню проблеми зайнятості населення та низки соціальних питань, зменшенню екологічної шкоди, яка може супроводжувати рекреаційну діяльність. Екотуризм може стати також джерелом надходження коштів для виконання безпосередніх завдань парку, тобто збереження та відтворення природних ресурсів. Для цього, на нашу думку, варто активніше запроваджувати рекламно-інформаційну діяльність; тісно співпрацювати з турфірмами не лише Львівської області, але й інших регіонів України; створити власне екскурсійне бюро; розробити низку маршрутів із залученням історико-культурної спадщини краю; ініціювати розвиток активних видів екологічного туризму (велосипедний, кінний); поліпшити елементи інфраструктуру, зокрема, транспортну.

Існує категорія туристів, які готові виділяти кошти на розбудову парку та брати участь у покращенні його діяльності. У зв'язку з цим необхідно активізувати зусилля, спрямовані на залучення благодійних внесків на розбудову парку; організувати проект із залучення волонтерів для розбудови парку та екомаршрутів; відкрити банківський рахунок, на який можна вносити благодійні внески на розвиток екотуризму; облаштувати інформаційні стенди; на офіційному сайті запровадити рубрику з інформацією стосовно програм, коштів, їх витрачання та звіту про виконання плану робіт; запровадити рубрику пропозицій щодо покращення роботи парку.

Діяльність НПП «Сколівські Бескиди» повинна бути спрямована також на запровадженням екологічного туризму в населених пунктах, які входять у зону діяльності парку. Для цього потрібно розробити пропозиції з розвитку екотуризму в Сколівському районі та визначити напрями діяльності адміністрації парку у цій галузі; провести інформаційний семінар для жителів району, які бажають займатися екологічним туризмом; укласти договори з приватними власниками і туристичними фірмами, які розвиватимуть екотуризм на території національного природного парку; видати рекламні матеріали з метою пропаганди екологічного туризму в регіоні.

Умовою розвитку екологічного туризму є підвищення рівня екологічної свідомості громадян. У зв'язку з цим варто створити громадську екологічну організацію в районі діяльності парку та сприяти її функціонуванню. Метою організації має бути, насамперед, пропаганда екологічних знань і проведення масових екологічних акцій у районі діяльності національного природного парку.

Ще одним важливим кроком для розбудови туризму в НПП «Сколівські Бескиди» може бути створення візит-центру та музею природи парку.

Важливим чинником покращення роботи НПП «Сколівські Бескиди» та підвищення рівня довіри громадян є інформування про діяльність парку. Для цього варто: укласти угоди з редакціями місцевих газет (обласних і районних – Сколівського, Дрогобицького, Турківського районів) про регулярне висвітлення природоохоронної й еколого-просвітницької діяльності; забезпечити підготовку матеріалів для публікацій на природоохоронну та еколого-освітню тематику співробітниками НПП; налагодити співпрацю з обласним центром телебачення та радіомовлення з метою підготовки матеріалів про діяльність парку.

Важливим кроком є також визначення найбільш доцільних та ефективних методів еколого-просвітницької діяльності парку з метою формування екологічного світогляду населення. Для реалізації цієї мети варто провести соціологічні дослідження з метою з'ясування ставлення населення до діяльності парку, проведення природоохоронних заходів і впровадження екологічного туризму; розробити перспективні методи еколого-просвітницької роботи.

Висновки. Національні природні парки – складні еколого-економічні формування, в яких переплелися різні форми та рівні організації середовища – абіотичні, біотичні, біотизовані, антропні й антропізовані. НПП призначені для охорони довкілля, збереження біорозмаїття, підтримання у рівновазі природних екосистем, здійснення просвітницької, наукової і культурної діяльності, розвитку туризму.

Важливим завданням функціонування національних природних парків є визначення межі, яка розділяє нераціональне використання природних ресурсів і сталий розвиток туризму на їхній території. Основою пошуку є розмежування функцій, прав і обов'язків (відповідальності) в системі взаємин національних парків з місцевими органами влади і населенням.

Обмеження господарської діяльності на території НПП призводить до певних економічних і соціальних втрат, зниження рівня добробуту місцевого населення. Таке обмеження є наслідком виконання парками функції своєрідних «екологічних донорів». Для забезпечення ефективності функціонування НПП у довготерміновій перспективі потрібне розроблення організаційно-економічного механізму компенсації регіонам-донорам (окремим галузям економіки, населенню) підвищених витрат, пов'язаних з наданням екологічних послуг з метою збереження довкілля (Biserova, Tereshyna, Maksymiv, & Potravny, 2005).

В умовах обмеженості бюджетного фінансування національні природні парки змушені шукати можливості для фінансування з інших джерел. Такими додатковими джерелами фінансування, дозволеними діючим законодавством, є надання платних послуг та інших форм поповнення власних коштів.

Одним із джерел поповнення бюджету НПП можуть бути добровільні пожертви відвідувачів на підтримання та розвиток екологічного туризму. Для цього потрібно активізувати інформаційно-просвітницьку діяльність серед відвідувачів парку, залучаючи їх до усвідомлення потреб парку та їх покриття. Зазначимо, що фінансова співучасть у підтриманні парку в належному стані є запорукою шанобливішого ставлення до його ресурсів та діяльності загалом.

Самодіяльні види туризму, зокрема екологічного, а також відпочинку на території національного природного парку практично не поповнюють місцеві бюджети. Фінансовий контроль за використанням природно-рекреаційного потенціалу недостатній, він обмежується лише збором коштів на кордоні КПП парків.

Важливу роль в ефективному функціонування національного природного парку є широке залучення громадськості. Для цього варто проводити відповідні соціологічні дослідження громадської думки, вивчати позиції місцевого населення і відвідувачів щодо поліпшення функціонування і розвитку парку, формувати громадські об'єднання.

References

Babkin, A. (2008). *Special types of tourism*. Rostov-na-Donu: Publishing house Phoenix (in Russian).

Biserova, S., Tereshyna, M., Maksymiv, L., & Potravny, I. (2005). National Nature Park as a object of the ecological-economic regulation. *Natural resource and environmental protection in Russia*, *1*, 110-120 (in Russian).

Carpathians – «The green heart» of Europe: Carpathian Convention. Ukrainian context (2003). 5th Pan-European Ministerial Conference «Environment for Europe», Kyiv.

Ceballos-Lascurain, H. (1987). The future of 'ecotourism'. *Mexico Journal,* 13-14.

Covid-19: putting people first (2020). https://www.unwto.org/ tourism-covid-19

Chudoba, V., Kizyma, R. (2018). Current state and prospects of ecological tourism development in the Ukrainian Carpathians (the Montenegrin massif case study). In: Proceedings of the XI international scientific-practical conference «*Problems of intensification of recreational and health-improving activity of the population*». SUPC, Lviv. 261-265 (in Ukrainian).

Defining Sustainable Tourism (2020). https://www.gdrc.org/uem/ eco-tour/ sustour-define.ht ml

Dixon, J.A., Scura, L.F., Carpenter, R.A., & Sherman, P.B. (1994). *Economic analysis of environmental impacts*. London, UK: Earthscan Publications Ltd.

Dobryanska, I. (2013). *Ecotourism as an ecologically significant area of activity*. Dnipro: Publishing house Education and science (in Ukrainian).

Dolgopola, H., & Korobeynykova, Ya. (2013). Tourist infrastructure: to the problem of definition and functioning of public-private partnership. http://www.confcontact.com/20130214_econ/10_dolgopolova.htm (in Ukrainian)

Environmental tourism at the NNP «Skole Beskids» territory (2015). Official website. https://skole.org.ua/ekolohichnyj-turyzm-na-terytoriji-npp-skolivski- beskydy.html

Foresight of Ukraine's economy: medium-term (2015-2020) and long-term (2020-2030) time horizons (2015). Science. project manager acad. NAS of Ukraine M.Z. Zgurovsky // International Council for Science (ICSU); System Analysis Committee at Presidium of the NAS of Ukraine; National Technical University of Ukraine «Kyiv Polytechnic Institute»; Institute of Applied Systems Analysis of the National Academy of Sciences of Ukraine and the Ministry of Education and Science of Ukraine; World Data Center for Geoinformatics and Sustainable Development. Kyiv: NTUU «KPI» (in Ukrainian). http://ied.kpi.ua/wp-content/uploads/2015/10/Foresight-2015.pdf

Framework convention on the protection and sustainable development of the Carpathians (2003). http://www.carpathianconvention.org/tl_files/ carpathiancon/Downloads/04%20Publications%20-%20Press%20-%20Gallery/ Documents%20and%20Publications/4.1.1%20CarpathianConvention.pdf

Halimovska, I. (2016). Environmental tourism as a development factor of the modern society. *Humanitarian Bulletin of ZSEA*. 67, 89-96. http://www.zgia.zp.ua/ gazeta/gvzdia_67_89.pdf (in Ukrainian).

Grycyuk, M.Yu., & Maksymiv, L.I. (2011). The method of determination of the complex index of risk of the state of economic activity of the tourist object. *Scientific bulletin of Ukrainian National Forestry University, 21.1*, 300-307 https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2011/21_1/300_Gry.pdf (in Ukrainian).

Kadnichanska, M. (2008). Features of ecotourism development in national natural parks of Lviv region. *Bulletin of Lviv University. International relations series, 24*, 101-105. http://infotour.in.ua/kadnichanska.htm (in Ukrainian).

Law of Ukraine «On the nature reserve fund of Ukraine» (1992) (red. from 21.11.2019). http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/ 2456-12 (in Ukrainian).

Lukashchuk, H.B., & Fedorchuk, T.A. (2015). The Recreational Degression of Beech Forests along the Environmental Cognitive Route «Town Skole – Mountain Parashka» (NNP Skole Beskids). In: *Scientific bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *25.2*, 63-69 https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/966 (in Ukrainian).

Maksymiv, L., Soloviy, I., & Fedorchuk, T. (2017). Problems and perspectives of the environmental torism development in the Ukrainian Carpathians: socio-ecological-economic context». In: Proceedings of International conference *«Sustainable tourism for development*», Lviv (pp. 36-37).

Malska, M. (2009). *Spatial Systems of Services Spatial (theory, methodology, practice)*. Kyiv: Cognition Publishing (in Ukrainian).

Pelyno, L., & Maksymiv, L. (2006). The role of forest and the problem of accounting of the forest resources of Ukraine. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University*, *16.3,* 25-29.https://cyberleninka.ru/article/v/znachennya-lisivta-problemi-obliku-lisovih-resursiv-v-ukrayini (in Ukrainian).

Principles of Ecotourism (2019). https://ecotourism.org/what-is-ecotourism/.

Recreation potential of the National Nature Park «Scole Beskyds» (2014). *State Agency of forest resources of Ukraine*. http://dklg.kmu.gov.ua/forest/control/ukpublish/article?art_id=122731&cat_id=3288 (in Ukrainian).

Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine «On approval of the list of paid services that may be provided by budgetary institutions of the nature reserve fund» (2000). (in Ukrainian).

Sak, L., Konopchuk, B., & Korbut, M. (2014). Ecotourism development in Ukraine within the framework of European integration. In: Proceedings of the conference «*Ecological state development in the framework of European integration»*, Zhytomyr, pp. 83-84 (in Ukrainian).

Schola, I. Orechovska, T., Korolchuk, O., & Kyfyak, V. (2007). *Development of tourism business in the region*. Chernivtsi: Books-XX1 (in Ukrainian).

Teodorovych, L. (2013). Ecological tourism at NNP of Ukraine: theoretical and practical aspects. *Bulletin of Lviv University*. *Geographic series*, *41*, 318-330 (in Ukrainian).

The Future is now. Science for achieving sustainable development (2019). Global sustainable development report 2019. https://sustainabledevelopment.un.org/content /documents/24797GSDR_report_2019.pdf.

The National Report «17 goals of sustainable development: Ukraine» (2017). http://www.un.org.ua/images/SDGs_NationalReport UA_Web_1.pdf) (in Ukrainian).

The Strategy for Sustainable Development «Ukraine 2020» (2015) (in Ukrainian).

The Strategy for the development of tourism and resorts for the period up to 2026 (2017) (in Ukrainian).

The 10 Year Framework of Programmes on Sustainable Consumption and Production Patterns (10YFP) (2002). https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/944brochure10yfp.pdf

UNWTO Tourism data dashboard (2020). https://www.unwto.org/ unwto-tourism-dashboard

Vorobyova, O. (2012). Ecological tourism as a factor of sustainable development of nature reserves. *Environmental sciences*, *2*, 119-129 (in Ukrainian).

Zahvoyska, L.D., Maselko, T. Ye., & Yakuba, M.M. (2006). *Economic analysis of investment projects*. Lviv: Publishing house Afisha (in Ukrainian).

Социо-эколого-экономические аспекты развития экологического туризма в Украинских Карпатах

Л. И. Максымив[1], Т. А. Гарматий[2], М. Т. Бец[3]

Проанализирована роль туризма в социально-экономическом развитии страны. Определены особенности экологического туризма и его роль в экономике региона. Наведена характеристика состояния и проблем развития экологического туризма в НПП «Сколивски Бескыды», а также направления развития экологического туризма. Экологический туризм рассмотрен как неотъемлемая составная часть устойчивого туризма. Определена взаимосвязь экологического туризма с Целями устойчивого развития, изложенными в Повестке дня – 2030. При помощи разработанной авторами анкеты проведен опрос заинтересованных лиц относительно их готовности добровольно финансово поддерживать развитие экологического туризма на территории НПП «Сколивски Бескыды». Значительная часть опрошенных респондентов готова жертвовать определенную часть личных доходов на развитие природоохранных территорий, а также участвовать в различных экологических акциях в качестве волонтеров. При помощи SWOT-анализа определены сильные и слабые стороны, возможности и угрозы, сопряженные с развитием экологического туризма. На его основании разработаны предложения относительно перспектив развития устойчивого экологического туризма в Украинских Карпатах.

Деятельность НПП «Сколивски Бескыды» целесообразно направить также на внедрение экологического туризма в близлежащих населенных пунктах, входящих в зону деятельности парка. Для этого необходимо разработать предложения по развитию экотуризма в Сколевском районе и определить направления деятельности администрации парка в этой сфере, провести соответствующее обучение местных жителей, желающих развивать экологический туризм; установить контакты с частными собственниками и турфирмами, специализирующимися на экотуризме на территории НПП; издать рекламные материалы с целью продвижения экологического туризма в регионе.

Ограничение хозяйственной деятельности на территории национального природного парка сопряжено с определенными экономическими и социальными потерями, снижением уровня благосостояния местного населения. Все это является следствием выполнения парками функции своеобразных «экологических доноров». В этой связи важно разработать организационно-экономический механизм компенсации регионам-донорам (отдельным отраслям экономики, местному населению) повышенных затрат, связанных с предоставлением экологических услуг с целью охраны окружающей среды.

Условием развития экологического туризма является повышение уровня экологической грамотности граждан. В связи с этим целесообразно создать общественную экологическую организацию в районе деятельности национального природного парка и всячески способствовать ее функционированию. Целью такой организации должна быть в первую очередь просветительская деятельность в области охраны окружающей среды и проведение массовых экологических акций.

Ключевые слова: национальный природный парк, готовность платить, SWOT-анализ, устойчивый туризм, финансирование природоохранных территорий, туристическая отрасль, благосостояние.

Socio-ecological and economic aspects of the ecological tourism development in the Ukrainian Carpathians

L. Maksymiv[1], T. Garmatiy[2], M. Betz[3]

The role of tourism in the socio-economic development of the country is analyzed. The features of ecological tourism and its role in the economy of the

[1] *Максымив Людмила Ивановна* – член-корреспондент ЛАН Украины, кандидат экономических наук, доцент кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-032-39-27-78. E-mail: lyudmyla.maksymiv@nltu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5003-0249

[2] *Гарматий Татьяна Андреевна* – магистр экономики окружающей среды и природных ресурсов. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: + 38-066-857-99-17. E-mail: tetyanaharmatiy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5373-5682

[3] *Бец Марьяна Тиберишвна* – кандидат экономических наук, доцент кафедры предпринимательства и экологической экспертизы товаров. Национальный университет «Львовская политехника», ул. С. Бандеры, 12, г. Львов, 79013, Украина. Тел.: + 38-067-140-40-96. E-mail: becmtpeet@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4413-3705

[1] *Lyudmyla Maksymiv* – Corresponding Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Dr., Associate Professor of the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-032-39-27-78. E-mail: lyudmyla.maksymiv@nltu.edu.ua ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5003-0249

[2] *Tetyana Harmatiy* – Master of Environment and Natural Resource Economics. Ukrainian National Forestry University, Gen. Chuprynky str, 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-098-649-64-61. E-mail: tetyanaharmatiy@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5373-5682

[3] Mariana Bets – Dr., Associate Professor of the Department of Entrepreneurship and Environmental Examination of Goods. National University «Lviv Polytechnic», Stepana Bandery str., 12, Lviv, 79013, Ukraine. Tel.: +38-067-140-40-96. E-mail: becmtpeet@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-4413-3705

region are determined. The characteristic of the state and problems of the development of eco-tourism in the NPP Skole Beskyds, as well as the direction for the development of ecotourism are presented. Ecotourism is considered as an integral part of sustainable tourism. The interconnection of ecological tourism with the Sustainable Development Goals set out in Agenda – 2030 is determined.

Using the questionnaire developed by the authors, a stakeholders' survey was conducted regarding their willingness to support financially the ecological tourism development on the territory of the National Nature Park Skole Beskyds. It was found that a significant part of the respondents surveyed is ready to donate a certain part of their personal income to the development of nature conservation areas, as well as to participate as volunteers in various environmental campaigns. Using the SWOT analysis, strengths and weaknesses, opportunities and threats associated with the development of ecological tourism are identified. On its basis, the proposals were developed regarding the prospects for the ecological tourism development on a sustainable basis in the Ukrainian Carpathians.

According to the results of the survey, half of the respondents expressed their willingness to participate voluntarily in the improvement of eco-routes (49%), and 27% to do it for a certain fee. A quarter of respondents (24%) are not ready to participate in the improvement of ecological routes in the park. A total of 80 people were interviewed. An in-depth analysis of the responses of respondents who are not ready to allocate funds for the improvement of ecological routes in the park showed that more then one third of respondents of this category are not ready to participate in improving ecological routes in the national nature park (36%), a nearly one third of them (30%) are willing to volunteer and a third (34%) – on terms of payment.

The limitation of economic activity on the territory of the NNP is associated with certain economic and social losses, a decrease in the level of well-being of the local population. All this is a consequence of the performance of the parks as a kind of «environmental donors». In this regard, it is important to develop an organizational and economic mechanism to compensate the donor regions (some sectors of the economy, the local population) for the increased costs associated with the provision of environmental services in order to protect the environment.

It is advisable to direct the activities of the Skole Beskyds National Nature Park to the establishment of ecological tourism in the nearby settlements that are part of the park's area of activity. To do this, it is worth developing proposals for the development of ecotourism in the Skole district and determining the direction of the park's administration in this area, conducting appropriate training for residents of the district who want to be engaged in ecological tourism; conclude agreements with private owners and travel agencies specializing in ecotourism on the territory of NNP; publish promotional materials to support eco-tourism in the region.

Key words: national nature park, willingness to pay, SWOT-analysis, financing of conservation areas, tourism industry, sustainable tourism, well-being.

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412015
Article received 2020.02.10
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Ihor Soloviy
soloviy@yahoo.co.uk
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 630[477+091]*

Планування сталого землекористування на основі теорії послуг екосистем: приклад обґрунтування технологічного рішення

І. П. Соловій[1], Р. О. Козак[2], Т. Я. Кулешник[3]

Важливість послуг екосистем для добробуту людини у все більшій мірі визнається у політиці багатьох країн на місцевому, національному та міжнародному рівнях. В Україні ця концепція все ще не отримала належної уваги, а тому і не знайшла практичного застосування. Незважаючи на деякі обмеження та методологічні проблеми оцінювання послуг екосистем, інтеграція таких оцінок у процеси прийняття управлінських рішень має стати пріоритетним завданням у сфері менеджменту природних ресурсів, зокрема у сфері планування землекористування. Роль лісового та аграрного секторів особливо важлива у цьому контексті, оскільки в Україні послуги екосистем у лісовому господарстві до уваги не беруться, а термін «послуги агроекосистем» ще навіть не набув поширення у наукових публікаціях, а тим більше на практиці. Оцінювання послуг екосистем необхідно здійснювати на засадах системного підходу шляхом інтеграції екологічних, економічних і соціокультурних оцінок. Це дасть змогу забезпечити розуміння вигод, отриманих від екосистем, і витрат, пов'язаних з їх використанням. Врахування вартості послуг екосистем внаслідок збереження певних типів рослинності у ландшафті (напр., лісів) та вигід від відмови заподіяння шкоди довкіллю дає змогу розрахувати еколого-економічні вигоди від впровадження нових технологій виробництва. Як приклад у статті розрахована еколого-економічна вигода від впровадження технології виготовлення деревинно-солом'яних плит на основі врахування вартості послуг лісових екосистем та вартості екологічних вигод від відмови заподіяння шкоди довкіллю спалюванням соломи і післяжнивних решток.

Ключові слова: *вартість послуг екосистем; вигоди; деревинно-солом'яні плити; земельна політика; лісове господарство; сільське господарство.*

Вступ. Глобальна система землекористування зазнає безпрецедентного антропогенного навантаження через забруднення довкілля наслідками діяльності базованої на викопних джерелах економіки, небачених темпів змін клімату та зростання кількості населення. Багато сучасних сільськогосподарських практик, методів ведення лісового та водного господарства пригнічують життєво важливі послуги екосистем, тим самим обмежуючи здатність згаданих секторів прогодувати населення, підвищити продуктивність праці, зберегти довкілля та сприяти добробуту людини.

Розуміння наслідків цих впливів є необхідним для розроблення стратегій управління земельни-

[1] *Соловій Ігор Павлович* – академік Лісівничої академії наук України, віце-президент ЛАН України, доктор економічних наук, професор кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5885-6264

[2] *Козак Руслан Олегович* – доктор технічних наук доцент кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел. +38-0671660177. E-mail: kozak_ruslan@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1297-9810

[3] *Кулешник Тарас Яркович* – здобувач кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел. +38-067-777-87-47. E-mail: kuleshnyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3386-8634

ми ресурсами, які забезпечуватимуть продовольчу безпеку, ефективне надання послуг екосистем та успішну адаптацію до змін клімату (Holman, Brown, Janes, & Sandars, 2017). Планування землекористування – це систематична оцінка земельного потенціалу, альтернатив використання землі та економічних і соціальних умов з метою вибору і прийняття найкращих варіантів використання земель. Його мета полягає у виборі та здійсненні на практиці тих землекористувань, які найкращим чином задовільнять потреби людей, зберігаючи ресурси для майбутнього. Рушійною силою планування є потреба у змінах, потреба у поліпшеному управлінні або потреба у зовсім іншій схемі використання земель, зумовленій мінливими обставинами сьогодення. У цьому процесі беруть участь усі види землекористування: сільське господарство, лісове господарство, охорона природи, міські та промислові об'єкти, туризм і рекреація. Планування також дає вказівки у випадку конфліктів між різноманітними альтернативами, вказуючи, які райони є найцінішими для конкретного використання земель. Загалом планування землекористування, з метою забезпечення сталого розвитку, повинно перерости у міждисциплінарний цілісний підхід, який приділяє увагу всім функціям землі та активно залучає всіх землекористувачів і стейкхолдерів шляхом участі в процесі переговорної платформи чи то на національному, чи на місцевому рівнях. Метою цього процесу є створення умов для досягнення екологічно безпечної, соціально бажаної та економічно доцільної форми землекористування.

Відповідно сучасні погляди на політику землекористування трактують її як засіб досягнення тривалої гармонізації економічних, соціальних та екологічних інтересів у суспільстві на регіональному та місцевому рівнях. Однак такі спроби на практиці можуть потрапити під загрозу провалу через посилення конфліктів інтересів щодо землекористування між різними секторами. Суспільства часто отримують економічну вигоду від екологічних функцій і процесів, таких як енергетичні потоки, кругообіг поживних речовин та гідрологічні процеси (Ring, 2008), пов'язаних з наданням необхідних людині послуг екосистем (Haygarth & Ritz, 2009). Однак звична економічна діяльність враховує лише ті з отриманих від екосистем послуги і товари, які обмінюються на гроші на ринку (наприклад, їжа, вода, деревина), але зазвичай ігнорує ширше коло нематеріальних послуг, які не охоплені ринковими трансакціями (наприклад, захист ґрунтів від ерозії, регулювання клімату, забезпечення середовища проживання), навіть у випадках, коли їхні втрати стають незворотними. За оцінками експертів, щорічні втрати від виснажливого використання природних ресурсів і забруднення довкілля в Україні становлять від 15 до 20% її національного доходу, і нарощування обсягів виробництва за чинних підходів веде до екологічної катастрофи (Rudneva, 2013). Як доводить Veklych (2019), оцінювання економічного збитку від погіршення/знищення екосистемних послуг і запровадження отриманих результатів у практику управління, попри надзвичайну актуальність і важливість такого завдання, має безліч невирішених питань у частині наукового, методичного, нормативного, законодавчого та інформаційного характеру.

Водночас через усе більший суспільний тиск, який чинить громадська думка на державні структури та бізнес у всьому світі, спроби надання економічної оцінки активам екосистем посилюються, і політичні структури все більшою мірою змушені їх включати до ініціатив у сфері планування землекористування (Viglizzo, Paruelo, Laterra, & Jobbagy, 2012). Зважаючи на те, що концепції екологізації економіки та переходу до сталого розвитку все більшою мірою поширюють свою політичну впливовість, політики, землекористувачі, зацікавлені сторони та вчені змушені визнати, що послуги екосистем, ймовірно, будуть у центрі майбутньої політики щодо використання земель.

Той факт, що сьогодні методології оцінювання і моніторингу послуг екосистем ще недостатньо опрацьовані і мають недоліки, не є вагомим аргументом для відмови від їхньої апробації і впровадження у політику землекористування (Viglizzo, Paruelo, Laterra, & Jobbagy, 2012). Наукове обгрунтування підходів, які здатні забезпечити інтеграцію результатів оцінювання послуг екосистем у процеси формування політики, стратегій розвитку та обгрунтування управлінських рішень є однією із найактуальніших наукових проблем забезпечення переходу до екологічної економіки і сталого розвитку.

Методика та результати дослідження. *Об'єкт досліджень* – послуги екосистем, пов'язані з функціонуванням системи землекористування. *Предмет досліджень* – прийняття рішень у сфері землекористування з урахуванням вартості послуг екосистем.

Мета роботи полягає у розробленні теоретичних положень і прикладних рішень щодо трансформації системи планування землекористування на засадах сталого розвитку на основі теорії послуг екосистем.

У розглянутому нижче прикладі діяльність промислового підприємства тісно пов'язана з використанням земель, які, з одного боку, є ресурсною базою виробника, а з іншого – поглиначем забруднень, що виникають у результаті перетворення вхідних потоків у кінцевий продукт. Виготовлення деревинно-солом'яних плит на заводах стружкових плит супроводжуватиметься не лише вигодами підприємства від застосування додаткового виду сировини – соломи, що має економічний інтерес, але й позитивним екологічним аспектом – перетворенням соломи з відходів у технічну сировину, що сприятиме збереженню довкілля та ефективності послуг лісових екосистем.

Наприклад, екологічні вигоди для суспільства від запровадження виробництва деревинно-солом'яних плит можуть бути представлені економічною вигодою від послуг лісової та агро- екосистем з погли-

нання CO_2 унаслідок відмови від спалювання соломи та вирубування лісу, як еквівалент зменшення обсягів використання деревинної сировини в процесі виготовлення деревинно-солом'яних плит:

$$EB = EB_{а.е.с.} + EB_{л.е.с.} \quad (1)$$

де EB – екологічна вигода від послуг екосистем, грн;

$EB_{а.е.с.}$ – екологічна вигода від збереження агроекосистеми, грн;

$EB_{л.е.с.}$ – екологічна вигода від збереження лісової екосистеми, грн.

Щорічно після збирання зернових культур у багатьох українських агропідприємствах солому спалюють, посилаючись на те, що заорювання стерні та соломи – технологічно складний агрозахід і, більше того, витратний. Відмову від підпалювання стерні та соломи внесено до низки рекомендацій і систем землеробства, які розробляють на обласному рівні, оскільки такий агрозахід завдає значної шкоди довкіллю та всій агроекосистемі (Demidov et al., 2012).

Зокрема за даними Zhovnir (2012), спалювання біомаси зумовлює викиди, у складі яких зосереджено 32% оксиду вуглецю, 20% твердих частинок, 50% канцерогенних поліароматичних вуглеводнів у світі. Димові гази від спалювання біомаси є надзвичайно небезпечними для здоров'я людини, оскільки значна частка твердих частинок мають розмір менше 10 мкм і легко проникають у дихальні шляхи, спричиняючи різноманітні захворювання. Спалювання соломи спричиняє згоряння напівроскладених органічних решток, перетворюючи їх на попіл. Під час спалювання соломи вигорає гумус, особливо коли солома лежить у валках або стогах. Відбувається незворотна втрата органічних вуглецю і азоту. Окрім того таке спалювання призводить до загибелі корисних мікроорганізмів, мезофауни, особливо дощових черв'яків та інших мешканців ґрунту, які відіграють важливу роль в утворенні органічної речовини, у формуванні структури ґрунту. Гинуть також корисні комахи і птахи (Demidov, Datsko, Panasenko, Bulygin, & Tymchenko, 2012). Наслідком такого процесу є зниження потенційної родючості ґрунту і, відповідно, втрата послуг агроекосистеми. Поряд з цим, спалювання соломи становить потенційну небезпеку з погляду виникнення пожежі на сусідніх полях, у лісосмугах, лісах, степах і, навіть може становити загрозу для людського життя.

За розрахунками фахівців, розмір повної еколого-господарської шкоди від спалювання соломи і післяжнивних решток на площі поля в 100 га може сягати 830 тис. грн (Demidov et al., 2012).

У цьому випадку екологічна вигода від відмови спалювання соломи може бути розрахована таким чином:

$$EB_{а.е.с.} = S_{п.з.} \cdot ВЕП_{сп.сол.} \quad (2)$$

де $S_{п.з.}$ – площа посівів зернових, солому яких використовують для виготовлення деревинно-солом'яних плит, га;

$ВЕП_{сп.сол.}$ – вартість послуг агроекосистеми від відмови спалювання соломи, яка чисельно рівна еколого-господарській шкоді від спалювання соломи і післяжнивних решток, грн/га.

Механізм надання лісом послуг екосистеми полягає у взаємодії лісу з атмосферою, водою, ґрунтом та у підтриманні їхніх якісних і кількісних параметрів на екологічно оптимальному рівні. До послуг лісових екосистем відносять рекреаційну (оздоровчу) цінність лісових масивів, захист ґрунтів від ерозії, підвищення урожайності сільськогосподарських культур, збереження біорізноманіття, регулювання водяного стоку, продукування кисню, поглинання двоокису вуглецю та ін.

На особливу увагу заслуговують гідрологічні послуги лісових екосистем (водоохоронні та водорегулятивні), послуги зі збереження біорізноманіття та послуги, пов'язані з поглинанням двоокису вуглецю. Ці послуги можуть знижуватися або бути втраченими (у випадку зрубування чи деградації лісів), що призведе до екологічних небезпек і додаткових витрат для суспільства на місцевому рівні (напр., зумовить повені і зсуви, пришвидшить кліматичні зміни на глобальному рівні тощо) (Soloviy, 2016).

Вигоди від збереження лісової екосистеми можуть бути обчислені через вартість її послуг та площу лісу, збережену внаслідок виготовлення деревинно-солом'яних плит:

$$EB_{зб.дер.} = S_{зб.дер.} \cdot ВЕП_{ліс.ек.с.} \cdot K_{грн} \quad (3)$$

де $ВЕП_{ліс.ек.с.}$ – річна вартість екологічних послуг лісової екосистеми, $/га/рік;

$S_{зб.дер.}$ – площа лісу, збережена від зрубування внаслідок виготовлення деревинно-солом'яних плит, га;

$K_{грн}$ – курс гривні стосовно долара, грн/дол.

Економічна вартість послуг лісової екосистеми становить в середньому 1127 $/га в рік для лісів помірної зони (Costanza et al., 2014), до яких належать і ліси України.

Обсяги виготовлення стружкових плит в Україні за останні роки становлять 1,3-1,6 млн м^3/рік (State Statistics Service of Ukraine, 2019). Для виготовлення таких обсягів плит за питомої витрати сировини 1,4-1,5 м^3/м^3 заводи використовують 1,9-2,4 млн м^3 деревинної сировини (Otlev, 1989). Виготовлення деревинно-солом'яних плит з вмістом соломи 40% щорічно дасть змогу вивільняти 0,76-0,96 млн м^3 деревини і залучати 0,32-0,44 млн т соломи. За середнього збору соломи 4,2 т/га (Tarariko, 2005; Klyus, 2012) площа посівів зернових, солома яких використовуватиметься для виготовлення деревинно-солом'яних плит, становить 76,2-104,8 тис. га.

Збережену в процесі виготовлення деревинно-солом'яних плит від вирубування площу лісів можна визначити з середніх запасів деревостанів України та вивільненого через застосування соломи обсягу деревини. Згідно з даними звіту Державного агентства лісових ресурсів України, середні запа-

си деревостанів України становлять 218 м³/га (The Public Report…, 2016). Тоді збережена від зрубування площа лісу становитиме 3,5-4,4 тис. га. Підставивши дані у формули (1)–(3) отримаємо:

– екологічна вигода від збереження лісової екосистеми:

$$EB_{зб.дер.} = (3{,}5...4{,}4) \cdot 10^3 \cdot 1127{,}0 \cdot 26{,}7^* = (105{,}3...132{,}4), \text{ млн грн;}$$

* – курс USD за даними НБУ станом на травень 2020 року

– екологічна вигода від збереження агроекосистеми:

$$EB_{відм.сп.} = (76{,}2...104{,}8) \cdot 10^3 \cdot 8{,}3 = (632{,}5...869{,}8), \text{ млн грн;}$$

– екологічні вигоди від послуг екосистем:

$$EB = (105{,}3...132{,}4) + (632{,}5...869{,}8) = (737{,}8...1002{,}2), \text{ млн грн.}$$

На основі еколого-економічної оцінки виробництва деревинно-солом'яних плит розроблено схему еколого-економічних вигод від впровадження технології їх виготовлення (рис.), яка містить три блоки, що відображають причинно-наслідкові зв'язки між послугами екосистем, їх використанням і еколого-економічними наслідками.

Схема ілюструє вартісну оцінку сучасного стану екологічних збитків від спалювання соломи і використання деревини для виготовлення стружкових плит, а також вартісний еквівалент екологічних вигод від впровадження технології деревинно-солом'яних плит, який становить 737,8...1002,2 млн грн.

Дискусія. Проаналізований приклад добре ілюструє доречність застосування концепції послуг екосистем для обгрунтування політики сталого землекористування та прийняття технологічних рішень. Ми свідомі стосовно певних обмежень наведеного розрахунку, який не містить усіх етапів еколого-економічного обгрунтування, адже до уваги не брали виробничі витрати, фактор часу тощо. Але ми мали за мету зосередити увагу саме на послугах екосистем лісоаграрного ландшафту, які на сьогодні не беруться до уваги як у сільському, так і в лісовому господарстві України.

Екосистемні послуги сприяють створенню доходів і добробуту, а також запобіганню збитків, які завдають суспільству вагомих втрат. Усі види вигод, а також і витрат, пов'язаних із використанням екосистемних послуг, повинні так чи інакше враховуватися у процесах прийняття рішень. Оцінювання послуг екосистем допомагає визначити бенефіціарів та отримати дані щодо обсягів можливих виплат. Це допоможе отримати інформацію про належний рівень платежів за послуги екосистеми і визначити, чи варто їх застосовувати (Nijnik, 2020).

Досвід показує, що використання щодо екосистем та їхніх послуг таких означень як «незамінні», «безцінні» або ж «нематеріальні» блага виявилось для суспільства недостатнім з погляду припинення деградації екосистем. Розробники політики, різні землекористувачі та зацікавлені сторони повинні усвідомити, що послуги екосистем стають дедалі дефіцитнішими і що не вдасться керувати тим, що не має ціни (Viglizzo et al., 2012).

Щоб вирішувати актуальні проблеми сьогодення, дослідження повинні ставати проблемно-, а не інструментально-орієнтованими (Hahn, 2000). Постає питання, а до якої міри науковці готові стати вирішувачами проблем, а не лише технічними фахівцями – виконавцями поставлених завдань?

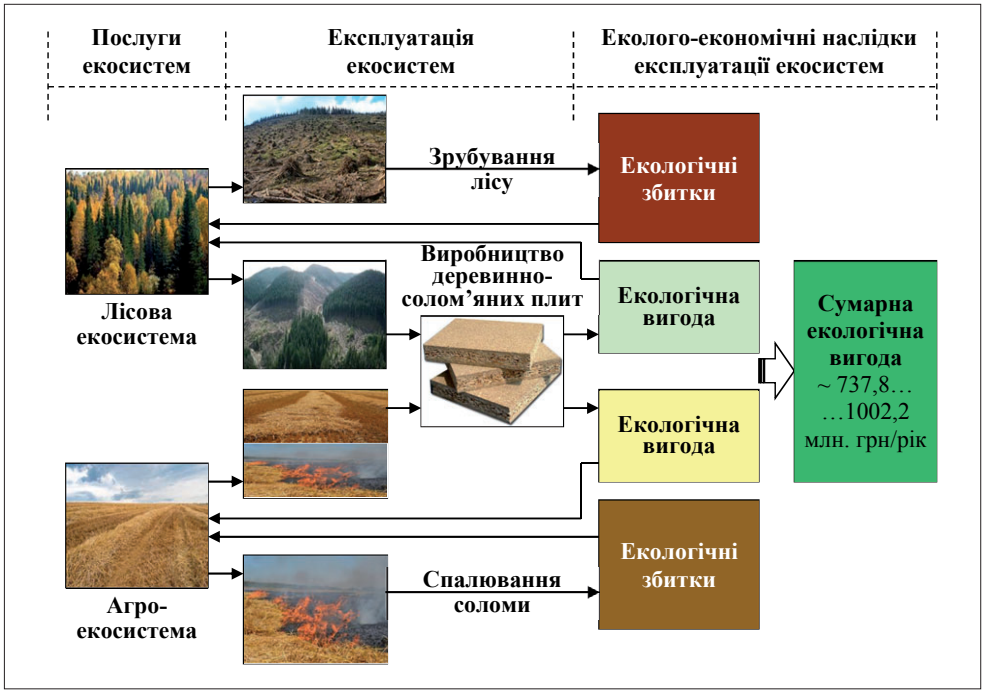


Рис. Еколого-економічні вигоди від впровадження технології виготовлення деревинно-солом'яних плит

Висновки. Незалежно від відповіді на поставлене вище запитання, науковці змушені аналізувати, чому і яким чином численні інтереси різних зацікавлених сторін і секторів у суспільстві можуть впливати на застосування методів і прийомів у політиці як щодо землекористування, так і стосовно менеджменту природних ресурсів та використовуваних технологій назагал.

Розрахована еколого-економічна вигода від впровадження технології виготовлення деревинносолом'яних плит на основі врахування вартості послуг лісових екосистем та вартості екологічних вигод від відмови заподіяння шкоди спалюванням соломи і післяжнивних решток, становить близько мільярда гривен на рік. Однак сьогодні послуги екосистем не беруться до уваги повною мірою в лісовому господарстві України, традиційно йдеться лише про функції лісів. У сільському господарстві термін «послуги агроекосистем» ще не знайшов використання навіть у наукових публікаціях, не кажучи вже про законодавчо-нормативну базу та практику обгрунтування господарських рішень.

Яким же чином досягти таких суттєвих змін у підходах до формування секторальної політики, щоб результати оцінювання послуг екосистем стали корисними, обов'язковими для формування політики сталого землекористування, прийняття рішень у сільському і лісовому господарстві? Цей виклик вимагає від дослідників значно більших зусиль, ніж висування гарних ідей та геніальних методів оцінювання, які, на жаль, не впливають вирішально на громадську думку та дії політиків.

У той же час потрібно визнати, що попит на послуги екосистем швидко зростатиме в міру збільшення населення та рівня життя у світовому вимірі. Тому необхідно чітко констатувати, що оцінка послуг екосистем – це інструмент для творення оптимальних сценаріїв землекористування на засадах сталого розвитку.

References

Baranchuk, V.M. (2006). Outcomes of the work of the Ministry for Industrial Policy for 2005. *World of Furniture and Wood, 1*, 6-11 (in Ukrainian).

Costanza, R., R. de Groot, Sutton, P.S., van der Ploeg, S., Anderson, I., Kubiszewski, S., & Farber, R.K. (2014). Changes in the global value of ecosystem services. *Global Environ. Chang, 26*, 152-158. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2014.04.002

Hahn, R.W. (2000). The impact of economics on environmental policy. *Journal of Environmental Economics and Management, 39*, 375-399. https://doi.org/10.1006/jeem.1999.1119

Haygarth, P.M., & Ritz, K. (2009). The future of soils and land use in the UK: soil systems for the provision of land-based ecosystem services. *Land Use Policy, 26,* 187-197. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2009.09.016

Holman, I.P., Brown, C., Janes, V., Sandars, D. (2017). Can we be certain about future land use change in Europe? A multi-scenario, integrated-assessment analysis. *Agricultural Systems, 151*, 126-135. https://doi.org/10.1016/j.agsy.2016.12.001

IUCN (2015) Forest Landscape Restoration. Retrieved September 25, 2016. Retrieved from https://www.iucn.org/theme/forests/our-work/forest-landscape-restoration

Klyus, S.V. (2012). Determination of energy potential of straw and plant waste during the period of independence of Ukraine. *Renewable Energy, 3*, 71-79. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/vien_2012_3_14 (in Ukrainian).

MEA (2005). *Ecosystems and Human Well-being: Multiscale Assessment, Millennium Ecosystem Assessment Series, 4*. Washington, DC: Island Press.

Medvedev, Y.S. (2003). Results of the furniture and woodworking industry. Prospects for the development of the board industry. *The world of furniture and wood, 1*, 3 (in Ukrainian).

Demidov O.A., Datsko L.V., Panasenko V.M., Bulygin S.Yu., & Tymchenko D.O. (2012). Methods of calculating losses from burning stubble and straw. Scientific and Practical Yearbook «Manual of Ukrainian farmers», 1б, 25-28. Retrieved from: https://fermer.ru/files/forum/2013/09/175867/izvlech_stranicy_izposobie_hleboroba.pdf (in Ukrainian).

Nijnik, M. (2020). Valuation of ecosystem services: a panacea or Pandora's box for decision-makers? In Workshop Proceedings *Development of scientific and methodical bases for ecosystem services valuation in Ukraine*, 49-50. Lviv, Ukraine: Ukrainian National Forestry University.

Otlev, I.A. (1989). *Intensification of chipboard production*. Moscow: Forest industry (in Russian).

Ring, I. (2008). Integrating local ecological services into intergovernmental fiscal transfers: the case of the ecological ICMS in Brazil. *Land Use Policy, 25*, 485-497. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2007.11.001

Rozora, I.F., & Saganyuk, M.P. (2004). Results of the work for 2003 and development prospects of the furniture and woodworking industry of Ukraine. *World of furniture and wood, 1,* 6-7 (in Ukrainian).

Rudneva, O.Y. (2013). Development of tools of environmental and economic management of industrial production. *Business Inform, 6,* 308-312. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/binf_2013_6_54 (in Ukrainian).

Sagal, S.Z. (2014). Analysis of the potential of the forest sector of Ukraine and identification of factors that inhibit its innovative development. Woodworking segment. Retrieved from http://www.fleg.org.ua (in Ukrainian).

Saganyuk, M.P. (2005). Results of the work of enterprises of woodworking and furniture industry of Ukraine for 2004. *World of furniture and wood, 1*, 5-6 (in Ukrainian).

Soloviy, I.P. (2016). *Evaluation of ecosystem services provided by forests of Ukraine and proposals for*

mechanisms of payment for ecosystem services. Kyiv: FLEG II. Retrieved from http://www.enpi-fleg.org/docs/evaluation-of-forest-ecosystem-services-provided-by-forests-of-ukraine-and-proposals-on-pes-mechanisms/ (in Ukrainian).

State Statistics Service of Ukraine (2019). Official site [Electronic resource]. Retrieved from www.ukrstat.gov.ua (in Ukrainian).

Tarariko, Y.O. (2005). *Formation of sustainable agroecosystems: Theory and practice*. Kyiv: Agrarian science (in Ukrainian).

The Public Report of the Head of the State Agency of Forest Resources of Ukraine for 2016 [Electronic resource]. State Agency of Forest Resources of Ukraine. Retrieved from http://dklg.kmu.gov.ua (in Ukrainian).

United Nations (2016). *Forest action statements and action plans*. September 25, 2016. Retrieved from http://www.rff.org.

Varenytsia, V.O. (2001). Results of work of furniture and woodworking industry. The State Committee on Industrial Policy of Ukraine for 2000. *World of Furniture and Wood, 1*, 5-12 (in Ukrainian).

Veklych, O.O. (2019). Parameterization of economic damage from deterioration / destruction of ecosystem services. *Economics of nature management and sustainable development, 5*, 58-64. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/epod_2019_5_12 (in Ukrainian).

Viglizzo, E.F., Paruelo, J.M., Laterra, P., & Jobbagy, E.G. (2012). Ecosystem service evaluation to support land-use policy. *Agriculture, Ecosystems and Environment, 154*, 78-84. Retrieved from http://bestp.agro.uba.ar/wp-content/uploads/2014/02/Vigilizzo_2012_Ecosystem-service-evaluation-to-support-land-use-policy.pdf

Zhovnir, N.M. (2012). Analysis of the normative requirements for the pollutants emission during the biomass combustion. *Industrial Heat Engineering, 1*, 77-86. Retrieved from http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/59058/10-Zhovmir.pdf?sequence=1 (in Ukrainian).

Планирование устойчивого землепользования на основании теории экосистемных услуг: пример обоснования технологического решения

И.П. Соловий[1], Р.О. Козак[2], Т.Я. Кулешнык[3]

Важность услуг экосистем для благосостояния человека во все большей степени признается в политике многих стран на местном, национальном и международном уровнях. В Украине эта концепция все еще не получила должного внимания, поэтому и не нашла практического применения. Вследствие все большего общественного давления, которое оказывает общественное мнение на государственные структуры и бизнес во всем мире, возрастают попытки осуществления экономической оценки активов экосистем, а политические структуры во все большей степени вынуждены включать их в инициативы в области планирования землепользования. Несмотря на то, что концепции экологизации экономики и перехода к устойчивому развитию во все большей степени усиливают свое влияние на политиков, землепользователи, различные незаинтересованные стороны, в частности ученые, вынуждены признать, что услуги экосистем, вероятно, будут в центре будущей политики по использованию земель.

Несмотря на некоторые ограничения и методологические проблемы оценки услуг экосистем, интеграция таких оценок в процессы принятия управленческих решений должна стать приоритетной задачей в сфере менеджмента природных ресурсов, в частности в области планирования землепользования. Роль лесного и аграрного секторов особенно важна в этом контексте, поскольку в Украине услуги экосистем не принимаются во внимание в лесном хозяйстве, а термин «услуги агроэкосистем» не употребляется ни в научных публикациях, ни тем более на практике. Оценки услуг экосистем необходимо проводить на основании системного подхода путем интеграции экологических, экономических и социокультурных оценок. Это позволит обеспечить понимание выгод, полученных от экосистем, и расходов, связанных с их использованием. Учет стоимости услуг экосистем в результате сохранения определенных типов растительности в ландшафте (напр., лесов) и выгод от отказа причинения вреда окружающей среде позволяет рассчитать эколого-экономические выгоды от внедрения новых технологий производства. В качестве примера в статье рассчитана эколого-экономическая выгода от внедрения технологии изготовления древесно-соломенных плит на основании учета стоимости услуг лесных экосистем и стоимости экологических выгод от отказа причинения вреда окружающей среде сжиганием соломы и остатков сбора урожая. Рассчитанная эколого-экономическая выгода от внедрения технологии из-

[1] *Соловий Игорь Павлович* – академик Лесной академии наук Украины, вице-президент ЛАН Украины, доктор экономических наук, профессор кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: 032-287-03-88, +38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5885-6264.

[2] *Козак Руслан Олегович* – доктор технических наук, доцент кафедры технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел .: 032-238-44-99. E-mail: kozak_ruslan@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1297-9810

[3] *Кулешник Тарас Яркович* – соискатель кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, Львов, 79057, Украина. E-mail: kuleshnyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3386-8634

готовления древесно-соломенных плит на основании учета стоимости услуг лесных экосистем и стоимости экологических выгод от отказа причинения вреда сжиганием соломы и послеуборочных остатков, составляет миллиард гривен в год.

Разработчики политики, различные землепользователи и заинтересованные стороны должны осознать, что услуги экосистем становятся все более дефицитными, и должны быть оценены, так как не удастся эффективно управлять тем, что не имеет цены. В то же время спрос на услуги экосистем будет быстро возрастать по мере увеличения численности населения и уровня жизни. Поэтому оценка услуг экосистем – это незаменимый инструмент для создания оптимальных сценариев землепользования на принципах устойчивого развития.

Ключевые слова: стоимость услуг экосистем; выгоды; древесно-соломенные плиты; земельная политика; лесное хозяйство; сельское хозяйство.

Sustainable Land Use Planning on the Basis of Ecosystem Services Theory: the Case with Technology Decision Substantiation

I. Soloviy[1], R. Kozak[2], T. Kuleshnyk[3]

The importance of ecosystem services for human well-being is increasingly recognized in the policies of many countries at the local, national and international levels. In Ukraine, this concept has not yet received due attention, and therefore has not found practical application.

Many modern agricultural, forestry and water management practices suppress vital ecosystem services, thereby limiting the ability of these sectors to feed the population, increase work productivity, preserve the environment and promote human well-being. Understanding the mature of these impacts is essential for developing land management strategies that will ensure food security, broad array of ecosystem services and successful adaptation to climate change.

As the concepts of greening the economy and transitioning to sustainable development increasingly extend their influence to global politicians, land users, stakeholders and scientific community they all are forced to recognize that ecosystem services are likely to be at the heart of future sustainable land use policy.

Despite some limitations and methodological problems in the evaluation of ecosystem services, the integration of such assessments into management decision-making processes should become a priority in the field of natural resource management, in particular in the field of land use planning. The role of the forest and agricultural sectors is particularly important in this context, as ecosystem services are not taken into account in forestry in Ukraine, and the term «agroecosystem services» has not become widespread in scientific publications or even not mentioned in practice. Evaluation of ecosystem services should be carried out on the basis of a systems approach by integrating environmental, economic and socio-cultural assessments. This will provide an understanding of the benefits derived from ecosystems and the costs associated with their use. Taking into account the cost of ecosystem services due to the preservation of certain types of vegetation in the landscape (eg forests) and the benefits of avoiding environmental damage makes it possible to uncover the environmental and economic benefits of the introduction of new production technologies. As a case study, we calculated the environmental and economic benefits of implementing technology for the production of wood-straw boards based on the cost of forest ecosystem services and the cost of environmental benefits from the refusal to harm the burning of straw and post-harvest residues.

Ecosystem services help generate income and well-being in broad sense and prevent loosing costs to society. All kinds of benefits (and costs) must be taken into account in one way or another in decision-making processes. Evaluation of ecosystem services helps to identify beneficiaries and obtain data on the recommended scale of possible payments for ecosystem services (PES). This helps to obtain information on the appropriate level of PES and to determine whether they should be applied or not in concrete case.

How to achieve such significant progress in the approaches to the sectoral policies formation, so that the results of ecosystem services evaluation became useful tool and mandatory requirement for the formation of sustainable land use policy, decision-making in agriculture and forestry? This challenge requires researchers to work harder for influencing on public opinion and politicians vision. To address current real-world problems studies must become much more problem-oriented rather than instrumental-oriented. Therefore researchers will have to analyze the interests of different stakeholders and sectors and politicians in society and in which way they can influence the application of their methods and techniques in policy to both land use planning and natural resource management in general planning.

Key words: ecosystem services value; benefits; wood-straw boards; land policy; forestry; agriculture.

[1] *Ihor Soloviy* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Vice-president of the Ukrainian Forestry Academy of Sciences, Doctor of Economic Sciences, Professor of the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-287-03-88, + 38-097-284-08-81. E-mail: soloviy@yahoo.co.uk ORCID: https://orcid.org/0000-0001-5885-6264.

[2] *Ruslan Kozak* – Doctor of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-44-99. E-mail: kozak_ruslan@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0003-1297-9810_

[3] *Taras Kuleshnyk* – PhD, the Department of Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel. + 38-067-777-87-47. E-mail: kuleshnyk@gmail.com ORCID: https://orcid.org/0000-0003-3386-8634

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412016
Article received 2019.11.14
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Norbert Weber
norbert.weber@tu-dresden.de
Pienner Str. 8, 01737 Tharandt, Germany

*UDC 630*97*

Visions, Missions and Strategies of selected International Forest Research Organizations

A. Koller[1], N. Weber[2]

This paper provides a comparison of current visions, missions and strategies of three international forest research organizations: European Forest Institute (EFI), Center for International Forest Research (CIFOR) and International Union of Forest Research Organizations (IUFRO). Against the background of theoretical conceptions of visions, missions and strategies, a qualitative tabular content analysis is applied. A special focus lies on the thematic work areas of the organizations and their connection to the Sustainable Development Goals (SDGs).

Visions and missions provide an important guidance for employees and other people in the organization, but also for communication to outsiders. Within strategies, Non-Profit Organizations can define their mission and vision as well as strategic goals. Recent missions and visions of EFI, CIFOR and IUFRO are analyzed with a textual analysis, while for their strategies a summarizing content analysis is used.

The comparison discloses differences between the three organizations with regard to their orientation towards societal impact and/or advancement of science. However, all of them strive for improving living conditions for people. CIFOR clearly focuses on the SDGs and covers all of them, while IUFRO and EFI do this only partially. Except for doublings, EFI and IUFRO together address 12 SDGs out of 17 SDGs. This finding is especially important in the light of the current cooperation between EFI and IUFRO. Both organizations signed a Memorandum of Understanding in 2019, where they claim to account for achieving the SDGs by strengthening the role of forest conservation and sustainable forest management.

Key words: *Research networks; international organizations; strategic planning; epistemic communities.*

Introduction. In a globalized and rapidly changing world, forests are facing numerous expectations and threats. Climate change, illegal trade of wood and invasive species as well as land use changes have an influence on forest areas and ecosystems. Population growth and urbanization place increasing demands on forests and the ecosystem services they are providing. For effectively addressing the challenges of global change, it is necessary to understand these challenges and to find solutions. That is why, in addition to national organizations, forest research networks and organizations are occurring on regional and global level. The International Organization of Forest Research Organizations (IUFRO) was founded in 1892 already, while both the Center for International Forestry Research (CIFOR) and the European Forest Institute (EFI) were established in 1993.

Two of these organizations, i.e. EFI and CIFOR, recently announced their collaboration to support sustainable development and the United Nations Sustainable Development Goals (SDGs). On May 24 2019, CIFOR and EFI signed a Memorandum

[1] *Alexandra Koller* – Graduate Student in the Master Programme Forest Sciences at Technische Universität Dresden, Pienner Str. 8, 01737 Tharandt, Germany, Tel. +49-351-463-31811, E-mail: alexandra.koller@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7072-4619.

[2] *Norbert Weber* – Prof. Dr., Professorship of Forest Policy and Forest Resource Economics, Technische Universität Dresden, Pienner Str. 8, 01737 Tharandt, Germany, Tel. +49-351-463-31828, E-mail: norbert.weber@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7179-9364.

of Understanding explicitly listing the following areas of priority collaboration (European Forest Institute, 2019b): a) The role of forest conservation and sustainable forest management for achieving the SDGs; b) Climate smart forestry and bioeconomy for mitigation and adaptation to climate change and their contribution to the Paris Agreement targets; c) Global forest governance.

The sustainable development goals are an important tool to face the problems of globalization and global change in the social, economic and ecological dimension. They were introduced by the United Nations in 2015 in the 2030 Agenda for Sustainable Development (United Nations General Assembly, 2015).

The objective of this paper is to contrast and compare current missions, visions and strategies of the selected forest research organizations. Both a summarizing and an inductive content analysis after Mayring & Fenzl (2019) are applied to provide an overview as well as to develop a tabular analytical scheme.

Data and Methods. *Selected organizations*. The *European Forest Institute* is an international organization with a pan-European focus, uniting 120 Associate and Affiliate Member organizations in 38 countries. Its headquarters are located in Joensuu, Finland, with regional offices in Barcelona, Bordeaux, Bonn and Brussels. Besides, EFI has project offices in Malaysia and China. EFI has its work field in conducting research and providing policy support based on forest-related research (European Forest Institute, 2019a). Advocacy activities have been intensified since 2010. A specialty of EFI is the high-level forum on forests called Think Forest where policy makers and forest scientists convene in a science-policy dialogue.

The *Center for International Forestry Research* is part of the Consultative Group on International Agricultural Research (CGIAR), a global research partnership that aims to reduce poverty, enhance food and nutrition security, as well as to improve natural resources (Consultative Group on international Agricultural Research, 2019). CGIAR, constituting the roof organization of CIFOR, laid great emphasis on developing a «future vision, goal, mission and strategy» (CGIAR, 2000). As a non-profit, scientific institution, CIFOR leads the CGIAR Research Program on Forest, Trees and Agroforestry. In addition to the headquarters of CIFOR in Bogor, Indonesia, offices are located in Nairobi, Yaounde, Lima and Bonn. CIFOR works in more than 50 countries mostly in the southern hemisphere, e.g. Brazil, the Democratic Republic of Congo and Mozambique, parts of Asia and the Russian Federation. CIFOR states to conduct innovative research, to develop their partners´ capacity and to engage in a dialogue with all stakeholders (Center for international Forestry Research, 2019).

The *International Union of Forest Research Organizations* is a member of the International Science Council (ISC), the latter constituting a non-profit, non-governmental organization that unites international, national and regional scientific unions and associations. Its members belong to the natural and the social sciences (International Science Council, 2019a). The Council´s activities focus on three principal areas of work: (1) science-for-policy to communicate science that is relevant to policy, (2) policy-for-science to enable science to contribute in the international public domain, and (3) scientific freedom and responsibility (International Science Council, 2019b). IUFRO, the forest branch of ISC, counts almost 700 member organizations in over 125 countries and unites about 15.000 scientists. The headquarters are located in Vienna, Austria. It is the global leading network, both for forest science cooperation and research in forest-focused and forest-related topics. As a non-profit and non-governmental international network of scientists, it «enhances the understanding of the ecological, economic and social aspects of forests and trees» (www.iufro.org, accessed April 4, 2020; International Union of Forest Research Organizations, 2019).

Methods. In this paper, current strategies are examined that are displayed at the official websites of IUFRO, CIFOR and EFI. The regarded visions and missions in all documents are introduced by the caption «Vision» or «Mission».

For the strategies of each organization, a summarizing content analysis is used. In this qualitative content analysis method after Mayring & Fenzl (2019), the content of a document is paraphrased and generalized. Furthermore, an inductive content analysis is used. For this method categories based on the document are set up. In a second step the content of the document can be assigned to these deductive developed categories. A distinction is made between two categories, i.e. «societal impact – oriented» and «science – centered», where the visions and missions are assigned to. For categorization of the work areas of the strategies, the SDGs from «The 2030 Agenda for sustainable Development» of the United Nations General Assembly (2015) are used.

Current state of research on strategies, visions and missions. In this chapter, the authors give a definition of vision and mission, since the terms and their purpose are often unclear (Baetz & Bart, 1996). For simplification the terms «vision» / «vision statement», as well as «mission» / «mission statement» are equated.

According to Slyusarenko (2015), the concept of «vision» can be defined «as a strategic vision of itself by any institution due to its capacity to most effectively and fully realize its own mission (purpose, generic calling) under certain institutional slogan (motto – short formulation of the main guiding idea, action program)». As stated by Collins & Porras (1996) a vision should provide guidance on: a) The core ideologies: «(...) what we stand for and why we exist». They contain the core values and the core purpose of the organization; b) The envisioned future: «(...) what we aspire to become, to achieve, to create».

This is a bold goal that should be reached within 10-30 years and a vivid description of what it will be like to achieve the goal.

While the core ideology remains unchanged, the envisioned future requires adaption and progress to

be achieved. A core value is an intrinsic value for the people that work in an organization by which they can identify themselves and that is important for them. The core value is not formed by markets or other environmental factors but only by the inner beliefs of the company's leaders. The core purpose should guide and inspire an organization by showing the deeper and fundamental purpose of this organization (Collins & Porras, 1996). A vision should be inspirational and easy to remember, so it should be no longer than twelve words (Raynor, 1998). In a similar vein, Papulova (2014) recommends vision statements in strategic managements to be easy to understand, easy to remember, positive, motivational, inspiring, attractive, challenging and future-oriented. For developing a vision, several ways are possible: (i) discovering by intuition, (ii) team approach, (iii) rational approach, (iv) adapting the vision of other subjects (Papulova, 2014).

Specifically for Non-Profit-Organizations (NPOs), a vision is «an organizational aim that guides strategies, policies and tasks; it is also a key source of cultural formation and sustainable management.» (Liao & Huang, 2016: 21). There are two dimensions of vision, i.e. leadership philosophy and specific impression. Moreover, an organization's vision points to the beliefs and values, both of its leader(s) and the enterprise (ibid.). In contradiction to enterprises, for NPOs only few organizational strategies have been developed. One of these focuses on three key issues: (i) the public value to be created, (ii) the sources of legitimacy and support for the organization, and (iii) the operational capacity for delivering value (Liao & Huang, 2016).

According to Pearce (1982) a *mission* statement has three components: a) The company's basic product or service; b) The primary market; c) The technology used for the production and delivery of the product or service.

In the case of NPOs there is no market in the traditional sense, but still an addressee that shall receive the product or service provided. Unlike the vision, the mission is shaped by inside and outside claimants. The internal input comes from f.e. the executive officers as well as the employees. The external input is given by customers, competitors, governments, general public and others (Pearce, 1982). Raynor (1998) puts it even simpler: The mission of an organization should define its core competencies and values.

There is an overlapping between the definition of «mission» from Raynor (1998) and Pearce (1982): both agree that a company's mission includes its core competencies, the basic product or service it delivers for the primary market. But while Raynor (1998) assigns a company's core values to the mission, Collins & Porras (1996) assign it to the vision. This example shows that there are many views what a vision and mission should contain. The authors agree with the opinion of Raynor (1998) that different definitions of vision and mission are equally useful in their contexts.

In their meta-analysis, covering 20 years of research on mission statements, Desmit et al. (2011) summarize frequently cited benefits. Mission statements are «providing a sense of the organizations's direction and purpose», «focusing the allocation of organizational resources», «communicating effectively with important internal and external stakeholders», and «describing the values of the organization that will guide and inspire organizational members».

Obviously, there are strong linkages between visions and missions. Normally, missions are created from visions, but that is not always the case. While the vision of an organization should describe how it adds value to society, the mission tells what it will do for external clients and society that these goals will be achieved (Moore et al., 2011). Hence, a mission is easier recognized than a vision. «But when the vision of an organization is recognized, it will help clarify its mission and its planning efforts. Without vision, there cannot be a mission» (Taiwo et al., 2016). Other authors claim that the main difference between these two concepts are the temporality and the order of application. Notwithstanding, to ensure the success and the survival of an organization, they should «contribute to positive societal-level impact» (Moore et al., 2011: 22) and be consistent with each other (López-Morales & Ortega-Ridauro, 2016).

In a company's *strategy* specific goals are defined that drive actions to achieve the vision (Raynor, 1998). Based on the vision, a strategy has a set time frame, where the goals should be achieved. Within a strategy, a company can define its mission and vision as well as strategic goals. Strategies are necessary for Non-Profit Organizations for several reasons: increasing complexity, heterogenic stakeholders, discontinuity, technological change, pressure in competition and privatization, demand of constituents, increasing pressure for interaction, cooperation, professionalization (Schneider et al., 2007).

With regard to the linkages between visions, missions and strategies, Papulova (2014) puts it simply as following: «Vision and mission should explain why we chose the specific strategy«.

Vision, mission, strategy and action are the four components of strategic planning (Taiwo et al., 2016). Obviously, these three catchwords found entry into the documents of the selected organizations in recent years only. For instance, in an article where leaders of the three mentioned organizations presented their views and plans, the words »vision» and «strategy» are mentioned only once while «mission» does not occur at all (cf. Burley et al., 2001).

Results. *Summary of the Strategy of EFI*. The strategy of EFI (European Forest Institute, 2016) comprises six pages, a cover sheet and a decorative reverse side. The headings are as following: Connecting knowledge to action; Global context; Thematic framework; Strategic goals; Strategic activities.

Vision and mission of EFI are located on the first page «Connecting knowledge to action» of the document. The organization is introduced with its *Main Themes*, i.e. Bioeconomy, Resilience and Governance, and its *Strategic Goals*.

The *Global Context* highlights the importance of forests for a circular, biobased society. The circular biobased economy is necessary for a sustainable future that is threatened by factors of global change caused by fossil-based economy.

The *Thematic Framework* explains the need of research in the fields of Bioeconomy, Resilience and Governance. According to EFI, the European *bioeconomy* relates to other factors like the international policy framework and the dynamics of global biomass demand by globalization. Interdisciplinary, cross-sectoral research is needed to identify markets, products, policies and forest resources. The global change and urbanization have a big impact on the socio-ecological *resilience* of Europe. It is necessary to connect forest science with other land-use disciplines and urban studies to maintain intact, sustainable used forests and landscapes in an urbanized global connected Europe. Another threat to the European forests is the increasing conflict around land resources. EFI also supports forest *governance* in a changing environment. A new programme called NewGo! was deliberately established to provide «a platform to collaborate with other global international organisations like CIFOR and ICRAF and networks like IUFRO» (European Forest Institute, 2019c).

The thematic framework is meant to help EFI to achieve its strategic goals. Under 'Strategic Goals' each goal and its relevance to build a circular bio-based economy is explained in detail. EFI wants to build a European forest research and innovation area, to inform policies, to address societal challenges and opportunities and to raise the awareness in society of the importance of forests (Fig. 1).

Under 'Strategic Activities', advocacy, research and foresight, knowledge networking, capacity building and building bridges are listed. These activities should contribute to the achievement of the strategic goals.

Figure 1: Strategic goals and thematic framework of the EFI Strategy 2025
Source: https://efi.int/sites/default/files/files/about/efi_strategy2025_14112016.pdf

Summary of the Strategy of CIFOR. The strategy of CIFOR (Center for International Forestry Research, 2016) includes 40 pages in total. The first six pages contain a cover page, a contents page, list of figures, tables and boxes as well as a list of abbreviations. The chapter headlines of the strategy are: Introduction; CIFOR's aspirations; How we work; Thematic work areas; CIFOR's outcomes and impacts; Implementation and geographic focus.

In the *introduction* CIFOR explains the background of the strategy. In view of the Sustainable Development Goals (SDGs) and the Paris Agreement from 2015, CIFOR had to revise and adapt its previous strategy that would have ended 2018. The updated strategy includes the integrated landscape approach and shows a strong connection to the SDGs.

CIFOR specifies the vision, mission and values that the organization relies on. The values are concretized as following: Commitment to impact; innovation and critical thinking: integrity and professionalism; respect and collaboration.

How we work highlights CIFOR´s principles and thematic work areas, CIFOR´s theory of change, and CIFOR´s three pillars: (1) Research for impact, (2) Capacity development, (3) Outreach and engagement. The thematic work areas are connected to CIFOR´s theory of change, their pillars and related SDGs. According to its theory of change, CIFOR wants to contribute to reduced poverty, improved food and nutrition security, and improved natural resource systems and ecosystem services through demand-driven research that leads to knowledge-based policy and practices.

To use its resources most efficiently, CIFOR focuses on six *thematic work areas* that the organization believes have the greatest impact potential (Fig. 2). Each of the thematic work areas has linked sub-themes where the research goals are specified. The thematic work fields relate to different SDGs so that a total of 16 SDGs can be covered. Adding the leading role of CIFOR in the Global Landscape Forum, the SDG 17: Partnership on all goals is addressed. Consequently, CIFOR includes all 17 SGDs into their strategy.

The theme *Forests and human well-being* focuses on improvement of people's livelihoods and wellbeing through forest use and conservation. The natural resources of forests shall help reducing poverty in developing countries. The research aims to inform and influence forest policy on the regional and global level.

Sustainable landscapes and food investigate the role of forest foods for improved nutrition and food security as well as the interaction of forest ecosystem services and agriculture. CIFOR aims to study and describe the importance of forest products, forest attributes and tree-based agricultural systems for healthy and diverse diets.

In *Equal opportunities, gender, justice and tenure* CIFOR seeks to integrate all genders in their research and action initiatives. The organization wants to understand the factors that inhibit rights transfer to indigenous people and other minorities and to evaluate the effects of this devolution on forests, livelihoods and local governance, including women's participation.

The topic of *Climate change, energy and low-carbon development* is the two-sided relationship of

forests and agricultural land with carbon: Forestry and agriculture can be sinks but also sources of carbon dioxide. Further research is needed to understand the interactions between forests, other landscapes and climate, to reduce the impacts of climate change and to protect local livelihood as well as ecosystem services.

Figure 2: SDGs addressed by CIFOR Strategy
Source: http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/CIFORStrategySummary2016.pdf

Value chains, finance and investments faces the challenges of economic growth. Social inclusion and sustainability must be maintained by more sustainable value chains, and by support of small- and medium-scale enterprises. So they can compete in a global industry, while aiming at high environmental and social standards. CIFOR wants to support sustainable public, private and public–private governance arrangements along with inclusive business models.

In the field of *Forest management and restoration,* CIFOR mainly conducts research on carbon-rich wetlands, mangroves and peat lands, regarding their role in climate mitigation, nutrient cycling and other ecosystem services. For improved forest management and restoration, CIFOR investigates in diversified forest management and forest landscape restoration.

CIFOR´s outcomes and impacts lists measurable key impacts that should result within the 10 years of the strategy. The table links indicators with associated work areas and SDGs.

Implementation and geographic focus describes how CIFOR wants to achieve the strategic outcomes in which ecological regions. Each thematic work area has a research team. Additionally, a seventh research team carries out the monitoring, evaluation, assessment and coordination of approaches and data management and a further team is established for outreach and engagement.

Summary of the Strategy of IUFRO. The strategy of IUFRO (International Union of Forest Research Organizations, 2015) comprises 28 pages in total, of these 17 pages of text. Pictures related to forests are embedded in the text as well as on the front cover and on the last two pages.

On the first pages, the readers are provided with a foreword, a table of contents and the executive summary in four different languages. The main content is structured as following: Vision/Mission/Core Values; Overview; Five Themes; Institutional Goals.

The *Overview* presents the background behind the five chosen themes. IUFRO wants to provide a knowledge base to face the main challenges forests are experiencing and thereby promote sustainable development and human well-being. Each theme relates to the threats affecting forests. The themes are briefly explained in the overview.

Each *Theme* features a problem statement, where a short introduction to the topic is given, followed by a justification why research is necessary, and emphasis areas, where concerted research targets and areas are proposed.

The Topic of Theme 1: *Forests for People* is the changing relationship between people and forests and the emerging consequences for social values of forests, people´s livelihood and quality of life depending on forests. It is important to understand the drivers of change to develop a more sustainable relationship between people and forests, to improve management of forests and forest-related landscapes, to enhance forest ecosystem services and to inform policy makers for policy decisions that lead to a fair delivery of forest benefits for all people. The four emphasis areas are: (1) Forests for livelihood, (2) forests for quality of live, (3) Social values of forests and (4) forest governance.

Theme 2: *Forests and Climate change* deals with mitigation and adaptation options of forests mitigation and adaption options of forests to climate change. Mitigation and adaption strategies are an important research field to ensure forest ecosystems and its services. The emphasis areas are (1) Impacts of climate change on forest ecosystems and forest-dependent people, (2) Feedbacks between climate, land cover, forest disturbance and provision of energy and water, (3) Biodiversity and invasive species, (4) Mitigation and adaption strategies.

Theme 3: *Forests and forest-based products for a greener future* circle around woody biomass and ecosystem services as important products of forests that will play a key role in the emerging bio-based economy. The products and services of forests and their potential are still undervalued and not enough understood. The three emphasis areas (1) New forest products and services, (2) Use of forest-based products and services and (3) Valuing forests and their ecosystem services shall help in understanding the role of forest products and services for the future well-being of the world´s population.

In Theme 4: *Biodiversity, Ecosystem Services and Biological Invasions* the focus lies on the biodiversity associated with forests and its threads from globalization, climate change and invasive species. The effects of forest and biodiversity loss are poorly understood and demand further research in this matter. Another important research area is the development of conservation strategies for forest biodiversity and associated forest ecosystem services. The emphasis areas of this theme are: (1) Trends, causes and impacts of biodiversity loss at all levels, (2) Landscape-level strategies for biodiversity conservation and sustainable use, (3) Ecosystem services, (4) Contribution of restoration to the conservation on and sustainable use of biodiversity and ecosystem services and (5) Biological invasions threatening biodiversity and ecosystem services of forests.

The areas of Theme 5: *Forest, soil and water interactions* are the ecosystem services of the forest providing fresh water, water conservation, water regulation and soil protection. The integrity of these ecosystem services is put at risk by deforestation, forest degradation, land-use changes and climate change. It is necessary to find multi-sectoral and integrated landscape approaches to stop the loss of these ecosystem services and to meet the growing demands. For a better understanding and protection of the resources more research on the interactions between forest, water, soil and climate is needed. Four different emphasis areas are listed: (1) Macro-level land management and impacts on the water cycle, (2) Climate change adaptation and mitigation, and interactions with water yield and quality, nutrients and soil resources, (3) Forest ecosystems and water conservation and (4) Forest ecosystems and disaster prevention and reduction.

The topic *Institutional Goals* describes areas in which IUFRO wants to perform better or to be more active. To reach these goals IUFRO is going to diversify its funding base by creating a fundraising culture within IUFRO´s decision-making bodies, develop a fundraising strategy and to strengthen its institutional capacity for donor intelligence and fundraising. Three different institutional goals are defined. Each of them has three different objectives with specific actions that shall lead to fulfillment of the respective goal. The goals are: Goal 1 – Research excellence: Strive for quality, relevance and synergies; Goal 2 – Network Cooperation: Increase communication, visibility and outreach; Goal 3 – Policy impact: Provide analysis, insights and options.

Comparison of Strategies, Visions and Missions of the Selected Organizations. Comparing the *content* of the strategies each of the organizations states their visions, missions and thematic work areas in the strategy document. IUFRO and EFI display strategic/institutional goals, while CIFOR lacks them. Core values are disclosed by CIFOR and IUFRO. Outstanding about the strategy of CIFOR is that it includes implementation plans and key measurements for the success of their goals in the strategy. EFI provides an implementation plan, too, but in an extra document.

In the *tabular analysis* (Tab. 1, 2, 3) it is recognizable that EFI has the shortest vision, mission and strategy. Due to the length of the strategies of CIFOR, 40 pages, and IUFRO, 28 pages, both organizations have an executive summary. CIFOR´s executive summary is an extra document with 12 pages available in English, French, Indonesian and Spanish while IUFRO´s executive summary counts one page. The available languages are English, French, German and Spanish. The strategy covering the shortest time period is the strategy of IUFRO with four years. The strategies of CIFOR and EFI were designed for ten years, both the period 2016-2025. While IUFRO states its vision and mission on the official website and strategy, CIFOR´s and EFI´s vision and mission are only included in the organization´s strategies.

Obviously, there is an overlapping of the *thematic areas* of CIFOR and IUFRO. Both aim at «Forests and climate change» and on the «Interactions between forests and humans». A linkage between EFI and IUFRO can be seen in the topic «Bioeconomy». EFI and CIFOR have no overlapping thematic work areas. The results of the inductive analysis on the categorization of the work fields from EFI and IUFRO into different SDG goals can be found in table 4 (EFI's work areas and associated SDGs), and table 5 (IUFRO's work areas and associated SDGs).

Some goals like «SDG 4: Quality education» or goal «SDG 5: Gender equality» are not included in both organizations' working areas. EFI's working areas can be assigned to seven and IUFO's working areas to nine SDGs.

SDGs 8, 12, 13 and 15 are addressed both by EFI and IUFRO. In the thematic work areas of IUFRO the SDGs 13 and 15 can be assigned each to two work areas. Except for the doublings within and between the organizations work areas EFI and IUFRO together can cover twelve out of 17 SDGs.

Table 1

Comparison of the strategy of EFI, CIFOR and IUFRO

Examined feature	EFI	CIFOR	IUFRO
Number of pages	8	40	28
Available languages	English	English	English
Short/Executive summary?	No	Yes	Yes, in the first pages of strategy
Available languages	–	English, French, Indonesian, Spanish	English, French, German, Spanish
Number of pages	–	12	1
Implementation Plan?	Yes	Yes	No
Period	2016-2025	2016-2025	2015-2019
Thematic work areas	(1) Resilience; (2) Bioeconomy; (3) Governance.	(1) Forests and human well-being; (2) Sustainable landscapes and food; (3) Equal opportunities, gender, justice and tenure; (4) Climate change, energy and low-carbon development; (5) Value chains, finance and investments; (6) Forest management and restoration.	(1) Forests for People; (2) Forests and Climate Change; (3) Forests and Forest-based Products for a Greener Future; (4) Biodiversity, Ecosystem Services and Biological Invasions; (5) Forest, Soil and Water Interactions.

Table 2

Comparison of the vision of EFI, CIFOR and IUFRO

Examined feature	EFI	CIFOR	IUFRO
Number of words	9	17	17
Wording	A world where forests significantly contribute to sustainable wellbeing	CIFOR envisions a more equitable world where forestry and landscapes enhance the environment and wellbeing for all	The leading global network for forest-related research that serves the needs of all forest researchers and decision-makers
Found on website?	Yes, but other wording	No	Yes
Found in strategy?	Yes	Yes	Yes

Table 3

Comparison of the mission of EFI, CIFOR and IUFRO

Examined feature	EFI	CIFOR	IUFRO
Number of words	4	33	25
Wording	Connecting knowledge to action	CIFOR advances human well-being, equity and environmental integrity by conducting innovative research, developing partners' capacity and actively engaging in dialogue with all stakeholders to inform policies and practices that affect forests and people	IUFRO advances research excellence and knowledge sharing and fosters the development of science-based solutions to forest-related challenges for the benefit of forests and people worldwide
Found on website?	No	No	Yes
Found in strategy?	Yes	Yes	Yes

Table 4

EFIs work areas and associated SDGs

Work area	Associated SDGs
Bioeconomy	SDG 8: Decent work and economic growth SDG 12: Responsible consumption and production SDG 13: Climate action
Resilience	SDG 9: Industry, innovation and infrastructure SDG 11: Sustainable cities and communities SDG 15: Life on land
Governance	SDG 16: Peace, justice and strong institutions

Table 5

IUFROs work areas and associated SDGs

Work area	Associated SDGs
Forests for people	SDG 1: No poverty SDG 2: Zero hunger SDG 3: Good health and well being
Forests and climate change	SDG 13: Climate action
Forests and forest-based products for a greener future	SDG 8: Decent work and economic growth SDG 12: Responsible consumption and production
Biodiversity, Ecosystem Services and Biological Invasions	SDG 14: Life below water SDG 15: Life on land
Forest, soil and water interactions	SDG 6: Clean water and sanitation SDG 13: Climate action SDG 15: Life on land

Regarding the *visions* of the forest research organizations two divisions are noticeable. While CIFOR and EFI focus on forests contributing to a well-being for all, IUFRO primarily wants to serve the needs of researchers and politicians. Consequently, the addressees of the visions are different. While EFI and CIFOR are focusing on the whole humanity with phrases like «a world» or «for all», IUFRO speaks specifically to «all forest researchers and decision-makers». Regarding the inductive categories 'societal impact – oriented' and 'science – centered' IUFROs vision can be classified as belonging to the latter category while the visions of the other two organizations are primarily societal impact – oriented.

In its *mission***,** IUFRO changes the addressees and wants to achieve benefits for people. Still IUFRO has a more research – focused approach: In this mission statement, three words out of 25 have research-related meaning, while CIFOR dedicates one word out of 33 to research. In IUFRO´s mission human wellbeing is also an aim of their activities, but mentioned on last position, after the benefits for forests. Therefore, IUFROs mission is classified as science-centered. In EFI´s mission statement, research plays a superior role with one out of four words. But in this vision drawing conclusions of research for policy is seen as important, too. EFIs mission can be ranged as science-centered, too. Regarding CIFOR's mission, at least with regard to the wording, human wellbeing is seen more important than conducting research. The activities are mainly focusing on the human dimension, i.e. developing capacities of CIFOR's partners and engaging in a dialoge with stakeholders about topics that affect as well forests as people. The mission of CIFOR is clearly societal impact – centered.

In conclusion, IUFRO displays a vision that is different from the other two organizations. However, its thematic work fields overlap with CIFOR and EFI, while EFI´s and CIFOR´s working areas do not overlap despite a similar vision. With regard to the mission, the situation is different. In each of the missions, science related activities are mentioned. Benefits for society are part of the missions of CIFOR and IUFRO, but not explicitly mentioned in EFI´s mission. Out of the organizations, CIFOR has the most societal – oriented mission.

Discussion. *Discussion of Methods*. Since in our opinion this paper is the first one comparing visions, missions and strategies of forest research organizations, own approaches had to be developed. Some authors already conducted research on mission and/or vision statements of organizations. Most of these studies aim at enterprises (e.g. Papulova, 2014, López-Morales & Ortega-Ridaura, 2016, Taiwo et al., 2016). In their meta-analysis, Desmit et al. (2011) take a closer look at 20 years of research about the value of mission statements for organizations' performance. Others scholars are focusing on institutions of education. For example, 81 private and public schools were compared regarding their vision or missions with a content analysis (Boerema, 2006). In a similar vein, Slyusarenko (2015) compared visions of world-class universities with their missions.

In a study with a setting more related to forests, Campagna & Fernandez (2007) analyzed vision and mission statements of 24 environmental organizations mostly working in the field of wildlife and natural habitats. The authors therefore conducted a textual analysis against a framework of *ethos*, *logos* and *pathos* as three distinct value judgements on nature.

However, the goal of the mentioned study is different than in the present paper. Campagna & Fernandez (2007) performed a quantitative analysis on how the organizations portray nature. Moreover, no strategies are included in the considerations. In the present

paper, an analysis focused on qualitative aspects is conducted. Missions and visions are analyzed with a textual analysis regarding the addressees, but for the analysis of the strategies a framework was not enough. The authors therefore select a tabular analysis and a summarizing content analysis as well as a deductive content analysis after Mayring & Fenzl (2019). The summarizing and deductive content analysis are techniques of the qualitative content analysis according to Mayring (2015). For comparison with other surveys it should be noted that not all of the eight steps of the full qualitative content analysis are performed in this paper as only the analysis techniques of the qualitative content analysis after Mayring (2015) have been applied.

Discussion of Results. Thematic Work Areas and Sustainable Development Goals. As shown in the results, CIFOR clearly focuses on the SDGs, while IUFRO and EFI do this only partially. CIFOR covers all SDGs due to the deliberate goal of its strategy to integrate them into their research. The purpose behind this could lie in CIFORs working radius. CIFOR works in the southern hemisphere, while IUFRO operates worldwide and EFI more in the pan-European area. However, many of the SDGs are not achieved yet in the global south. For example, in least developed and landlocked developing countries at least one quarter of workers live in extreme poverty, despite having a job. Two thirds of undernourished people worldwide life in sub-Saharan Africa and southern Asia (United Nations, 2019). Many countries of this region are part of the working radius of CIFOR (Center for International Forestry Research, 2019). Therefore it is a top priority for CIFOR to work towards achieving the SDGs with the help of research on forests, trees and agroforestry as well as capacity building and engaging in a dialogue with all stakeholders.

Except for the doublings, EFI and IUFRO together address twelve SDGs out of 17 SDGs. This is especially important considering the current development between EFI and IUFRO. As already mentioned, both organizations signed a Memorandum of Understanding, where they claim to account for achieving the SDGs by strengthening the role of forest conservation and sustainable forest management (European Forest Institute, 2019b). This seems to be a promising step, as this cooperation covers twelve SDGs assigned to the work areas of both organizations and an additional SDG, «SDG 17: Partnership for the goals». This makes a total of thirteen included SDGs. Besides, IUFRO must develop a new strategy with actualized fields of work because the past strategy ran out in 2019. The new strategy might provide a chance to incorporate more SDGs into the work of IUFRO.

Vision and Mission. First, it must be emphasized that each of the forestry research organizations has a vision and mission stated in their strategy, at least partly displayed on their websites. Some other international environmental research organizations, like e.g. the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES), lack a vision and mission. According to Bridgewater et al. (2019) «[t]here is a need for a more explicit and formal IPBES vision and mission that is linked to an overall strategic framework, (...). The lack of a unified vision and mission results in different views and expectations among the various experts, members, partners and other stakeholders taking part in the Platform regarding what IPBES is, what it is trying to achieve and where it should focus.» This statement illustrates that vision and mission are an important guidance for employees and other people in the organization, but also for communication to outsiders. This circumstance is also acknowledged by other authors like Baetz & Bart (1996) or Collins & Porras (1996).

The vision and mission of CIFOR are societal impact – oriented. This could be due to the same reason as CIFOR works towards all SDGs. Their work field lies in the southern hemisphere, therefore it is a top priority to secure the well-being of people before other activities can be carried out successfully.

EFI's vision is societal impact – oriented but the mission statement is science-centered. The organization mostly works in the pan-European region, consisting of more or less industrialized countries. It is a common assumption that the wellbeing of people in industrialized countries is higher than in developing countries. According to the Cambridge advanced learner´s dictionary «wellbeing» is defined as «the state of feeling healthy and happy» (Mcintosh, 2013). In neither of the visions and missions of the organizations, the term «wellbeing» is defined. For easier comparison, the following discussion is based on wellbeing as state of health, because in the SDGs wellbeing is assigned to SDG 3 that also includes human health. As showed in the examples, the wellbeing in the European region is higher than in development countries. This could be a possible explanation for the science-centered mission of EFI.

Despite working worldwide, IUFROs vision and mission are science-centered as well. Regarding the communication to outsiders, with its vision and mission IUFRO at first sight seems to focus on research for researchers and politicians only. However, a closer look at the strategy of IUFRO makes clear that one of the five research areas is directly related to human wellbeing: «Forests for People» with two out of four emphasis areas i.e. (1) Forests for livelihood and (2) Forests for quality of live. Other emphasis areas from the remaining four topics are indirectly inked to human wellbeing, for example impacts of climate change on forest ecosystems and forest-dependent people; use of forest-based products and services; ecosystem services; or forest ecosystems and water conservation. It remains to be seen if IUFRO incorporates the societal impact-centered view explicitly into their new vision and mission in the updated strategy for 2020.

For future research, it would be fruitful to assess (i) how the visions, missions and strategies have been modified and adapted to changing framework conditions along time; (ii) how they become visible in the manifold outputs of the organizations, e.g.

publications, conferences and think tanks; and (iii) which kind of attention they receive from constituents, internal and external stakeholders, and how they are evaluated by these groups.

References

Baetz M.C., & Bart C.K. (1996). Developing mission statements which work. *Long Range Planning*, *29* (4), 526-533. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0024630196000441

Boerema, A.J. (2006). An Analysis of Private School Mission Statements. *Peabody Journal of Education*, *81* (1), 180-202. Retrieved from https://eric.ed.gov/?id=EJ733819

Bridgewater, P., Rosales, M., Beard D., Chaudharki K.P., Van Jaarsveld, A.S., Jenderedijan, K., ... Mulongoy, K.J. (2019). Review of the first work programme of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services (IPBES) Review report. Retrieved from https://ipbes.net/system/tdf/ipbes-7-inf-18_review.pdf?file=1&type=node&id=29859

Burley, J., Seppälä, R., El-Lakany, H., Sayer, J., & Krott, M. (2001). Voicing interests and concerns: challenges for forest research. *Forest Policy and Economics*, *2*, 79-88. Retrieved from https://pubag.nal.usda.gov/catalog/3059299

Campagna, C., & Fernandez, T. (2007). A Comparative Analysis of the Vision and Mission Statements of International Environmental Organisations. *Environmental Values*, *16* (3), 369-398. https://doi.org/10.3197/096327107X228409

Center for International Forestry Research (2016). *CIFOR Strategy 2016-2025. Stepping up to the new climate and development agenda*. Bogor, Indonesia. Retrieved from http://www.cifor.org/publications/pdf_files/Books/CIFORStrategy2016.pdf (accessed Nov 17, 2019)

Center for International Forestry Research (2019). *About CIFOR*. Retrieved from https://www.cifor.org/about-cifor/ (accessed Dec 1, 2019).

Collins, J.C., & Porras, J.I. (1996). Building your company´s vision. *Harvard Business Review* (September-October), 65-77. Retrieved from https://hbr.org/1996/09/building-your-companys-vision

Consultative Group on International Agricultural Research (2000). A Food Secure World For All: Toward a New Vision and Strategy for the CGIAR. TAC Secretariat/FAO, October 2000. Retrieved from http://www.fao.org/docs/eims/upload/215055/new_vision_strategy_cgiar.pdf

Consultative Group on International Agricultural Research (2019). Research Centers. Retrieved from https://cgiar.org/research/research-centers/ (accessed Dec 1, 2019).

Desmit, S., Prinzie, A., Decramer, A. (2011). Looking for the value of mission statements: a meta-analysis of 20 years of research. *Management Decision, 49,* (3), 468-483. Retrieved from http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0024630196000441

European Forest Institute (2016). EFI Strategy. Connecting knowledge to action, Joensuu, Finland. Retrieved from https://efi.int/sites/default/files/files/about/efi_strategy2025_14112016.pdf (accessed Nov 17, 2019)

European Forest Institute (2019a). About EFI. Retrieved from https://www.efi.int/about (accessed Dec 1, 2019).

European Forest Institute (2019b). EFI and CIFOR join forces. Retrieved from https://www.efi.int/articles/efi-and-cifor-join-forces (accessed Jan 21, 2020).

European Forest Institute (2019c). EFI establishes new Governance programme. EFI News, 15 Nov 2019, Retrieved from https://www.efi.int/articles/efi-establishes-new-governance-programme, (accessed Apr 18, 2020)

International Science Council (2019a). About us. Retrieved from https://council.science/about-us/ (accessed Dec 12, 2019).

International Science Council (2019b). What we do. Retrieved from https://council.science/what-we-do/ (accessed Dec 2, 2019).

International Union of Forest Resarch Organizations (2015). IUFRO Strategy 2015-2019. Interconnecting Forest, Science and People, Wien, Austria. Retrieved from https://www.iufro.org/fileadmin/material/science/divisions/toolbox/iufro-strategy-2015-2019.pdf (accessed Nov 17, 2019)

International Union of Forest Research Organizations (2019). The Organization. Retrieved from https://www.iufro.org/discover/organization/ (accessed Dec 1, 2019).

Liao, K.-H., & Huang I-S. (2016). Impact of Vision, Strategy, and Human Resource on Nonprofit Organization Service Performance. *Procedia – Social and Behavioral Sciences, 224*, 20-27. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2016.05.395

López-Morales, J.S., & Ortega-Ridauro, I. (2016), International strategy of the 500 largest firms in Latin America: an analysis from its mission and vision. *Problems and Perspectives Management* (open-access), 14 (3-3). https://doi.org/10.21511/ppm.14(3-3).2016.06

Mayring, P. (2015). Qualitative Inhaltsanalyse. *Grundlagen und Techniken*. Beltz, Weinheim, Basel.

Mayring, P., & Fenzl, T. (2019). Qualitative Inhaltsanalyse. In: Baur, N. & Blasius, J. (Hrsg.), (pp. 633-648). Handbuch Methoden der empirischen Sozialforschung. Wiesbaden: Springer Fachmedien Wiesbaden.

Mcintosh C. (Hrsg.) (2013). *Cambridge advanced learner's dictionary*. Cambridge: Cambridge Univ. Press

Moore, S.L., Ellswortch, J.B., Kaufman, R. (2011). Visions and Missions: Are they useful? A quick assessment. *Performance Improvement, 50* (6). 15-24. https://doi.org/10.1002/pfi.20222

Papulova, Z. (2014). The significance of Vision and Mission Development for Enterprises in Slovak Republic. *Journal of Economics, Business and Management, 2* (1), 12-16. https://doi.org/10.7763/JOEBM.2014.V2.90

Pearce, J.A. (1982). The Company Mission as a Strategic Tool. *Sloan Management Review*, *23* (3), 15. Retrieved from https://search.proquest.com/docview/1302988171?&imgSeq=1

Raynor, M.E. (1998). That vision thing: Do we need it? *Long Range Planning*, *31*, (3), 368-376. Retrieved from https://www.econbiz.de/Record/that-vision-thing-do-we-need-it-raynor-michael/10007353496

Schneider, J., Minning, C., Freiburghaus, M. (2007). *Strategische Führung von Nonprofit-Organisationen*. Bern: Haupt

Slyusarenko, O (2015). The Visions of World-Class Universities. *Comparative Professional Pedagogy, 5* (2), 58-67. https://doi.org/10.1515/rpp-2015-0041

Taiwo, A.A., Lawal, F.A., Agwu, M.E.(2016). Vision and Mission in Organization: Myth or Heuristic Device? *The International Journal of Business & Management, 4* (3), 127-134. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/312603042_Vision_and_Mission_in_Organization_Myth_or_Heuristic_Device

United Nations General Assembly (2015). Transforming our world: The 2030 Agenda for sustainable development. A/RES/70/1. Retrieved from https://sustainabledevelopment.un.org/content/documents/21252030%20Agenda%20for%20Sustainable%20Development%20web.pdf

United Nations (2019). The Sustainable Development Goals Report 2019, New York. Retrieved from https://unstats.un.org/sdgs/report/2019/The-Sustainable-Development-Goals-Report-2019.pdf

Бачення, місії та стратегії окремих міжнародних лісових дослідних організацій

А. Коллер[1], Н. Вебер[2]

Кожна із лісових дослідних організацій має бачення і місію, викладені в їхній стратегії. Окремим міжнародним організаціям з дослідження навколишнього середовища, таким як, наприклад, Міжурядовій науково-політичній платформі з біорізноманіття та екосистемних послуг (IPBES) не вистачає бачення і місії. Відсутність єдиного бачення і місії призводить до різних поглядів і очікувань серед різних експертів, членів, партнерів та інших зацікавлених сторін, які беруть участь у Платформі щодо того, що таке IPBES, чого вона намагається досягти і на чому вона повинна зосередитися. Це твердження показує, що бачення і місія є важливим керівництвом до дії для співробітників та інших людей в організації, а також для спілкування з особами, які не належать до організації.

Наведено порівняння поточних поглядів, місій і стратегій трьох міжнародних організацій, які займаються дослідженнями лісів: Європейського інституту лісу (EFI), Центру міжнародних досліджень лісу (CIFOR) і Міжнародного союзу лісових дослідницьких організацій (IUFRO). На тлі теоретичних концепцій бачень, місій і стратегій застосовується якісний контент-аналіз. Особливу увагу приділено тематичним сферам діяльності організацій та їхньому зв'язку з Цілями Сталого Розвитку (Sustainable Development Goals – SDGs).

Бачення і місія є важливим керівництвом до дій для співробітників міжнародних організацій, а також для спілкування з особами поза організацією. В рамках стратегій некомерційні організації можуть визначати свою місію і бачення, а також стратегічні цілі. Останні місії і бачення EFI, CIFOR і IUFRO проаналізовано за допомогою текстового аналізу, в той час як для їхніх стратегій використано узагальнюючий контент-аналіз.

Наведене порівняння розкриває відмінності між трьома організаціями щодо їх орієнтації на суспільний вплив і розвиток науки. Однак всі вони прагнуть поліпшити умови життя людей. CIFOR чітко фокусується на SDGs і охоплює всі цілі, в той час як IUFRO і EFI роблять це тільки частково. За винятком подвоєнь, EFI і IUFRO спільно розглядають 12 SDGs з 17 SDGs. Цей висновок особливо важливий у світлі поточної співпраці між EFI і IUFRO. Обидві організації підписали Меморандум про взаєморозуміння від 2019 року, в якому вони стверджують, що відповідають за досягнення SDGs шляхом посилення ролі збереження лісів та ведення сталого лісового господарства.

Незважаючи на діяльність у всьому світі, бачення і місія IUFRO також зосереджені на науці. Що стосується спілкування з особами за межами організації, то баченням і місія IUFRO на перший погляд, здається, зосередженою на дослідженнях лише для дослідників і політиків. Однак більш уважний розгляд стратегії IUFRO показує, що одна із п'яти сфер досліджень пов'язана безпосередньо з добробутом людини: «Ліси для людей» з двома із чотирьох пріоритетних сфер, тобто (1) «Ліси для засобів існування» і (2) «Ліси для якості життя». Інші пріоритетні області з решти чотирьох побічно пов'язані з добробутом людей, наприклад, вплив зміни клімату на лісові екосистеми і людей, залежних від лісу; використання лісових товарів і послуг; послуги екосистем; лісові екосистеми і водозбере-

[1] *Александра Коллер* – аспірант магістерської програми лісових наук Технічного університету у Дрездені, вул. Піннер, 8, 01737 Тарандт, Німеччина. Тел.: +49-351-463-31811. E-mail: alexandra.koller@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7072-4619

[2] *Норберт Вебер* – професор, доктор, професор лісової політики та економіки лісових ресурсів Технічного університету у Дрездені, вул. Піннер, 8, 01737 Тарандт, Німеччина. Тел.: +49-351-463-31828, E-mail: norbert.weber@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7179-9364

женння. Ще невідомо, чи включить IUFRO своє соціальне бачення, зосереджене на впливах, в оновлену стратегію 2020 року.

Ключові слова: дослідницькі мережі; міжнародні організації; стратегічне планування; епістемічні спільноти.

Видение, миссии и стратегии отдельных международных лесных исследовательских организаций

А. Коллер[1], Н. Вебер[2]

Каждая из лесных исследовательских организаций имеет видение и миссию, изложенные в их стратегии. Отдельным международным организациям по исследованию окружающей среды, таким как, например, Межправительственной научно-политической платформе по биоразнообразию и экосистемным услугам (МПБЭУ) не хватает видения и миссии. Отсутствие единого видения и миссии приводит к неодинаковым взглядам и ожиданиям среди различных экспертов, членов, партнеров и других заинтересованных сторон, участвующих в Платформе о том, что такое МПБЭУ, чего она пытается достичь и на чем она должна сосредоточиться. Это утверждение показывает, что видение и миссия является важным руководством к действию для сотрудников и других людей в организации, а также для общения с лицами, которые не принадлежат к организации.

Приводится сравнение текущих взглядов, миссий и стратегий трех международных организаций, занимающихся исследованиями лесов: Европейского института леса (EFI), Центра международных исследований леса (CIFOR) и Международного союза лесных исследовательски организаций (IUFRO). На фоне теоретических концепций видений, миссий и стратегий применяются качественный контент-анализ. Особое внимание уделяется тематическим областям работы организаций и их связям с областями развития (ЦУР).

Видение и миссия – важное руководство к действию для сотрудников международных организаций, а также для общения с людьми, не являющимися членами организации. В рамках стратегий некоммерческие организации могут определять свою миссию и видение, а также стратегические цели. Последние миссии и видения EFI, CIFOR и IUFRO анализируются с помощью текстового анализа.

Сравнение раскрывает различия между тремя направлениями в отношении общественного влияния и / или развития науки. Однако все они стремятся улучшить условия жизни людей. CIFOR четко фокусируется на ЦУР и сосредотачивается на них, в то время как IUFRO и EFI делают это только частично. За исключением удвоений, EFI и IUFRO совместно рассматривают 12 из 17 ЦУР. Этот вывод особенно важен в свете текущего сотрудничества между EFI и IUFRO. В 2019 году подписан Меморандум о взаимопонимании, в котором они утверждают, что обеспечивают достижение ЦУР.

Несмотря на работу по всему миру, IUFRO также сосредоточила свои усилия на науке. Что касается общения с лицами за пределами организации, то видение и миссия IUFRO, на первый взгляд, кажутся сосредоточенными на исследованиях только для исследователей и политиков. Однако более внимательное рассмотрение стратегии IUFRO показывает, что одна из пяти сфер исследований связана непосредственно с благосостоянием человека: «Леса для людей» с двумя из четырех приоритетных сфер, то есть (1) «Леса для средств существования» и (2) «Леса для качества жизни». Другие приоритетные области из оставшихся четырех косвенно связаны с благосостоянием людей, например, влияние изменения климата на лесные экосистемы и людей, зависимых от леса; использования лесных товаров и услуг; услуги экосистем; лесные экосистемы и водосбережение. Еще неизвестно, включит ли IUFRO свое социальное видение, сосредоточенное на действиях, в обновленную стратегию 2020 года.

Ключевые слова: исследовательские сети; международные организации; стратегическое планирование; эпистемические сообщества.

[1] *Александра Коллер* – аспирант магистерской программы лесных наук Технического университета в Дрездене, ул. Пиннер, 8, 01737 Тарандт, Германия. Тел.: +49-351-463-31811. E-mail: alexandra.koller@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7072-4619

[2] *Норберт Вебер* – профессор, доктор, профессор лесной политики и экономики лесных ресурсов Технического университета в Дрездене, ул. Пиннер, 8, 01737 Тарандт, Германия. Тел.: +49-351-463-31828, E-mail: norbert.weber@tu-dresden.de ORCID https://orcid.org/0000-0001-7179-9364

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412017
Article received 2019.11.14
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Vitaliy Soloviy
vitsoloviy@yahoo.com
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 504:33

Urban Governance and Decision-making under Climate Change: a Critical Review of Frameworks, Methods and Tools from the Perspectives of Ecological Economics and Sustainability Science

V. Soloviy[1], I. Dubovich[2]

Over the past 10-15 years, cities have emerged as clear leaders in global climate action. The wealth of frameworks, methods and tools aimed to support urban climate governance and decision-making have created a picture of progress on the topic, however, practical examples of success are limited to a limited group of forerunners. This research aims to address the gap between needs, theory and practice, by providing a critical review of the current developments from the lenses of sustainability science and ecological economics. Based on their integration, we developed ten minimum criteria for development and selection of actionable means: (1) legitimacy, salience and credibility; (2) consideration of social-ecological-economic dynamics; (3) critical pluralism; (4) inclusivity; (5) equality; (6) nexus; (7) transparency; (8) usability; (9) VUCA-fit; 10) transformative potential. The minimum criteria were used to assess 10 selected frameworks, 13 methods and 9 tools, providing decision-makers initial guidelines for making better choices. The analysis revealed that while comprehensive urban climate governance frameworks already exist, sophistication and usability of decision-support methods and tools require further work, while common reliance on simple means limits available opportunities. Thus, it is important to make multi-criteria, multi-objective, adaptive and robust approaches better accessible to urban decision-makers beyond the expert circles to support more effective climate action, while the suggested minimum criteria can be used to provide initial guidelines for such developments.

Keywords: *sustainable cities; just transition; climate economics; adaptation; mitigation; transdisciplinarity; action research; user-centred design; robustness; multi-criteria; no-regret solutions.*

Introduction. The unprecedented scale human impacts on the planet over the past few centuries has triggered unseen social and ecological dynamics of high volatility, uncertainty, complexity and ambiguity, which some call the Anthropocene (Steffen et al., 2018). One of its most vivid manifestations is the rapidly escalating climate change, which requires urgent action across multiple levels and scales (Huitema et al., 2016). Over the past two decades and most significantly, since the adoption of the Paris Agreement, cities have become leading actors in ambitious attempts to curb emissions and adapt to climate change. Their role is particularly unique, considering their responsibility for 75% of global emissions (Couture et al., 2019) and the fact that they are home to over half of the global population (UN DESA, 2019). Large cities are hotspots of climate impacts and vulnerability, which requires particularly responsible and well-calibrated action (Hunt & Watkiss, 2011). Despite significant progress in urban climate governance over the past decade, it

[1] *Vitaliy Soloviy* – PhD student, Department for Ecological Economics. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynka str., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097-215-78-78. E-mail: 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. Tel.: +38-032-239-27-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3719-7957

often remains constrained, fragmented and ineffective in regards to the magnitude and scope of the challenges faced by cities, which has led to the context where old, new and emerging frameworks, methods and tools coexist, complement each other, as well as clash and compete (Broto & Westman, 2020).

Multiple studies have addressed the development of urban climate governance from several different angles (Van Der Heijden, Patterson, Juhola & Wolfram, 2019), such as meta-reviews and systematic reviews of urban climate governance and plans (Hughes, 2015; Araos et al., 2016; Reckien et al., 2018) or integration of mitigation and adaptation (Grafakos et al., 2020). However, when it comes to the analysis of relevant frameworks, methods and tools the studies are rather scarce and limited in their scope, often focusing on general tools (Bours, McGinn & Pringle, 2014) or those tailored for a single component of urban climate governance, such as adaptation (Geneletti & Zardo, 2016), developments not tailored to urban context (Palutikof, Street & Gardiner, 2019b) or used primarily at the community level (Sharifi, 2016; Nkoana, Verbruggen & Hugé, 2018). The literature on the specific topic is still in its early stages, focusing on systematizing information and comparing particular tools, identifying gaps and relevant directions of research, however with only emerging critical reflection on broader implications of using particular frameworks, methods and tools (McEvoy, van de Ven, Blind & Slinger, 2018) or their linkages and connection to broader social contexts or paradigms they operate within.

To address this discrepancy, this study focuses on the analysis of the available frameworks, methods and tools for urban climate governance and decision making from the perspectives of ecological economics and sustainability science. These two fields provide powerful complementary perspectives that allow looking beyond comparison of cost-effectiveness to critically review potential drawbacks and nuances of applying available developments. The key aim of the study is to achieve a better understanding of the paradigmatic and practical implications posed by different frameworks, methods and tools for better urban climate governance and decision-making and to improve the processes of developing and selecting particular frameworks, methods and tools.

Materials and methods. ***Theoretical lenses.*** This paper intersects the perspectives of two fields — ecological economics and sustainability science, which were chosen considering their mutually enriching agendas and different lenses they provide for analysis of relevant methods and tools.

Sustainability Science represents a heterogeneous set of research programs aiming at the transdisciplinary understanding of the complex social ecological-systems and discovery of transformative and sustainable socio-economic pathways that integrate multiple drivers, pressures and impacts across different levels and scales (Miller et al., 2014).

Ecological economics is a transdisciplinary research field studying relationships between ecological and economic systems (Spash, 2020). Ecological economists underline the importance of recognizing biophysical reality while aiming to support ecosystem health and human wellbeing as preconditions and goals of economic activity. It is focused on developing economic mindsets, frameworks, methods and tools that are compatible with sustaining life on Earth and supporting genuine human flourishing beyond maximizing profits. Ecological economics provides a highly relevant counter-narrative to the neoclassical economic paradigm which dominates current discussions around climate action. Sustainability science and ecological economics have overlapping agendas, however, their distinct and unique contributions will be emphasized and effectively considered.

Key definitions. *Urban climate governance* represents a broad discursive approach to urban climate action integration, involving multiple stakeholders, areas of impact and sectors (Gordon, 2018) and integrating cross-level and cross-scale interactions regarding modes of urban mitigation and adaptation to climate change.

Decision-support frameworks, methods and tools provide opportunities to make aware and informed decisions in contexts of high complexity, where individual or group human capacities may prove limited in grasping the scope or magnitude or a particular issue. Approaches that are important for guiding urban governance and decision-making under climate change can roughly grouped into three categories (Tab. 1).

The key difference between tools and methods is that tools have a much lower focus on scientific rigour and more on practical relevance and applicability to real-life.

Data selection. This research was based on critical and integrative review approaches (Snyder, 2019) to assess progress made in the area of decision-support for urban climate change governance. Following the establishment of research aims, scope, theoretical lenses and key concepts, the data selection process was designed, including stages, keywords, keyword groups and criteria. An initial verification search was conducted for all basic combinations to exclude keywords that didn't provide significant results. The further process was as follows:

1) *Initial search* through Google Scholar and Google Search for groups with a combination of *all in the title* (each keyword combination divided by coma was searched separately) with *Boolean search in title* to identify both academic and policy/practice perspectives (Tab. 2). For standard Google Search (group 3), the first 100 search results from each search were selected for further stages. Websites, software, tools, guides and reports by authoritative organizations were included at this stage.

2) *Minimum criteria.* Exclusion of publications based on minimum criteria of five citations per year on average using *Publish or Perish* tool for groups 1 and 2. Only articles published in peer-reviewed journals were included, while books or other types of publications, as well as duplicates, were excluded.

Table 1

Key definitions

Concept	Description
Framework	Frameworks represent a comprehensive and often inter- or transdisciplinary approach outlining a process or a structure for urban climate governance and/or decision-making, incorporating various stages and sectors, as well as multiple methods and tools.
Method	Methods provide a way of acquiring knowledge and the analytical instrument used to help find answers and solutions for urban climate challenges; grounded in a rigorous and accurate scientific process and theory, resembling a specific type of logic and featuring several well-defined steps. Methods can be classified by disciplinary focus, degree of integration, stages of the decision-making process and suitability for particular types of issues.
Tool	Tools are practical and hands-on decision-support instruments tailored for policy-makers and practitioners, with focus on convenience, user-friendly features and effective communication results. Tools are often implemented in particular software, spreadsheets, web-platform or other convenient formats.

Table 2

Search groups. Groups 1 and 2 were used for search in Google Scholar and group 3 was searched in Google search

All in the title (AND)	Boolean search in the title (OR)
Group 1. Urban climate governance and decision-making frameworks, methods and tools	
climate city, climate cities, climate urban, climate authorities, climate municipal, climate municipalities, climate municipality, climate local, climate community	meta review critical analysis systematic assessment decision evaluation framework index indicator indicators method methods tool tools economic concept concepts conceptual governance
Group 2. Ecological economics, sustainability science and climate decision making	
ecological economics, sustainability science, sustainability climate, sustainable climate	tool tools method methods framework economics economic decision decisions evaluation assessment indicator indicators index urban city cities review meta systematic
Group 3. From science to practice (web)	
climate city, climate urban, climate municipal climate local, climate community	framework tool toolkit database knowledge hub guide guidebook handbook manual platform software

3) *Initial screening.* We performed screening of all search results based on fit into at least one of the specific themes relevant for this study: (1) elaboration or use of particular frameworks, models, methods and tools for supporting decisions in urban climate governance; (2) frameworks, methods and tools developed within sustainability science or ecological economics or on the topic decision making under climate change more broadly when relevant for the urban climate governance and decision-making; (3) meta-reviews, systematic, semi-systematic and critical reviews of the current urban climate governance and decision making literature. The criteria were used to classify academic articles and search results within two separate databases into three categories: (a) first priority (b) second priority (c) irrelevant (to be excluded).

4) *Full screening.* All articles from category (a) were screened in terms of their full texts and further included into the review or removed based on thematic fit. Articles from category (b) were screened for abstracts and then full-text if the abstracts showed their fit to one of the outlined themes. They were further either considered for review based on their relevance or excluded. The same procedure was adopted for web search results, with those from category (a) being screened based on the review of contents and functionality and results from category (b) screened based on the loading page, executive summary or description, and, if relevant, further full screening leading inclusion or exclusion.

5) *Extra search.* Based on the full screening of all articles and web results from category (a) extra reviews and search were performed. For articles, select articles were included using reverse snowballing, while for web results, tools were amended by search through selected platforms, including Climat-ADAPT, C40 Cities Hub, Climate Toolbox and Climate Adaptation Knowledge Exchange (CAKEX) and weADAPT.

6) *Final selection* of frameworks, methods and tools was made based on reviewing them for internal consistency, quality of references, originality, usability, relevance and ongoing support.

This review aimed to provide a critical review on the current landscape of frameworks, methods and tools and thus, we excluded overly similar samples and those without actual value for urban climate governance and decision-making. The summary of the data selection process is provided in the graph below (Fig. 1).

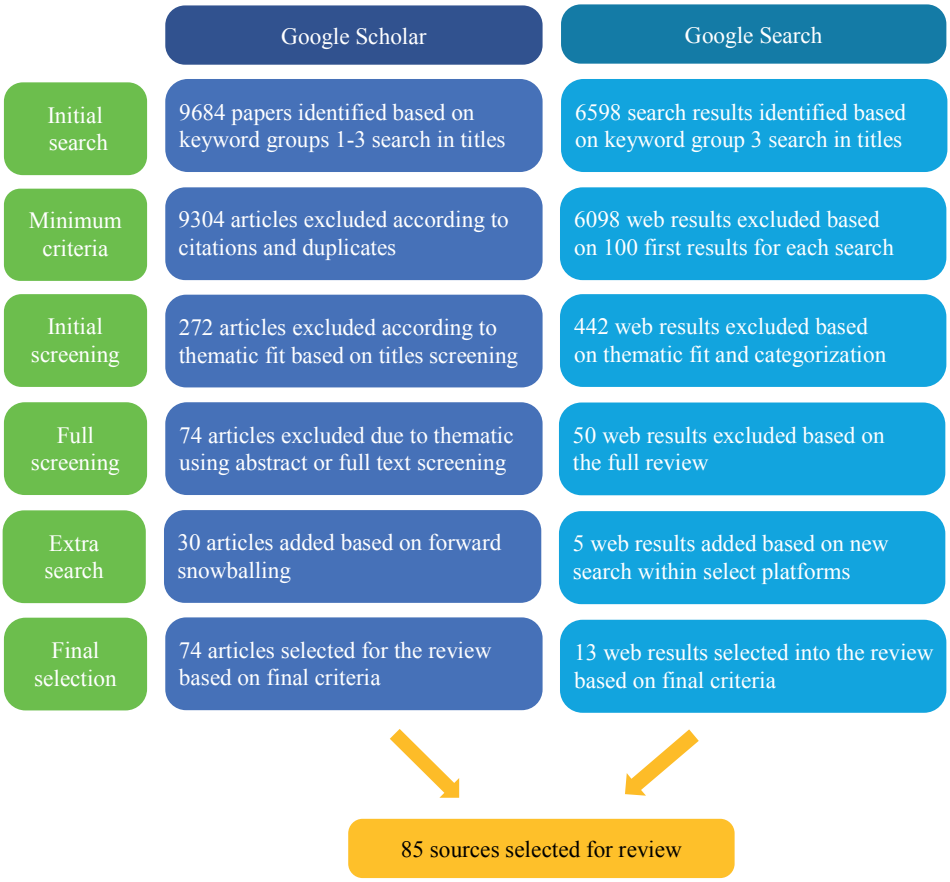


Figure 1. Summary of the data selection process

Minimum criteria. Based on integrating perspectives of sustainability science and ecological economics a set of minimum criteria was developed for consideration when selecting relevant methods and tools for supporting urban climate governance and decision making. Based on the current frameworks, reviewed literature, critical perspectives (Hallegatte, Henriet & Corfee-Morlot, 2011; Whitehead, 2013; Vogel & Henstra, 2015; Romsdahl, Blue & Kirilenko, 2018; Frantzeskaki et al., 2019) and integration of key provisions of sustainability science (Sala, Farioli & Zamagni, 2013; Fazey et al, 2018) and ecological economics (Spash, 2020; Pirgmaier & Steinberger, 2019) it was possible to outline ten minimum criteria which decision support frameworks, methods and tools should strive to align with (Tab. 3).

Table 3

Ten minimum criteria for development and selection of urban climate governance and decision making frameworks, methods and tools

Minimum criteria	Key references
1	2
1. **Validity**. Legitimacy, salience and credibility as defined within sustainability science, being an intersubjective, rather than actor-determined features.	von Wehrden, Luederitz, Leventon & Russell, 2017
2. **Holism.** Recognition of biophysical, social-ecological and ecological-economic dynamics, inter/-transdisciplinary approach	Pirgmaier & Steinberger, 2019; Mi et al., 2019
3. **Critical pluralism.** Consideration of different values and frames e.g. both monetary and nonmonetary, ethical and cultural awareness	Zografos & Howarth, 2010; Brink & Wamsler, 2018
4. **Inclusivity** providing space for participation, deliberation, co-creation and contestation and difference, particularly in regards to vulnerable groups	Klenk, Fiume, Meehan & Gibbes, 2017; Brink & Wamsler, 2019

Continuation of table 3

1	2
5. **Equality.** Integration of equality, fair distribution, justice and the every-day politics of climate change in cities from the perspective of urban political ecology.	Hughes, 2015; Anguelovski et al., 2016
6. **Nexus.** Consideration of multiple exposures, perspectives, sectors, criteria, objectives and scales, as well as connections, synergies, co-benefits and trade-offs	Moallemi et al., 2020; Bennett, Blythe, Tyler & Ban, 2016
7. **Transparency.** Transparency and clarity of the structure, process, roles, parameters, interests, influences and results, as well as debiasing	Sudmant, Gouldson,Millward-Hopkins, Scott, & Barrett, 2018
8. **Usability.** Balancing of sophistication and smooth user experience, without falling into the 'everything matters' trap while considering different needs	Kim et al., 2017; Lawrence, Bell & Stroombergen, 2019
9. **VUCA-fit.** Capacity to work with no-regret and safe-to-fail options, flexibility, adaptability, learning, innovation and reflexivity.	Ryan, 2015; Webb, Rissik, Petheram, Beh & Smith, 2019
10. **Transformation.** Capacity to support thinking outside of the everyday policy and practice, including coverage of such aspects as lock-ins, path-dependencies, politics and transformative change beyond status quo	Hölscher, Frantzeskaki, McPhearson & Loorbach, 2019

It should be noted that those minimum criteria are not considered to offer silver-bullet solutions, but rather identify low-regret options among available frameworks, methods and tools, which can be used across a wide range of contexts.

Results. Overall, 10 frameworks, 13 methods and 9 tools were selected for the critical review and analysis. They were further assessed in regards to their alignment with minimum criteria identified earlier. Each entry was assessed according to each criterion based on a full review of structure and functional possibilities, case studies. Alignment with minimum criteria was assessed based on formal descriptions, as well as analysis based on search results for at least two relevant key-words and their variations within key references. For each criterion, the entry could gain from 0 to 2 points (Tab. 4) and from 0 to 20 points overall (Tab. 5), leading to the assessment (Tab. 6).

Table 4

Alignment scoring for single minimum criteria

Color	Points	Level of alignment
	0	Alignment is not mentioned, isn't possible or was never featured in case studies
	1	Alignment possible, however, requires efforts from the user to ensure it
	2	Alignment is embedded and makes up one of the essential features or stages

Table 5

An overall minimum criteria alignment score

Spectre	Points	Level of alignment
	0-6	Low level of alignment suggests that it is not recommended to use particularly entry or use only as complementary means for specific occasions, themes or stages without sole reliance on its results or guidance for making final decisions. Combining few means with low score requires either expert decision or thorough reflection on their complementarity.
	7-13	Medium level of alignment suggests that even though the entry can serve as a helpful element of the governance and decision-making platform, it is best to combine it with other elements to ensure robust results. It may also mean dependence on the user's capacity to effectively utilize its features and thus may not serve as a universal solution for every case.
	14-20	High level of alignment suggests that the entry can be effectively used as core element of the governance and decision-making platform, with other aspects added depending on its weaker points as well as context-specific-needs. The use of means even with the highest score will however depend on the quality of facilitation, data collection and the capacity to apply gained insights in decision-making.

Frameworks, methods and tools that had a broad thematic scope, provided integrative perspective and were capable of guiding the full governance or decision-making process were prioritized. Examples aimed at climate aimed primarily at monitoring, data collection, risk or vulnerability assessment, monitoring and reporting were excluded from the review. This allowed us to narrow down the analysis and focus on the most relevant examples. Meanwhile, some non-integrated examples were included if they provided a comprehensive and highly insightful perspective, structure or process.

Table 6

Assessment of selected frameworks, methods and tools on alignment with minimum criteria (S – the sum of points per each criterion)

S	Decision-support means	Acronym	Minimum criteria (numbers) 1 2 3 4 5 6 7 8 9 10	Key reference
	FRAMEWORKS			
13	RESIN Decision Framework	RESIN		Chapman & Nieuwenhuijs, 2018
13	Urban Planning Support System	UPSS		Salas & Yepes, 2019
14	Building a Climate-Resilient City	BCRC		IISD, 2017
15	Values-Based Strategic Framework	VBS		Ingram & Hamilton, 2014
15	Urban Climate Resilience	UCR		Tyler & Moench, 2012
16	Climate Action Planning	CAP		C40, 2020
17	Social-Ecological Systems	SES		Flynn & Davidson, 2016
17	Urban Climate Action Impacts	UCAI		RAMBOLL, 2019
18	Planning and Evaluation of Nature-Based Solutions	NBS		Raymond et al., 2017
20	Decision-Support Structure and Evaluation	DSSE		Moallemi et al., 2020
	METHODS			
7	Cost-Benefit Analysis	CBA		Estrada et al. 2017
7	Cost-Effectiveness Analysis	CEA		Raucher et al., 2013
7	Real Options Analysis	ROA		Kwakkel, 2020
9	Portfolio Analysis	PA		Aerts, Botzen, van der Veen, Krywkow & Werners, 2008
9	Multi-Criteria Decision Analysis	MCDA		Cohen et al., 2019
9	Integrated Assessment Modeling	IAM		Balint et al., 2017
10	Multi-Scalqe Relational Risks & Opportunities	MS-ReRO		Salas & Yepes, 2019
10	Agent-Based Modeling	ABM		Lamperti et al., 2019
11	System Dynamics Modeling	SDM		Balint et al., 2017
12	Dynamic Risks and Opp. Sim. Evaluation	D-ROSE		Salas & Yepes, 2019
12	Dynamic Adaptive Policy Pathways	DAPP		Lawrence & Haasnoot, 2017
14	Many-Objective Robust Decision Making	MORDM		Dittrich, Wreford & Moran, 2016
14	Urban Climate Experimentation	UCE		Smeds & Acuto, 2019
	TOOLS AND PLATFORMS			
7	CURB	-		World Bank, 2017
9	UKCIP Adaptation Wizard	AW		Street, Pringle, Lourenço & Nicolletti, 2019
10	Urban Resilience Roadmap	URR		weADAPT, 2017
11	Urban Adaptation Support Tool	UAST		Climate-ADAPT, 2020
11	Climate Change Adaptation Workshops	CCAW		Church & Sherikar, 2019
12	Climate Action Co-benefits	CACB		Jones, Jenkinsons & Brammer, 2019
14	OpenMORDM	-		Hadka, Herman, Reed & Keller, 2015
14	Exploratory Modeling Workbench	EMW		Kwakkel, 2017
15	Coastal Climate Adaptation Decision Support	CCADC		Palutikof et al., 2019

Community-level examples have been mostly excluded from the review due to a focus on governance and decision-making at the city scale. Learning tools not tailored for the policy or practical applications were also not included. If a particular framework was paired with a particular tool developed together with it, only the framework was mentioned in the table, with the tool considered as its element. Some of the examples not included in the table above are however mentioned in the discussion. The final list comprises entries that are either commonly used, best practices or provide new, promising perspectives.

Critical review and analysis. ***Frameworks.*** The analysis of frameworks revealed a medium-to-high level of alignment with the outlined minimum criteria. While particular frameworks still fall behind on usability, inclusivity or integration of social-ecological and ecological-economic dynamics, half of the selected examples would comply with all minimum criteria under proper use. Despite high levels of alignment, many frameworks are both limited and strong in their unique focus and scope. The majority focus only on certain facets of urban climate governance, with the particular proliferation of adaptation and resilience frameworks.

Frameworks created with participation of C40 (RAMBOLL, 2018; C40, 2020) provide effective guidance on inclusivity, integration and transformation, being among the most user-friendly and comprehensive means available. Under the rise of practice-focused frameworks, work done by the academic community remains important, where the evaluation and planning framework for nature-based solutions (Raymond et al., 2017) supports climate choices that are aligned with ecological processes, while social-ecological systems analytical framework (Ostrom, 2009) allows considering system boundaries, spatial and temporal distribution and social dynamics among users. It also allows systematizing complex data, including urban resource flows, relations, productivity, infrastructure and capacities. The Decision-support structure and evaluation by Moallemi et al. (2020) is different from most of the other examples featured since it is a meta-framework, dedicated to the design of the governance and decision-making process per see, and allowing to accurately outline multiple facets and stages of urban climate governance and decision-making.

A particular challenge in regards to the effective development of frameworks is the absence of databases dedicated to scientific collaboration on this topic, with only individual reviews, as compared to large databases of tools. Very limited reflection and comparison of the available frameworks have been conducted to date and very often older frameworks are replaced by new ones without case studies to reflect on their effectiveness, And while such a rapid development might be what we need at this point, it also requires new ways of analyzing the complex landscape (Lamb, Creutzig, Callaghan & Minx, 2019).

Methods. Common types of methods identified include conceptual framing, modelling, analysis, evaluation, assessment, ranking, participation, verification, visualization and experimentation, while integrative rather than partial methods have been chosen for the review.

One of the simplest and common economic evaluation methods, CBA is used for calculating the effectiveness of policies and projects under a single monetary criterion. Standard CBA provides a set of clear benefits, such as simple structure, speedy analysis and clear conclusions (Estrada, Botzen & Tol, 2017). However, it is prone to many drawbacks, the most common of which include strong dependence on accurate data, commodification and monetization of all climate impacts, common ignorance towards distribution and highly questionable discount rates, which create challenges of possible maladaptation or delayed mitigation.

A more comprehensive standard method is cost-effectiveness analysis, which allows calculating alternative ways to use available resources, provides relative ranks per unit of a particular outcome or the least-cost path for a particular goal, as well as cost-effectiveness tipping points (Raucher et al., 2013). It can be used for short-term planning of particularly targeted interventions under constrained resources. Some of the benefits include the possibility for effective combination with sensitivity analysis and probabilistic modelling, focus on non-economic outcomes, and relative simplicity. Meanwhile, it requires low levels of risks, low complexity and significant predictability of the outcomes and thus its utility in VUCA-contexts is questionable, creating the possibility of narrow framings that do not consider important positive and negative outcomes. No recognition of complex dynamics or biophysical limits, complex choice in regards to the relevant metrics and no simple way to integrate co-benefits constrain its effectiveness. Overall, those two simple methods are some of the most commonly used guidance for urban climate decision-making, despite being quite limited in their capabilities.

Some of the more complex methods include Real Options Analysis (ROA) and Portfolio Analysis (PA). ROA allows arranging options considering their flexibility to future changes and viability across different time horizons. It also allows comparing consequences, benefits and tradeoffs, and it may be particularly relevant for a long term and complex choices, such as the development of urban adaptation infrastructure or pacing the transition to renewable energy. Clear structure, flexibility, applicability to high-risk context, quantitative and qualitative analysis possibilities are among its strongest sides, however, a complex methodology, high resource and information demands, as well as monetization or ignorance towards non-market values limit its applications and effectiveness. It has also been criticized for a common lack of baselines and overreliance on the probability of different scenarios, which is problematic (Kwakkel, 2020). Meanwhile, PA allows combining different viable options bundles that satisfy the risk-return

preferences and avoiding underperforming portfolios. Effective visualization, applicability to both monetary and non-monetary goals are some of its key features, however high demand towards expert knowledge, dependence on data and lower effectiveness under deep uncertainty make it less applicable to the context of climate change in cities, which requires more flexible methods.

Multi-criteria decision analysis (MCDA) is one of the most systematic, transparent and inclusive methods available to date. It is used as the foundation for a wide range of urban climate governance decision-support frameworks and tools (Balouktsi, 2019). MCDA allows arranging options and making decisions based on value- or decision-trees, which incorporate weighted criteria and indicators of various types, and can include diverse stakeholder perspectives. Its variations include analytical hierarchy process (AHP), multi-attribute utility theory (MAUT), elimination and choice expressing the reality (ELECTRE), preference ranking organization method for enrichment of evaluations (PROMETHEE) and dominance based rough set approach (DRSA), among others (Cinelli, Coles & Kirwan, 2014). MCDA is also used within multiple software packages, such as DECERNS, Expert Choice, Make It Rational and Super decisions.

During the past few years, MCDA has become one of the key methods suggested for climate decision-making, being capable of balancing different co-benefits and trade-offs (Cohen et al., 2019) as well integrating with other approaches (Munaretto, Siciliano & Turvan, 2014). However, subjectivity and high demand for organizational capacity can make it hard to implement in real life (Ellen, Yager, Hanson & Bosher, 2016). Moreover, transparency and inclusivity may happen on paper but not be reflected in the results, while for those who are embedded into the context it is often hard to identify and address discriminatory treatment of viewpoints (Bradley & Steele, 2015).

Another similar in many respects method is Multi-objective robust decision-making (MORDM), which reveals options that are robust under a wide range of possible futures and multiple goals (Lawrence et al., 2019). Instead of maximizing utility, it focuses on no-regret and good-enough options, being particularly effective under deep uncertainty and applicable upon multiple temporal scales. MORDM is also specifically suited to deal with deep uncertainty and avoid maladaptation. However, complexity, significant demand for expert knowledge and quality data, as well as subjectivity are its common drawbacks. Among other methods created to work within the contexts of complexity and uncertainty are Dynamic Adaptive Policy Pathways (DAPP), Multi-Scale Relational Risks & Opportunities (MS-ReRO) and Dynamic Risks and Opportunities Simulation Evaluation (D-ROSE). D-ROSE is particularly effective in scenario-planning and grasping trade-offs, MS-ReRO is tailored for multi-scale assessments (Salas & Yepes, 2019) and DAPP is suited to the elaboration of future policies, defining prospective measures and tipping points leading to policy shifts. Despite their benefits, complex structure and high requirements towards expert support make them unlikely options for decisionmakers without extra training.

Many of the methods outlined above are usually coupled with models of different complexity and size. Simple integrated assessment models (IAMs) such as Dynamic Integrated model of the Climate and Economy (DICE), are widely used and mostly aim to optimize the system in terms of specific indicators (Balint et al., 2017). However, they have often been criticized for oversimplifying social-ecological and ecological-economic interactions, adopting questionable discount rates and ignoring non-monetary aspects of wellbeing (Spash, 2013). Complex systems models that feature nonlinear system dynamics and agent-based models allowing for heterogeneous perspectives have been considered more promising in addressing modeling challenges (Lamperti et al., 2019). While some of the methods allow for participation, most of the complex methods are used by a limited number of experts in select contexts. One of the ways this challenge is being overcome is through the creation of tailored decision-support tools.

Tools and platforms. Tools represent a policy or practical perspective on decision-making within the context of urban climate governance. They are often based on well-recognized frameworks, methods and models, however, may modify their functional attributes or add extra analytical, decision-support or communicative elements. The most common types of tools identified during this review include platforms, dedicated software, analytical tools, strictly decision-support tools and guidelines or manuals. A large share of the tools identified relied on CBA-based approaches and monetary valuation, however, a clear shift towards more complex and considerate tools has been witnessed in the post-Paris years.

The CURB tool allows assessing multiple low-carbon options across five steps: setup, inventory, context, action and results. It also allows for conducting cost and impact assessments across six sectors. OpenMORDM and Exploratory Modeling Workbench (EMW) are two similar tools for MORDM that with the first one focusing on analysis (Hadka et al., 2015) and the second one on experimentation through programming via exploratory modelling (Kwakkel, 2017).

While many of the complex offer extended capabilities in return for expert knowledge, accessible platforms are starting to make their way through, covering aspects like climate justice, consumption-based emissions and transformative perspectives. Some of the decision-making tools, such Urban Adaptations Support Tool (UAST) are actually systematic frameworks with a collection of guidelines for action, different approaches and assessment methods, providing a clear process with a large database of references but little guidance on the selection of viable tools among the wide range of

options (Climate-ADAPT, 2020). Most of the other identified tools, such as UKCIP Adaptation Wizard (Street et al., 2019), Urban Resilience Roadmap (weADAPT, 2017) and Coastal Climate Adaptation Decision Support (Palutikof et al., 2019) focused on providing users with a similar intuitive and simple web interface with a clear process and references to relevant resources.

Discussion. Based on the analysis of the results, it was possible to identify three general axes over which the frameworks, methods and tools aimed to support urban climate governance and decision-making have developed. The first signifies the transition from data monitoring and accumulation to action-focus (Palutikof et al., 2019a). With the increasing accessibility of data, its mere presence is becoming less significant compared to the extraction of relevant insights. The second significant shift is the move from simplicity and multidisciplinarity towards complexity and inter/transdisciplinarity. It is particularly vivid in the more recent frameworks, methods and tools, featuring not simply a combination of metrics from different disciplines but opportunities to reveal and analyse important relations and interdependencies (Moallemi et al., 2020). The third important shift is movement from top-down centralized approaches to participation, and inclusivity significantly featured in some of the most recent frameworks, such as C40's Climate Action Planning Framework. Such developments provide new possibilities to engage stakeholders, mitigate risks and make more informed and aware decisions.

A significant challenge, however, is that many of the shifts happened much more vividly in the theoretical realm, while practical transitions are often still underway (Piggott-McKellar, McNamara, Nunn & Watson, 2019). The prevalence of scientific over practical focus is highly obvious, despite the fact of essentially practical necessity for climate action (Palutikof, Street & Gardiner, 2019a). Hewitson et al. (2017) suggest that available resources are often far more complex for users than perceived by their developers, while the review by Newman et al. (2017) suggests a significant gap between the development of decision-support systems and their actual use. It is particularly important to consider the nonhomogeneous nature of users, which is challenging to address with tools developed from a global perspective, leading to the case that some tools may not always be considered legitimate or relevant by local users (Palutikof et al. 2019a). There are also emerging examples of effective application of complex and hybrid methods (such as the combination of ROA, MCDA and DAPP), which however requires highly supportive conditions, leadership and effective monitoring (Lawrence et al., 2019).

Despite significant theoretical progress and networking, only a small share of leading cities bear the benefits of most up to date developments, while those with limited access to expertise are left to catch up in the increasingly complex landscape (Lamb et al., 2019). Rapid development, commercialization and tendency towards «black-box» configuration may undermine the availability of novel tools to those who have limited capacities and are often most vulnerable towards climate change (Palutikof et al., 2019a). Developers are not interested in disclosing their methodologies with full detail, which can undermine progress, transparency and integration. Meanwhile, urban climate governance and decision making are often to a large extent determined by people who have limited knowledge about the peculiarities of effective climate mitigation or adaptation (Palutikof et al., 2019a).

One of the most significant insights from the recent literature is that the choice of particular frameworks, methods and tools may lead to significantly different outcomes (McEvoy et al., 2018), while the act of choosing certain method or tool itself may be highly arbitrary, even with all the filtering criteria on a particular platform are well-aligned. In this competitive space, where usability, comfort, access to networks and effective marketing may be far stronger factors than its analytical capacity or inclusivity, many cities may end up using simple tools leading to maladaptation, loss and damages. From an ecological economics perspective, the dominance of CBA-based tools is one of the key challenges since it leads to achieving fragmented perspectives which may limit our understanding of challenges and provide a limited view on solution pathways. The danger to settle for means that work best under current political and institutional systems by «commodifying, quantifying and pricing nature» (Spash, 2013) or «fixing» the climate through negative emissions (Carton, 2019) are particularly significant. This, however, remains a common practice in many global reports and highly-cited analyses on economic dimensions of urban action on climate change (Estrada et al., 2017).

A set of minimum criteria applied to both the development and selection of particular frameworks, methods and tools guiding urban climate governance and decision-making is suggested to address those challenges. Application of such a set of simple minimum criteria can secure against most crucial mistakes and help develop awareness of the aspects not covered by particular means and point to complementary perspectives. In the light of growing rigour of present methods, tools and frameworks, practical solutions can be developed through design thinking, participatory prototyping and engaged user-testing considering the set of suggested criteria. Outside of those minimum criteria, as important is also to develop and use meta-frameworks, such as the one suggested by Moallemi et al., 2020 to arrive at particular combinations of methods and tools that work best under given factors, relevant time horizons or the range of available parameters.

Conclusion. Urban climate governance and decision-making frameworks, methods and tools are implicated into their political, academic and cultural contexts, with significant impacts on both theoretical development and practical applications.

While a wealth of available means to frame and steer urban climate trajectories exist, the use of advanced applications remains limited to specific cases, where a clear leadership on climate action is present, while a general lack of integration is vivid. Considering the urgency and significance of climate challenges, making decisions by solemn economic and at the interest of narrow stakeholder groups interested in supporting the status quo can no longer remain an option for urban governance and decision-making under climate change.

Wider accessibility of well-balanced yet more complex frameworks, methods and tools is needed to allow decision-makers to develop necessary and timely responses. Some of the emerging frameworks, methods and tools are starting to address the need for this complexity, covering such important issues as justice, reflection, displacement and capacity for transformative change, among others. To support those positive trends, minimum criteria was elaborated within this paper and is suggested as a prospective way to both develop actionable means and make good choices in regards to the available ones.

Research limitations. As the focus of this review was to integrate perspectives and critically reflect on the developments and not to systematize or provide a historical viewpoint, mostly qualitative review and analysis were performed. Readers are welcome to use the outlined methodology, keywords and selection process to perform other types of analysis, which can help reveal other relevant trends, as well as broaden the scope of covered frameworks, methods and tools.

References

Aerts, J. C., Botzen, W., van der Veen, A., Krywkow, J., & Werners, S. (2008). Dealing with uncertainty in flood management through diversification. *Ecology and Society*, *13*(1). Retrieved from: http://www.ecologyandsociety.org/vol13/iss1/art41/

Anguelovski, I., Shi, L., Chu, E., Gallagher, D., Goh, K., Lamb, Z., ... & Teicher, H. (2016). Equity impacts of urban land use planning for climate adaptation: Critical perspectives from the global north and south. *Journal of Planning Education and Research*, *36*(3), 333-348. https://doi.org/10.1177/0739456X16645166

Araos, M., Berrang-Ford, L., Ford, J. D., Austin, S. E., Biesbroek, R., & Lesnikowski, A. (2016). Climate change adaptation planning in large cities: a systematic global assessment. *Environmental Science & Policy*, *66*, 375-382. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.009

Balint, T., Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Roventini, A., & Sapio, A. (2017). Complexity and the economics of climate change: a survey and a look forward. *Ecological Economics, 138*, 252-265. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2017.03.032

Balouktsi, M. (2019, August). Crafting local climate action plans: An action prioritisation framework using multi-criteria decision analysis. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 323, No. 1, p. 012075). IOP Publishing. doi:10.1088/1755-1315/323/1/012075

Bennett, N. J., Blythe, J., Tyler, S., & Ban, N. C. (2016). Communities and change in the Anthropocene: understanding social-ecological vulnerability and planning adaptations to multiple interacting exposures. *Regional Environmental Change*, *16*(4), 907-926. https://doi.org/10.1007/s10113-015-0839-5

Bours, D., McGinn, C., & Pringle, P. (2014). Monitoring & evaluation for climate change adaptation and resilience: A synthesis of tools, frameworks and approaches. *SEA Change Community of Practice, and UK Climate Impacts Programme*. Retrieved from: https://ukcip.ouce.ox.ac.uk/wp-content/PDFs/SEA-Change-UKCIP-MandE-review-2nd-edition.pdf

Bradley, R., & Steele, K. (2015). Making climate decisions. *Philosophy Compass*, *10*(11), 799-810. https://doi.org/10.1111/phc3.12259

Brink, E., & Wamsler, C. (2018). Collaborative governance for climate change adaptation: mapping citizen–municipality interactions. *Environmental Policy and Governance*, *28*(2), 82-97. https://doi.org/10.1002/eet.1795

Brink, E., & Wamsler, C. (2019). Citizen engagement in climate adaptation surveyed: The role of values, worldviews, gender and place. *Journal of cleaner production, 209*, 1342-1353. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.164

Broto, V., & Westman, L. K. (2020). Ten years after Copenhagen: Reimagining climate change governance in urban areas. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, e643. https://doi.org/10.1002/wcc.643

Carton, W. (2019). «Fixing» climate change by mortgaging the future: negative emissions, spatiotemporal fixes, and the political economy of delay. *Antipode*, *51*(3), 750-769. https://doi.org/10.1111/anti.12532

Chapman, E., Nieuwenhuijs, A. (2018). *User Guide: The Resin Decision Support Tools For Climate Change Adaptation.* European project RESIN – Climate Resilient Cities and Infrastructures. Retrieved from: https://resin-cities.eu/fileadmin/user_upload/Handbooks/RESIN-D4-3-guide-ENGLISH-www.pdf

Church, S., & Sherikar, P. (2019). *Climate Change Adaptation Workshops: A Planning Guide for Local Government Staff v.2.,* Almeda County, California Office of Sustainability. Retrieved from: http://www.acgov.org/sustain/documents/AdaptationWorkshopsGuide-AlamedaCounty.pdf

Cinelli, M., Coles, S. R., & Kirwan, K. (2014). Analysis of the potentials of multi criteria decision analysis methods to conduct sustainability assessment. *Ecological indicators, 46*, 138-148. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.06.011

Climate-ADAPT (2020). Urban adaptation support tool. Retrieved from: https://climate-adapt.eea.europa.eu/knowledge/tools/urban-ast

Cohen, B., Blanco, H., Dubash, N.K., Dukkipati, S., Khosla, R., Scrieciu, S., ... & Torres-Gunfaus, M. (2019). Multi-criteria decision analysis in policy-making for climate mitigation and development. *Climate and Development*, *11*(3), 212-222. https://doi.org/10.1080/17565529.2018.1445612

Couture et al. (2019). *Renewables in Cities 2019 Global Status Report.* REN21. Retrieved from: https://www.ren21.net/ Accessed on: 04.01.2020

C40 (2020). *Climate Action Planning Framework.* C40 Cities. Retrieved from: https://cdn.locomotive.works/sites/5ab410c8a2f42204838f797e/pages/5ae2f92374c4837e195d0e00/files/20200324_C40_Climate_Action_Planning_Framework.pdf?1591007745

Dittrich, R., Wreford, A., & Moran, D. (2016). A survey of decision-making approaches for climate change adaptation: Are robust methods the way forward?. *Ecological Economics*, *122*, 79-89. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2015.12.006

Ellen, I.G., Yager, J., Hanson, M., & Bosher, L. (2016). Planning for an uncertain future: Can multicriteria analysis support better decision making in climate planning?. *Journal of Planning Education and Research*, *36*(3), 349-362. https://doi.org/10.1177/0739456X16659911

Estrada, F., Botzen, W.W., & Tol, R.S. (2017). A global economic assessment of city policies to reduce climate change impacts. *Nature Climate Change*, *7*(6), 403-406. https://doi.org/10.1038/nclimate3301

Fazey, I., Schäpke, N., Caniglia, G., Patterson, J., Hultman, J., Van Mierlo, B., ... & Al Waer, H. (2018). Ten essentials for action-oriented and second order energy transitions, transformations and climate change research. *Energy Research & Social Science*, *40*, 54-70. https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.11.026

Flynn, C.D., & Davidson, C.I. (2016). Adapting the social-ecological system framework for urban stormwater management: the case of green infrastructure adoption. *Ecology and Society*, *21*(4). http://dx.doi.org/10.5751/ES-08756-210419

Frantzeskaki, N., McPhearson, T., Collier, M.J., Kendal, D., Bulkeley, H., Dumitru, A., ... & Oke, C. (2019). Nature-based solutions for urban climate change adaptation: linking science, policy, and practice communities for evidence-based decision-making. *BioScience*, *69*(6), 455-466. https://doi.org/10.1093/biosci/biz042

Geneletti, D., & Zardo, L. (2016). Ecosystem-based adaptation in cities: An analysis of European urban climate adaptation plans. *Land use policy*, *50*, 38-47. https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2015.09.003

Gordon, D.J. (2018). Global urban climate governance in three and a half parts: Experimentation, coordination, integration (and contestation). *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 9*(6), e546. https://doi.org/10.1002/wcc.546

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

Hadka, D., Herman, J., Reed, P., & Keller, K. (2015). An open source framework for many-objective robust decision making. *Environmental Modelling & Software*, *74*, 114-129. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2015.07.014

Hallegatte, S., Henriet, F., & Corfee-Morlot, J. (2011). The economics of climate change impacts and policy benefits at city scale: a conceptual framework. *Climatic change*, *104*(1), 51-87. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9976-5

Hewitson, B., Waagsaether, K., Wohland, J., Kloppers, K., & Kara, T. (2017). Climate information websites: an evolving landscape. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change, 8*(5), e470.

Hölscher, K., Frantzeskaki, N., McPhearson, T., & Loorbach, D. (2019). Tales of transforming cities: Transformative climate governance capacities in New York City, US and Rotterdam, Netherlands. *Journal of environmental management*, *231*, 843-857. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.10.043

Hughes, S. (2015). A meta-analysis of urban climate change adaptation planning in the US. *Urban Climate*, *14*, 17-29. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2015.06.003

Huitema, D., Adger, W.N., Berkhout, F., Massey, E., Mazmanian, D., Munaretto, S., ... & Termeer, C.C. (2016). The governance of adaptation: choices, reasons, and effects. Introduction to the Special Feature. *Ecology and Society*, *21*(3). http://dx.doi.org/10.5751/ES-08797-210337

Hunt, A., & Watkiss, P. (2011). Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. *Climatic change, 104*(1), 13-49. https://doi.org/10.1007/s10584-010-9975-6

IISD (2017). Building a Climate-Resilient City. *Prairie Climate Centre. From Risk to Resilience.* Retrieved from: https://iisd.org/project/building-climate-resilient-city

Ingram, J., Hamilton, C. (2014). *Planning for Climate Change. A strategic, values-based approach for urban planners. Toolkit.* United Nations Human Settlements Programme (UN-Habitat). Retrieved from: https://www.zaragoza.es/contenidos/medioambiente/onu/1319-eng-res2_Planning_for_Climate_Change_Toolkit.pdf

Jones, E., Jenkinsons, C., & Brammer, S. (2019). *A toolkit for city regions and local authorities*. *Climate action co-benefits Cutting carbon and improving people's lives* Ashden. Retrieved from: https://www.ashden.org/downloads/files/CAC-Chapters-all-FINAL.pdf

Kim, Y., Eisenberg, D.A., Bondank, E.N., Chester, M.V., Mascaro, G., & Underwood, B.S. (2017). Fail-safe and safe-to-fail adaptation: decision-making for urban flooding under climate change. *Climatic Change*, *145*(3-4), 397-412. https://doi.org/10.1007/s10584-017-2090-1

Klenk, N., Fiume, A., Meehan, K., & Gibbes, C. (2017). Local knowledge in climate adaptation research: Moving knowledge frameworks from extraction to co-production. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *8*(5), e475. https://doi.org/10.1002/wcc.475

Kwakkel, J.H. (2017). The Exploratory Modeling Workbench: An open source toolkit for exploratory modeling, scenario discovery, and (multi-objective) robust decision making. *Environmental Modelling & Software*, *96*, 239-250. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2017.06.054

Kwakkel, J.H. (2020). Is real options analysis fit for purpose in supporting climate adaptation planning and decision-making?. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Climate Change*, *11*(3), e638. https://doi.org/10.1002/wcc.638

Lamb, W.F., Creutzig, F., Callaghan, M.W., & Minx, J.C. (2019). Learning about urban climate solutions from case studies. *Nature Climate Change*, *9*(4), 279-287. https://doi.org/10.1038/s41558-019-0440-x

Lamperti, F., Mandel, A., Napoletano, M., Sapio, A., Roventini, A., Balint, T., & Khorenzhenko, I. (2019). Towards agent-based integrated assessment models: examples, challenges, and future developments. *Regional environmental change*, *19*(3), 747-762. https://doi.org/10.1007/s10113-018-1287-9

Lawrence, J., & Haasnoot, M. (2017). What it took to catalyse uptake of dynamic adaptive pathways planning to address climate change uncertainty. *Environmental Science & Policy*, *68*, 47-57. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.12.003

Lawrence, J., Bell, R., & Stroombergen, A. (2019). A hybrid process to address uncertainty and changing climate risk in coastal areas using dynamic adaptive pathways planning, multi-criteria decision analysis & real options analysis: a New Zealand application. *Sustainability*, *11*(2), 406. https://doi.org/10.3390/su11020406

McEvoy, S., van de Ven, F.H., Blind, M.W., & Slinger, J.H. (2018). Planning support tools and their effects in participatory urban adaptation workshops. *Journal of environmental management*, *207*, 319-333. https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2017.10.041

Mi, Z., Zheng, J., Meng, J., Zheng, H., Li, X., Coffman, D.M., ... & Guan, D. (2019). Carbon emissions of cities from a consumption-based perspective. *Applied Energy*, *235*, 509-518. https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.10.137

Miller, T.R., Wiek, A., Sarewitz, D., Robinson, J., Olsson, L., Kriebel, D., & Loorbach, D. (2014). The future of sustainability science: a solutions-oriented research agenda. *Sustainability science, 9*(2), 239-246.

Moallemi, E.A., Zare, F., Reed, P.M., Elsawah, S., Ryan, M.J., & Bryan, B.A. (2020). Structuring and evaluating decision support processes to enhance the robustness of complex human–natural systems. *Environmental Modelling & Software*, *123*, 104551. https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2019.104551

Munaretto, S., Siciliano, G., & Turvani, M.E. (2014). Integrating adaptive governance and participatory multicriteria methods: a framework for climate adaptation governance. *Ecology and Society*, *19*(2). http://dx.doi.org/10.5751/ES-06381-190274

Newman, J.P., Maier, H.R., Riddell, G.A., Zecchin, A.C., Daniell, J.E., Schaefer, A.M., ... & Newland, C.P. (2017). Review of literature on decision support systems for natural hazard risk reduction: Current status and future research directions. *Environmental Modelling & Software, 96*, 378-409.

Nkoana, E.M., Verbruggen, A., & Hugé, J. (2018). Climate change adaptation tools at the community level: An Integrated literature review. *Sustainability*, *10*(3), 796. https://doi.org/10.3390/su10030796

Ostrom, E. (2009). A general framework for analyzing sustainability of social-ecological systems. *Science, 325*(5939), 419-422. doi: 10.1126/science.1172133

Palutikof, J.P., Street, R.B., & Gardiner, E.P. (2019a). 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

Palutikof, J.P., Street, R.B., & Gardiner, E.P. (2019b). Looking to the future: guidelines for decision support as adaptation practice matures. *Climatic Change*, *153*(4), 643-655. https://doi.org/10.1007/s10584-019-02404-x

Palutikof, J.P., Rissik, D., Webb, S., Tonmoy, F.N., Boulter, S.L., Leitch, A.M., ... & Campbell, M.J. (2019). CoastAdapt: an adaptation decision support framework for Australia's coastal managers. *Climatic Change*, *153*(4), 491-507. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2200-8

Piggott-McKellar, A.E., McNamara, K.E., Nunn, P.D., & Watson, J.E. (2019). What are the barriers to successful community-based climate change adaptation? A review of grey literature. *Local Environment*, *24*(4), 374-390. https://doi.org/10.1080/13549839.2019.1580688

Pirgmaier, E., & Steinberger, J.K. (2019). Roots, Riots, and Radical Change – A Road Less Travelled for Ecological Economics. *Sustainability*, *11*(7), 2001 https://doi.org/10.3390/su11072001

RAMBOLL (2018). *Urban Climate Action Impacts Framework.* Retrieved from: https://ramboll.com/media/rgr/ramboll-helps-world-cities-make-the-case-for-climate-actions

Raucher, R., Clements, J., Colley, M., Henderson, J., Potter, J., Rowan, E., & Sussman, F., Teter, C. (2013). *Evaluating Adaptation Options: Assessing Cost, Effectiveness, Co-Benefits, and Other Relevant Considerations.* CCRD Whitepaper. USAID. Retrieved from: https://www.climatelinks.org/resources/evaluating-adaptation-options-assessing-cost-effectiveness-co-benefits-and-other-relevant Accessed on 20.04.2020

Raymond, C.M., Frantzeskaki, N., Kabisch, N., Berry, P., Breil, M., Nita, M.R., ... & Calfapietra, C. (2017). A framework for assessing and implementing

the co-benefits of nature-based solutions in urban areas. *Environmental Science & Policy*, *77*, 15-24. https://doi.org/10.1016/j.envsci.2017.07.008

Reckien, D., Salvia, M., Heidrich, O., Church, J.M., Pietrapertosa, F., De Gregorio-Hurtado, S., ... & Orru, H. (2018). How are cities planning to respond to climate change? Assessment of local climate plans from 885 cities in the EU-28. *Journal of Cleaner Production*, *191*, 207-219. https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.03.220

Romsdahl, R., Blue, G., & Kirilenko, A. (2018). Action on climate change requires deliberative framing at local governance level. *Climatic Change*, *149*(3-4), 277-287. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2240-0

Ryan, D. (2015). From commitment to action: a literature review on climate policy implementation at city level. *Climatic Change*, *131*(4), 519-529. https://doi.org/10.1007/s10584-015-1402-6

Sala, S., Farioli, F., & Zamagni, A. (2013). Progress in sustainability science: lessons learnt from current methodologies for sustainability assessment: Part 1. *The international journal of life Cycle Assessment*, *18*(9), 1653-1672. https://doi.org/10.1007/s11367-012-0508-6

Salas, J., & Yepes, V. (2019). MS-ReRO and D-ROSE methods: Assessing relational uncertainty and evaluating scenarios' risks and opportunities on multi-scale infrastructure systems. *Journal of cleaner production, 216*, 607-623. https://doi.org/10.1007/s11367-012-0508-6

Sharifi, A. (2016). A critical review of selected tools for assessing community resilience. *Ecological Indicators*, *69*, 629-647. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2016.05.023

Snyder, H. (2019). Literature review as a research methodology: An overview and guidelines. *Journal of Business Research*, *104*, 333-339.

Smeds, E., & Acuto, M. (2018). Networking cities after Paris: Weighing the ambition of urban climate change experimentation. *Global Policy, 9(4)*, 549-559. https://doi.org/10.1111/1758-5899.12587

Spash, C.L. (2013). The shallow or the deep ecological economics movement?. *Ecological Economics*, *93*, 351-362. https://doi.org/10.1016/j.ecolecon.2013.05.016

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

Steffen, W., Rockstrom, J., Richardson, K., Lenton, T., Folke, C., Liverman, D., ... Schellnhuber, H. (2018). Trajectories of the Earth System in the Anthropocene. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States, 115*(33), 8252-8259. https://doi.org/10.1073/pnas.1810141115

Street, R.B., Pringle, P., Lourenço, T.C., & Nicolletti, M. (2019). Transferability of decision-support tools. *Climatic Change*, *153*(4), 523-538. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2263-6

Sudmant, A., Gouldson, A., Millward-Hopkins, J., Scott, K., & Barrett, J. (2018). Producer cities and consumer cities: Using production-and consumption-based carbon accounts to guide climate action in China, the UK, and the US. *Journal of Cleaner Production*, *176*, 654-662. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2263-6

Tyler, S., & Moench, M. (2012). A framework for urban climate resilience. *Climate and development*, *4*(4), 311-326. https://doi.org/10.1080/17565529.2012.745389

UN DESA (2019). *World Urbanization Prospects: The 2018 Revision* (ST/ESA/SER.A/420). United Nations. Department of Economic and Social Affairs, Population Division. New York: United Nations. Retrieved from: https://population.un.org/wup/Publications/Files/WUP2018-Report.pdf Accessed on: 11.01.2020

Van der Heijden, J., Patterson, J., Juhola, S., & Wolfram, M. (2019). Advancing the role of cities in climate governance–promise, limits, politics. Special section: 365-373. https://doi.org/10.1080/09640568.2018.1513832

Vogel, B., & Henstra, D. (2015). Studying local climate adaptation: A heuristic research framework for comparative policy analysis. *Global Environmental Change*, *31*, 110-120. https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2015.01.001

von Wehrden, H., Luederitz, C., Leventon, J., & Russell, S. (2017). Methodological challenges in sustainability science: A call for method plurality, procedural rigor and longitudinal research. *Challenges in Sustainability*, *5*(1), 35-42. https://doi:10.12924/cis2017.05010035

weADAPT (2017). Urban Resilience Roadmap. *USAID*. Retrieved from: http://urbanresilienceroadmap.weadapt.org/process-map.html

Webb, R., Rissik, D., Petheram, L., Beh, J.L., & Smith, M.S. (2019). Co-designing adaptation decision support: meeting common and differentiated needs. *Climatic Change*, *153*(4), 569-585. https://doi.org/10.1007/s10584-018-2165-7

Whitehead, M. (2013). Neoliberal urban environmentalism and the adaptive city: Towards a critical urban theory and climate change. *Urban Studies*, *50*(7), 1348-1367. https://doi.org/10.1177/0042098013480965

World Bank (2017). *CURB Tool. Climate Action for Urban Sustainability*. Version 2.0 (Open Beta). User Guide. Retrieved from: http://documents.worldbank.org/curated/en/499791474471650053/User-guide

Zografos, C., & Howarth, R.B. (2010). Deliberative ecological economics for sustainability governance. *Sustainability*, *2*(11), 3399-3417. https://doi.org/10.3390/su2113399

Управління та прийняття рішень щодо розвитку міст в умовах змін клімату: критичний огляд рамкових умов, методів та інструментів крізь призму екологічної економіки і сталого розвитку

В. І. Соловій[1], І. А. Дубовіч[2]

Впродовж минулих 10-15 років міста стали безперечними лідерами в діях щодо глобальних змін клімату. Різноманіття рамкових умов, методів та інструментів, спрямованих на підтримку управління та прийняття рішень щодо розвитку міст в умовах змін клімату, створили враження швидкого прогресу, втім реальні приклади успіху обмежені невеликою кількістю передових міст. Стаття спрямована на подолання розбіжності між потребами, теорією та впровадженням наявних засобів крізь призму екологічної економіки і сталого розвитку. Розроблено десять мінімальних критеріїв для вибору дієвих засобів, а саме: 1) легітимність, значущість та надійність; 2) врахування соціо-еколого-економічної динаміки; 3) критичний плюралізм; 4) інклюзивність; 5) рівність; 6) нексус; 7) прозорість; 8) зручність використання; 9) дієвість в умовах VUCA-світу; 10) потенціал для трансформацій. Відповідно до цих критеріїв було оцінено 10 рамкових умов, 13 методів та 9 інструментів, що може надати особам, які приймають рішення, основу для розуміння базових переваг і недоліків окремих засобів. Половина виявлених рамкових умов, а також деякі методи та інструменти частково відповідають мінімальним критеріям. Втім, найпоширеніші методи та інструменти підтримки прийняття рішень переважно потребують доопрацювання або заміни такими, які краще адаптовані до сучасних умов і потреб, особливо в таких аспектах, як користувацький досвід, трансформаційний потенціал та належне врахування соціо-еколого-економічної динаміки.

Важливо зазначити, що прийняття рішень щодо сталого розвитку міст в умовах змін клімату відбувається у рамках різних політичних, академічних і культурних контекстів, що має істотний вплив як на теоретичну розробку, так і на практичне застосування. Незважаючи на те, що існує безліч доступних засобів, використання досконаліших з них залишається прерогативою вузького кола користувачів, в той час як використання традиційних економічних методів у поєднанні зі спрощеними рамковими умовами залишається загальною практикою. Особливо значущою є небезпека розробки і застосування засобів, заснованих на обмежених засадах комодифікації, калькуляції та суто монетарної оцінки, які легко та зручно втілювати в сучасних політичних реаліях. Цей підхід призводить до спрощеного сприйняття клімату, як такого, який можна «відремонтувати» шляхом втілення кількох оптимально підібраних заходів, що втім загрожує непоправною шкодою та втратою можливості досягти цілей Паризької угоди і зберегти життєздатний клімат.

Зважаючи на актуальність викликів, пов'язаних зі змінами клімату, потрібно покращувати доступність добре збалансованих, але більш складних рамкових умов, методів та інструментів, щоб приймати краще поінформовані, зважені і вчасні рішення. Розвиток багатокритеріальних, багатоцільових, адаптивних, стійких і трансформаційних методів та інструментів у напрямі кращої доступності для неекспертної аудиторії сприятиме ефективнішим діям стосовно змін клімату, а запропоновані мінімальні критерії можуть надати для цього базові дороговкази.

Ключові слова: сталі міста; справедливий перехід; економіка змін клімату; пом'якшення; адаптація; трансдисциплінартність; дослідження, спрямовані на зміни; дизайн, орієнтований на користувача; стійкість; багатокритеріальність; безпрограшні рішення.

Управления и принятия решений по развитию городов в условиях изменений климата: критический обзор рамочных условий, методов и инструментов через призму экологической экономики и устойчивого развития

В. И. Соловий[1], И. А. Дубович[2]

На протяжении прошлых 10-15 лет города стали безупречными лидерами в действиях относительно глобальных изменений климата. Многообразие рамочных условий, методов и инструментов поддержки управления и принятия решений по развитию городов в условиях изменений климата созда-

[1] *Соловій Віталій Ігорович* – аспірант кафедри екологічної економіки. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-215-78-78. 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.: +38-032-239-27-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3719-7957

[1] *Соловий Виталий Игоревич* – аспирант кафедры экологической экономики. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-097-215-78-78 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. Тел.: +38-032-239-27-78. E-mail: iondubovici@ukr.net ORCID: https://orcid.org/0000-0002-3719-7957

ли впечатление быстрого прогресса, но реальные примеры успеха ограничены небольшим количеством передовых городов. Это исследование направлено на преодоление расхождения между потребностями, теорией и применимости имеющихся средств сквозь призму экологической экономики и устойчивого развития. Разработаны десять минимальных критериев для выбора действенных средств, а именно: 1) легитимность, значимость и надежность; 2) учет социо-эколого-экономической динамики; 3) критический плюрализм; 4) инклюзивность; 5) равенство; 6) нексус; 7) прозрачность; 8) удобство; 9) действенность в условиях VUCA-мира; 10) потенциал для трансформаций. Согласно этим критериям, были оценено 10 рамочных условий, 13 методов и 9 инструментов, что может помочь лицам, принимающим решения, понять базовые преимущества и недостатки отдельных средств.

Половина выявленных рамочных условий, а также некоторые из методов и инструментов по крайней мере частично соответствуют минимальным критериям. Наиболее распространенные на сегодняшний день методы и инструменты поддержки принятия решений требуют доработки или замены такими, которые лучше адаптированы к современным условиям и потребностям, особенно в таких аспектах, как пользовательский опыт, трансформационный потенциал, интеграция социо-эколого-экономической динамики и взаимосвязей.

Важно учитывать, что принятие решений по устойчивому развитию городов в условиях изменений климата происходит в рамках различных политических, академических и культурных контекстов, что оказывает существенное влияние как на теоретическую разработку, так и на практическое применение. Несмотря на то, что существует множество доступных средств, использование более совершенных из них остается прерогативой узкого круга пользователей, в то время как использование традиционных экономические методов в сочетании с упрощенным рамочными условиями остается общей практикой. Особенно значима опасность разработки и применения средств, основанных на ограниченных идеях комодификации, калькуляции и чисто монетарной оценки, которые легко и удобно воплощать в современных политических реалиях. Этот подход приводит к упрощенному восприятию климата, как такового, который можно «отремонтировать» путем внедрения нескольких оптимально подобранных мер, что грозит невосполнимым ущербом, потерей возможности достичь целей Парижского соглашения и сохранить жизнеспособный климат.

Учитывая актуальность вызовов, связанных с изменениями климата, нужно улучшать доступность хорошо сбалансированных, но более сложных рамочных условий, методов и инструментов, чтобы принимать лучше информированы, взвешенные и своевременные решения. Развитие многокритериальных, многоцелевых, адаптивных, устойчивых и трансформационных методов и инструментов в направлении лучшей доступности для неэкспертной аудитории будет способствовать эффективным действиям по изменению климата, а предложенные минимальные критерии могут предоставить для этого базовые указатели.

Ключевые слова: устойчивые города; справедливый переход; экономика изменений климата; смягчения; адаптация; трансдисциплинартность; исследования, направлены на изменения; дизайн, ориентированный на пользователя; устойчивость; многокритериальность; беспроигрышные решения.

8. ЛІСОВА ІНЖЕНЕРІЯ: ТЕХНІКА, ТЕХНОЛОГІЯ, ДОВКІЛЛЯ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412018
Article received 2019.12.14
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Akay, Abdullah Emin
abdullah.akay@btu.edu.tr
Bursa Technical University, 16310 Bursa, Turkey

*UDC 631*3 : 630*375*

Productivity Analysis of Modified Farm Tractors in Forwarding Industrial Wood Products

I. Taş[1], A. E. Akay[2]

Public demands for forest products and services have been increasing gradually in many countries all over the world. Among the forest products, mostly round woods are produced in Turkey due to high economic value. On the other hand, there is a significant increase in demand for industrial woods in the domestic market in recent years. The reason behind this increase is the need of domestic companies in the wood-based panel industry for a large amount of wood raw material. . Farm tractors are the most widely used forest machinery in the extraction of industrial wood in Turkey. Farm tractors can be effectively used in mechanized harvesting operations after receiving some modifications and additional attachments. The modified farm tractors are affordable machinery for small logging contractors since their initial purchasing costs and hourly operating costs are quite low comparing with the forest harvesting equipment (i.e. skidder, forwarder, cable yarder). In this study, productivity of a modified farm tractor was analyzed during forwarding of industrial wood products. The study was implemented in Pinus nigra stand located in (?) the city of Afyonkarahisar in Turkey. In the study, the effects of forwarding distance on productivity were evaluated using statistical analysis. The results indicated that the most time-consuming work stage was unloading the truck and piling the wood products at the landing area, followed by (in terms of time-consumption) collecting woods and loading the tractor at the stump. The average productivity of the forwarding operation was 6.06 stere/h (stere is the amount of wood pile with the height, width, and depth of one meter). It was also found that the productivity of the forwarding was significantly affected by the forwarding distance.

Key words: *Forestry; Ground-based harvesting; Mechanized logging; Timber extraction; Skidding; Time study; Efficiency; Black pine; Afyonkarahisar; Turkey.*

[1] Taş, Inanç, MSc., PhD, Student, Res. Assist., Bursa Technical University, 16310 Bursa, Turkey. Tel: +90 224 3003430 E-mail: inanc.tas@btu.edu.tr

[2] Akay, Abdullah Emin, PhD, Professor, Bursa Technical University, Faculty of Forestry, Yıldırım 16310 Bursa, Turkey. Tel: +90 224 3003426 E-mail: abdullah.akay@btu.edu.tr

Introduction. Due to the high economic value, round-wood harvesting takes a leading position among the forest products in Turkey. On the other hand, there has been a significant increase in the demand for industrial wood in the domestic market in recent years. One of the reasons for this increase is that domestic firms need a large amount of wood raw materials in the wood-based panel industry (Bilici, Akay, & Abbas, 2019). Factories processing industrial wood raw materials have to satisfy their increasing raw material needs timely and regularly for the continuity of their production. Most of the wood raw material demand (60%) in the domestic market is satisfied by the General Directorate of Forestry (GDF) (Türk, 2016). Under conditions of increasing competitiveness in Turkey's forest products industry, in order to respond to the demand for raw materials of the forest products sector and, on the other hand, to meet the need for community forest products, forests are to be managed and function on the principles of sustainability.

According to the OGM 2017 annual report (GDF, 2017), it is stated that annual wood consumption in Turkey is around 31 million m^3, approximately 21 million m^3 of it is produced by GDF, and the rest is covered by private sector and imports. According to GDF's production plans for 2018 (URL-1), it was reported that the target stumpage sale was 25.7 million m^3 in which 20 million m^3 was industrial wood and 5.7 million m^3 was firewood. The production amount for 2018, where the realization rate is 99%, was 24.85 million m^3. Approximately 19 million m^3 of this amount was industrial wood and the rest was firewood. The largest amount of wood products was fiber-chip board and followed by the log production (Tab. 1). This also corresponds to 75% of the industrial wood produced.

The forested areas in Turkey generally have a steep terrain, which increases the costs of traditional logging method based on human and animal power, compared to machine-based logging operations (Eroğlu, Sarıyıldız, Küçük, & Sancal, 2016). The fragmented structure of the forest lands and operating in small harvesting units are also the key factors that increase the cost of timber extraction. In addition, traditional logging methods are limited in terms of amount of extracted wood per unit area. In today's social and economic conditions, various mechanized logging equipment is used in forestry activities in Turkey in order to increase the productivity while protecting the forest ecosystem and to improve the socio-economic life of the forestry workers who mostly live in forest villages.

Table 1

Distribution of wood production regarding product types in 2018 (×1000)

Product types	Production		Planned Sale		Actual Sale	
	Planned	Actual Amount	Amount	Profit (YTR)	Amount	Profit (YTR)
Log (m^3)	7,000	6,996	4,409	1,256,067.54	4,179	1,646,924
Wire pole (m^3)	60	71	54	20,014.45	56	23,328
Mining pole (m^3)	775	707	464	110,169.17	357	115,889
Industrial wood (m^3)	1,035	864	636	129,624.90	478	130,381
Pulp wood (m^3)	3,033	3,099	1,958	361,309.93	1,629	366,261
Fiber-chip (m^3)	8,085	7,316	5824	675,291.72	6,079	738,880
Pole (m^3)	12	12	11	1,909.79	8	1,675
Rod wood (stere)	0.00	0.00	0.15	20.80	0.12	18
Fire-wood (stere)	5,700	4,832	4,317	132,347	3,837	115,457

The forest operations in which mechanization is most commonly used are tree felling and the extraction of forest products from the felling sites (Erdaş Acar, & Eker, 2014). However, the utilization rate of mechanized logging methods in Turkey is still quite low, while the target is to increase this rate to around 15%. Farm tractors are used in many countries in the concept of small-scale forest harvesting (Yu, Gallagher, Mitchell, & O'Neal, 2016). In Turkey, the mechanized equipment that is most frequently used in timber extraction is the modified farm tractors as well (Gülci & Akay, 2017). Proto et al. (2018) reported that the modified farm tractors are also widely used in European countries such as Italy, Croatia, etc.

The modified farm tractors are used in different ways as a skidder, loader, and forwarder (Öztürk & Akay, 2007). Cable systems can be also applied in both uphill and downhill directions by farm tractors (Marenče & Krč, 2016; Lee et al., 2017). Transporting forest products from stump to landing is a difficult and dangerous job. For the farm tractors to be used in these hard works, especially motor power, tail shaft and hydraulic equipment are of great importance. The tractor must be structurally and powerfully suited to forestry works. For instance, there should be a correct ratio between the tractor's engine power and weight. Besides, the weight has a positive effect in terms of increasing the pulling force of the tractor and decreasing wheelslip.

Since farm tractors have proportionally more engine power than their weight, wheelslip increases in heavy jobs such as skidding and winching in the forest. In this

case, it can cause work accidents and damage to the machines. In order to eliminate the drawbacks caused by the decrease in the weight of the tractor, additional weights are attached to various parts of the tractors. When extracting industrial woods, carrier saddles are attached in the front and at the back of the tractor to carry wood products, which also help to balance the weight. Besides, additional measures can be taken to empower traction such as reducing tire inflation pressures and using an open profile tire or attaching a chain to the rear tires (Öztürk & Akay, 2007). Due to the drums attached to the back of the farm tractors, they can be used as a skidder. The rotation of these drums, which depend on the steel cable rolling capacity of a certain length, is carried out with the power taken from the tail shaft of the tractor.

Tractors can get the logs out of the forest by moving in the forest along skid roads, and they can pull the logs from the slopes under the road to the side of the road with their drums by standing on the roadside landing (Fig. 1). In areas where the slope of the land is less than 30%, the products can be removed from the felling site by skidding them on the skid roads with the farm tractor (Figure 1). Since the farm tractor's mobility is limited in mountainous areas where the slope is more than 30%, the tractor stands in a suitable place on the forest roadside and removes the products from the stump by cable winching method (Türk, 2011). When the transported products are industrial wood in the unit of stere (i.e. height, width and depth is a meter of wood), removal operations are carried out by means of a saddle attached to the tractor (Fig. 2). In this way, wood is loaded on the saddles mounted on the front and rear part of a tractor and carried to the landing (Türk, 2016).

The productivity of the equipment and methods used in the logging operations are generally determined depending on the operation time. The most commonly used work measurement technique in calculating the operation time is the time study method. Within the scope of the time study, the work is divided into sub-sections or stages, and the standard time is determined. In order to apply the time study, the work needs to be subdivided into stages. Basic tools used in time studies are chronometers and time study forms. Besides, distance measuring instruments, clinometer, and metal compass are also used in time study.

Figure 1. Cable winching (left) and skidding (right) with farm tractor

Figure 2. Extracting stere woods with a saddle attached to the tractor

Time studies are applied in three different ways; continuous time measurement, repeated time measurement and work sampling (Gülci, 2014). In the continuous time measurement technique, the work is constantly monitored and the value read from the chronometer is recorded at the end of the work stages. In the repeated time measurement technique, the chronometer is read at the beginning of the stages, and it is reset at the end and restarted. In the work sampling, the work is observed with equal time intervals and the current work stages are recorded. In this study, the productivity of a modified farm tractor during the extraction of stere wood products was analyzed. The study was carried out in a Black pine stand in the city of Afyonkarahisar in Turkey. In the study, the effects of the skidding distance on productivity were also evaluated using statistical analysis.

Material and Methods. *Study Area.* Afyonkarahisar Forest Enterprise Chief (FEC), chosen as the study area, is located within the boundaries of Afyonkarahisar Forest Enterprise Directorate (FED) in Eskişehir Forest Regional Directorate (Fig. 3). Forest resources of the Afyonkarahisar FED are given in Tab. 2. Afyonkarahisar FED is about 172,000 hectares, of which 43,000 hectares

are covered with forests. The dominant tree species in the section 428 where the extraction study was carried out was Black pine. The average ground slope in the field was determined as 30%.

Time Study. The productivity of the mechanized logging equipment and systems used in harvesting operations are determined depending on the operation time. In this study, the repeated time measurement method, which is one of the most common time study methods in forestry, was used in order to analyze the productivity of the timber extraction carried out with the New Holland 55-56 S farm tractor (Gülci, 2014). Technical features of the farm tractor used in the study are given in Tab. 3.

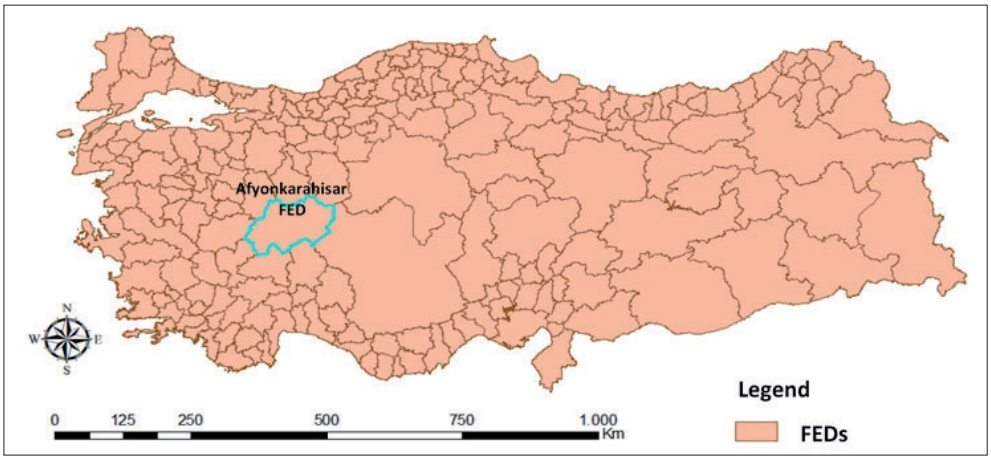


Figure 3. The location of the Afyonkarahisar FED

Table 2

Forest resources of the Afyonkarahisar FED (ha)

FECs	Productive Forest	Unproductive Forest	Forested Area	Unforested Area	Total Area
Hocalar FEC	9,664.50	19,754.80	29,419.30	29,890.50	59,309.80
Emirdağ FEC	10,170.90	36,230.20	46,401.10	217,629.60	264,030.70
Sinanpaşa FEC	11,241.20	9,218.70	20,459.90	658,78.90	86,338.80
Sandıklı FEC	15,255.80	17,778.00	33,033.80	101,018.20	134,052.00
Çay FEC	14,183.40	18,804.70	32,988.10	236,379.20	269,367.30
Afyonkarahisar FEC	18,789.40	24,282.70	43,072.10	129,265.40	172,337.50
Şuhut FEC	5,331.50	9,764.10	15,095.60	170,752.00	185,847.60
Total	84,636.70	135,833.20	220,469.90	950,813.80	1,171,283.70

Table 3

Technical features of the New Holland 55-56 S tractor evaluated in the study

Engine	unit ofmeasmeasure	Values
Max horse power	(HP)	55
Cylinder / Aspiration		3 / Turbo / Intercooler
Cylinder volume	(lt)	2.9
Max torque	(Nm)	226
RPM at max torque	(r/min)	1,400
Tail Shaft		
RPM of tail shaft	(r/min)	540
Engine RPM	(r/min)	1,967
Weight (kg)		
Total weight without cabin (2WD / 4WD)	(kg)	2,100 / 2,300
Total weight with cabin (2WD / 4WD)	(kg)	2,220 / 2,420

The work measured in timber extraction is divided into sub-sections and work stages. In this study, a digital chronometer was used to measure the operation time in four work stages; 1) the time for the unloaded tractor to reach the point where the wood products are located, 2) the time to collect and load the products at the stump, 3) the time for the loaded tractor to reach the landing area, 4) the time of unloading tractor and stacking the wood products at the landing (Figure 4). The first stage starts with the tractor being unloaded on the ramp and ends when it stops for loading the products at the harvesting site. At the second stage, the forest workers collect the products at the stump and load them on the tractor. The third stage starts with the movement of the tractor from the harvesting area and ends when the tractor reaches the landing area. At the last stage, the tractor is unloaded on the landing and the wood products are stacked. The lost time and delay time was not evaluated in the study.

(1) (2)

(3) (4)

Figure 4. The work stages of the tractor skidding: 1) the unloaded tractor to reach the point where the wood products are located; 2) collect and load the products at the stump; 3) the time of the loaded tractor to reach the landing area; 4) the time of unloading tractor and stacking the wood products at the landing.

Time study forms were used to record time measurements for the extraction method evaluated in the study. In addition to the time measurements, the skidding distances measured by a steel tape and the quantity of products (stere) stacked on the ramp were recorded on the forms. A total of 45 turns were recorded during timber extraction. The amount of product per turn in the study was 5.5 stere in 40 turns, 5 stere in four cycles, and 4 stere in one cycle. Hourly productivity (P) in stere per hour for each turn is calculated as follows:

$$P = \frac{v}{t}60 \quad (1)$$

v = Timber volume per turn (stere)
t = Total time per turn (min)

Statistical Analysis. Within the scope of hourly productivity and time measurement studies, to examine the total cycle time and the factors affecting efficiency, firstly the correlation and then regression analyzes were conducted. As the skidding (forwarding) distance varied in the study, only the skidding distance was evaluated as an independent variable since the amount of product transported remained constant in 89% (5.5 stere) of the cycles. The relationship between the skidding distance variable and the cycle time and productivity were examined with the one-way ANOVA analysis at 0.05 significance level.

Normality test based on the Skewness and Kurtosis coefficients was performed to examine the normality of the variables. In order to investigate the effect of skidding distance on cycle time and productivity, skidding distance was evaluated in three classes (short: < 200 m, medium: 200-300 m, long: > 300 m). The investigation of the relationships between the variables was carried out with the Pearson Correlation Test and the determination of mathematical models for the independent variables using the Linear Regression Analysis. SPSS 16.0 software was used to conduct statistical analysis in the study.

Results and Discussion. The basic statistical values (average, maximum, minimum and standard deviation) obtained for the productivity and the skidding distance factor are given in Tab. 4. It was found that the average skidding distance was 250 m while the average productivity of transporting stere wood with a saddle attached to the tractor was determined as 6.06 stere/hour. In a similar study where the average skidding distance was 320 m, the hourly productivity was reported as 7.7 m^3/h in the skidding operation with a farm tractor (Öztürk, 2010). The Skewness and Kurtosis coefficients were examined to check if the variables showed normal distribution. The closer these values are to zero, the closer the data is to the normal distribution. In addition, when the skewness and kurtosis coefficients are divided by their standard deviation values, the data is normally distributed if the result is in the range of -2 to 2 (George & Mallery, 2003). The results revealed that variables show normal distribution (Tab. 5).

Table 4

Basic statistical findings of productivity and skidding distance

Variables	Unit	Mean	Min	Max	Standard Deviation
Skidding distance	m	250	396.00	163.00	65.39
Productivity	stere/hr	6.06	10.27	2.73	2.01

Table 5

Findings of normality test

Variables	Unit	Skewness		Kurtosis	
		Statistics	Standard Dev.	Statistics	Standard Dev.
Skidding distance	m	0.643	0.354	-0.651	0.695
Productivity	stere/hr	0.024	0.354	-1.297	0.695

The basic statistical values (mean, maximum, minimum and standard deviation) of the time measurements of the work stages in the tractor skidding study are given in Tab. 6. According to the results, the average total time for skidding with the tractor was determined as 59.12 minutes. When the work stages are evaluated, it was found that the most time-consuming stage in a skidding cycle was unloading tractor and stacking the wood products at the landing (35.97%), followed by (in terms of time consumption) collecting and loading the products at the stump (33.14%).

Pearson Correlation Test was applied to reveal the relationship between hourly productivity and skidding distance with the tractor. Correlation test results are given in Tab. 7. The results showed that there was a significant ($p < 0.001$) relationship between skidding distance and total cycle time and productivity at the 99% confidence level. Accordingly, it was determined that as the skidding distance increases, the total cycle time increases and consequently the productivity decreases. In similar studies, it has been stated that the increase in tractor skidding distance increases the total cycle time which decreases the productivity (Behjou, Majnounian, Namiranian, & Dvorak, 2008; Kulak, Arkadiusz, & Grzegorz, 2017; Öztürk, Varsak, & Bilici, 2019). In the study, the distances were divided into three classes (short: ≤ 200 m, medium: 200-300 m, and long: > 300 m) to examine the effect of skidding distance on total cycle time and productivity in more detail. Then, using the One-Way ANOVA with 0.05 significance level, the relationship between skidding distance classes and total cycle time and productivity was evaluated (Tab. 8).

Table 6

Basic temporal (min) findings of work stages in skidding operation

Work stages	Mean	Min	Max	Standard Dev.
The time of the unloaded tractor to reach the point where the wood products are located	6.30	1.85	18.45	3.82
The time to collect and load the products at the stump	19.59	12.45	26.93	4.22
The time of the loaded tractor to reach the landing area	11.96	4.97	32.68	6.81
The time of unloading tractor and stacking the wood products at the landing	21.27	10.43	36.57	6.80
Total Cycle Time	59.12	32.14	87.88	17.28

Table 7

Findings of correlation analysis

Variables	Coefficient used	Skidding distance	Total Cycle Time	Productivity
Skidding distance	Pearson Correlation Coefficient	1	0.905	-0.875
	Sig. (2-tailed)		0.000	0.000
	N	45	45	45
Total Cycle Time	Pearson Correlation Coefficient	0.905	1	-0.978
	Sig. (2-tailed)	0.000		0.000
	N	45	45	45
Productivity	Pearson Correlation Coefficient	-0.875	-0.978	1
	Sig. (2-tailed)	0.000	0.000	
	N	45	45	45

Table 8

Basic statistical values for skidding distance classes

Variables	Skidding Distance Class	N	Mean	Standard Dev.	Standard Error	Min	Max
Total Cycle Time (min)	< 200 m	23	48.32	13.01	2.71	32.14	77.57
	200-300 m	11	61.32	12.47	3.76	35.18	80.29
	> 300 m	11	79.50	7.43	2.24	65.70	87.88
	Total	45	59.12	17.28	2.58	32.14	87.88
Productivity (stere/hr)	< 200 m	23	7.27	1.75	0.364	4.25	10.27
	200-300 m	11	5.65	1.50	0.45	4.11	9.38
	> 300 m	11	3.96	0.63	0.19	2.73	5.02
	Total	45	6.06	2.01	0.30	2.73	10.27

When skidding distances were classified, it was found that total cycle time increased from short skidding distance (48.32 min) to medium (61.32 min) and long skidding distance class (79.50 min). On the other hand, it was determined that the productivity value increased from long skidding distance class (3.96 stere/hour) to medium (5.65 stere/hour) and short skidding distance class (7.27 stere/hour).

Considering the correlation test results, the Linear Regression Analysis was used to reveal the relationship between independent variable (skidding distance) and dependent variable (total cycle time and productivity). According to the One-Way ANOVA results, it was found that the regression model related to the total cycle time and skidding distance was statistically significant at 99% confidence level ($p < 0.001$) (Tab. 9). The R^2 value obtained (0.819) showed that the regression model adequately explained the total cycle time for the farm tractor. The regression model with the dependent variable (y) representing the total cycle time and the skidding distance (x), which is the independent variable effective on the productivity, is shown in the following equation:

$$y = -0{,}645 + 0{,}239x \quad (2)$$

According to the One-Way ANOVA results, it was found that the regression model related to total productivity and skidding distance was 99% confidence level ($p < 0.001$ (Tab. 10). The R^2 value obtained (0.875) showed that the regression model adequately explained the productivity for the tractor. The regression model with the dependent variable (y) representing the productivity and the skidding distance (x), which is the independent variable effective on the productivity, is shown in the following equation:

$$y = 12{,}789 - 0{,}027x \quad (3)$$

Table 9

One Way Variance Analysis results for total cycle time

Model		Sum Square	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	10,750.87	1	10,750.87	194.11	0.000
	Residual	2,381.56	43	55.39		
	Total	13,132.43	44			

Table 10

One Way Variance Analysis results for productivity

Model		Sum Square	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	136.01	1	136.01	140.91	0.000
	Residual	41.50	43	0.965		
	Total	177.51	44			

Conclusions. A significant increase in industrial wood demand is observed on the global scale. In Turkey, the main reason for this increase is the high need for wood in the wood-based panel industry. Farm tractors that have been modified in accordance with forestry activities can be used effectively in removing industrial wood product from the forest. Modified farm tractors are more affordable machines in terms of initial purchase price and hourly operating costs compared to advanced harvesting machines (e.g. harvester, feller-buncher, forwarder, etc.). In this study, the productivity of a modified farm tractor during the extraction of industrial wood products was analyzed by time analysis method. In addition, the effect of skidding distance on total cycle time and productivity was investigated. The study was carried out in the Black pine stand located in Afyonkarahisar Forest Enterprise Chief. In the study, the skidding distance was accepted as an independent variable and regression models were developed for total time and productivity estimates in the study of transporting products in saddles attached to the farm tractor. As a result of statistical analysis, it was determined that the most time-consuming working stage was the unloading and stacking of products on the landing. It was determined that the collecting the products and loading the products to the tractor was the second most time consuming stage. The results of the analysis showed that the productivity of wood extraction was significantly affected by the skidding distance.

References

Behjou, F.K., Majnounian, B., Namiranian, M., & Dvorak, J. (2008). Time study and skidding capacity of the wheeled skidder Timberjack 450c in Caspian forests. *Journal of Forest Science*, *54*, 183-188. Retrieved from https://www.agriculturejournals.cz/publicFiles/01282.pdf

Bilici, E., Akay, A.E., & Abbas, D. (2019). Assessing the effects of Site Factors on the Productivity of a Feller Buncher: A Time and Motion Analysis. *Journal of Forestry Research, 30* (4), 1471-1478. https://doi.org/10.1007/s11676-018-0696-4

Erdaş, O., Acar, H.H., & Eker, M. (2014). *Forest Transportation Techniques*. Trabzon: Karadeniz Technical University, Faculty of Forestry, Pub. № 233/39.

Eroğlu, H., Sarıyıldız, T., Küçük, M., & Sancal, E. (2016). The Effects of Different Logging Techniques on the Physical and Chemical Characteristics of Forest Soil. *Baltic Forestry, 22* (1), 139-147. Retrieved from https://www.researchgate.net/publication/304569849_The_Effects_of_Different_Logging_Techniques_on_the_Physical_and_Chemical_Characteristics_of_Forest_Soil

GDF (2017). General Directorate of Forestry, 2017 Action Report. Retrieved from https://www.ogm.gov.tr/ekutuphane/FaaliyetRaporu/Forms/AllItems.aspx

George, D., & Mallery, P. (2003). *Using SPSS for Windows Step by Step: A Simple Guide and Reference (4th ed.)*. London: Pearson Education.

Gülci, N. (2014). Researches on Precision Forestry in Forest Planning. Ph.D. Thesis, Kahramanmaraş Sütçü İmam University, Faculty of Forestry, Kahramanmaraş. 264 p.

Gülci, N. & Akay, A.E. (2017). Productivity analysis of skidding operations with farm tractor on skid roads: The case of Osmaniye forest enterprise chief, Turkey. 50th International Symposium on Forestry Mechanization *Innovating the Competitive Edge: From Research to Impact in the Forest Value Chain*, 25-29 September, Brasov, Romania.

Kulak, D., Arkadiusz, S., & Grzegorz, S. (2017). Productivity and Time Consumption of Timber Extraction with a Grapple Skidder in Selected Pine Stands. *Croatian Journal of Forest Engineering, 38*, 55-63. https://hrcak.srce.hr/file/257412

Lee, E., Lm, Sangjun, & Han, Sang-Kyun (2017). Productivity and cost of a small-scale cable yarder in an uphill and downhill area: a case study in South Korea. *Journal Forest Science and Technology, 14* (1), 16-22. https://doi.org/10.1080/21580103.2017.1409662

Marenče, J. & Krč, J. (2016). Possibilities of Using Small Tractors for Forestry Operations on Private Property. *Croatian Journal of Forest Engineering, 37* (1), 151-162. Retrieved from http://www.crojfe.com/site/assets/files/4038/marence.pdf

Öztürk, T. & Akay, A.E. (2007). Modifying Farm Tractors for Forest Harvesting Operations. In *Bottlenecks, Solutions, and Priorities in the Context of Functions of Forest Resources* (pp. 1111-1120). İstanbul.

Öztürk, T. (2010). Productivity of new Holland farm tractor at beech stands on mountainous areas in black sea region. *Forestry Ideas, 16* (1), 52-57. Retrieved from https://forestry-ideas.info/issues/issues_Download.php?download=7

Öztürk, T., Varsak, M., & Bilici, E. (2019). Evaluating Productivity and Cycle Time of Skidding Method

with Farm Tractors in Bigadic Forest Enterprise Directorate in Turkey. *European Journal of Forest Engineering, 5* (2), 77-82. https://doi.org/10.33904/ejfe.655241

Proto, A.R., Macrì, G., Visser, R., Russo, D., & Zimbalatti, G. (2018). Comparison of timber extraction productivity between winch and grapple skidding: A Case study in Southern Italian Forests. *Forests, 9* (2), 61-72. https://doi.org/10.3390/f9020061

Türk, Y. (2011). The Optimization of Skid Trails Network for Extracting of Industrial Wood Based Forest Products by Farm Tractors in Forestry. Karadeniz Technical University, Ph.D. Thesis, Trabzon. 159 p.

Türk, Y. (2016). Planning Extracting of Industrial Wood Based Forest Products by Using GIS and Investigation of Current Practices (Case Study-Denizli Region). *Ormancılık Dergisi, 12* (2), 153-162. Retrieved from http://static.dergipark.org.tr/articledownload/edf2/ca03/6774/58909598b5ea4.pdf?

URL-1: 2019. https://ogm.gov.tr/ekutuphane/UretimSatisveStokFaaliyetleri/Forms/ AllItems.aspx? RootFolder=%2fekutuphane%2fUretimSatisveStokFaaliyetleri%2f2018%20Y%c4%b1l%c4%b1%20%c3%9cretim%2c%20Sat%c4%b1%c5%9f%20ve%20Stok%20Durumu&FolderCTID=0x01200032A26C936B14684DAFABCC8E5880B0F3

Yu, A., Gallagher, T.V., Mitchell, D.D., & O'Neal, B. (2016). Application of a Small-Scale Equipment System for Biomass Harvesting. *Small-scale Forestry*, *16*, 133-146. https://doi.org/10.1007/s11842-016-9347-9

Аналіз продуктивності модифікованих сільськогосподарських тракторів під час транспортування лісоматеріалів

І. Таш[1], А. Е. Акаі[2]

У багатьох країнах світу попит населення і державного сектора на лісоматеріали і послуги, пов'язані з лісом, поступово збільшується. З лісоматеріалів у Туреччині в основному заготовляють круглий ліс внаслідок його високої економічної цінності. З іншого боку, в останні роки спостерігається значне зростання попиту на ділову деревину на внутрішньому ринку. Причиною цього є висока потреба в деревній сировині з боку вітчизняних компаній у галузі виробництва деревних плит. Сільськогосподарські трактори є найширше використовуваним лісозаготівельним обладнанням під час трелювання заготовленої ділової деревини в Туреччині. Сільськогосподарські трактори можуть бути ефективно використані в механізованих лісозаготівельних роботах, особливо для вивезення ділових лісоматеріалів з лісу, після здійснення деяких модифікацій і встановлення додаткових навісних пристосувань.

Для невеликих лісозаготівельних підрядників модифіковані сільськогосподарські трактори є доступнішими машинами з погляду початкової покупної ціни і погодинних експлуатаційних витрат порівняно з сучасною лісозаготівельною технікою (наприклад, комбайном, звалювально-пакетувальною машиною, форвардером і т. п.).

Методом часового аналізу проаналізовано продуктивність модифікованого сільськогосподарського трактора під час трелювання ділової деревини у повністю завантаженому стані. Крім того, було вивчено вплив відстані трелювання на загальний час циклу і продуктивність. Дослідження проводили у деревостані чорної сосни, розташованому в лісгоспі Афйонкарахісар в Туреччині. У дослідженні відстань трелювання було прийнято як незалежну змінну, були розроблені регресійні моделі для оцінки загального часу і продуктивності при дослідженні транспортування деревини в сідлах, прикріплених до сільськогосподарського трактора. В результаті статистичного аналізу встановлено, що найбільш трудомістким етапом роботи є вивантаження і укладання деревини на майданчику. Встановлено, що збір деревини і її навантаження на трактор є другим за тривалістю етапом. Середня годинна продуктивність трелювальної операції склала 6,06 м^3.

Результати аналізу також показали, що на продуктивність трелювання деревини істотний вплив виявляє відстань трелювання.

Ключові слова: лісове господарство; лісозаготівля з наземним трелюванням; механізована заготівля лісу; вивезення деревини; трелювання; аналіз тимчасових витрат; ефективність; сосна чорна; Афьонкарахисар; Туреччина.

Анализ производительности модифицированных сельскохозяйственных тракторов при транспортировке лесоматериалов

И. Таш[1], А. Е. Акаи[2]

Во многих странах мира спрос населения и государственного сектора на лесоматериалы и услуги,

[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, Іилдирим, 16310 Бурса, Туреччина. Тел .: +90 224 3003426. E-mail: abdullah.akay@btu.edu.tr

[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

связанные с лесом, постепенно увеличивается. Из лесоматериалов в Турции в основном заготавливают круглый лес из-за его высокой экономической ценности. С другой стороны, в последние годы наблюдается значительный рост спроса на деловую древесину на внутреннем рынке. Причиной этого является высокая потребность в древесном сырье со стороны отечественных компаний в отрасли производства древесных плит. Сельскохозяйственные тракторы являются наиболее широко используемым лесозаготовительным оборудованием при трелевке заготовленной деловой древесины в Турции. Сельскохозяйственные тракторы могут быть эффективно использованы в механизированных лесозаготовительных работах, особенно для вывоза деловых лесоматериалов из леса, после проведения некоторых модификаций и установки дополнительных навесных приспособлений.

Для небольших лесозаготовительных подрядчиков модифицированные сельскохозяйственные тракторы являются более доступными машинами с точки зрения начальной покупной цены и почасовых эксплуатационных расходов по сравнению с современной лесозаготовительной техникой (например, комбайном, валочно-пакетирующей машиной, форвардером и т. п.).

В этой работе проанализирована методом временного анализа производительность модифицированного сельскохозяйственного трактора при трелевке деловой древесины в полностью загруженном положении. Кроме того, было изучено влияние расстояния трелевки на общее время цикла и производительность. Исследование проводилось в древостое черной сосны, расположенном в лесхозе Афйонкарахисар в Турции. В исследовании расстояние трелевки было принято в качестве независимой переменной, и были разработаны регрессионные модели для оценки общего времени и производительности при исследовании транспортировки древесины в седлах, прикрепленных к сельскохозяйственному трактору. В результате статистического анализа установлено, что наиболее трудоемким этапом работы была выгрузка и укладка древесины на площадке. Установлено, что сбор древесины и ее погрузка на трактор являются вторым по длительности этапом. Средняя часовая производительность трелевочной операции составила 6,06 м^3.

Результаты анализа также показали, что на производительность трелевки древесины существенное влияние оказало расстояние трелевки.

Ключевые слова: лесное хозяйство; лезозаготовка с наземной трелевкой; механизированная заготовка леса; вывозка древесины; трелевка; анализ временных затрат; эффективность; сосна черная; Афёнкарахисар; Турция.

9. РЕСУРСООЩАДНІ ТА ЕКОЛОГОБЕЗПЕЧНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЕРЕВООБРОБКИ

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412019
Article received 2019.12.14
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Pavlo Bekhta
bekhta@ukr.net
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674.049.2

Вплив температури термічного ущільнення підкладки, типу лаку і кількості його шарів на блиск опорядженої поверхні

П. А. Бехта[1], Ю. В. Максимів[2], Т. Кристоф'як[3]

В основному, поверхня підкладки шліфується перед нанесенням на неї лакового покриття. Метою дослідження є з'ясування можливості заміни операції шліфування підкладки перед нанесенням на неї лакового покриття операцією термічного ущільнення і встановлення впливу температури термічного ущільнення, типу лаку і кількості його шарів на блиск опорядженої поверхні. Як підкладку було використано лущений вільховий шпон (Alnus glutinosa), приклеєний до волокнистої плити середньої щільності (MDF). Перед приклеюванням шпону до поверхні MDF він піддавався термічному ущільненню за температур 150, 180 та 210°C і тиску 2 МПа впродовж 3 хв. Використано три типи лаку: водорозчинний (IQ-HY1330-15), поліуретановий (R533-2-15) і акриловий (UV120-45) ультрафіолетового затвердіння. На термічно ущільнену поверхню підкладки наносили один або два шари лакового покриття, з міжшаровим шліфуванням або без нього. Оцінку блиску здійснювали при куті падіння світла 60° за допомогою блискоміра Erichsen PICOGLOSS 503. Для порівняння визначали блиск лакового покриття на шліфованій підкладці. Встановлено, що всі змінні фактори суттєво ($p \leq 0,05$) впливають на формування блиску лакованої поверхні на термічно ущільненій підкладці. Акриловий лак ультрафіолетового затвердіння дає змогу сформувати лакове покриття з найвищими значеннями блиску. Водорозчинний та поліуретановий лаки формують матове і напівматове покриття поверхні. Із збільшенням кількості шарів лаку блиск підвищується. Міжшарове шліфування не дає відчутного ефекту на блиск лакованої поверхні на термічно ущільненій підкладці.

Ключові слова: *термо-механічне ущільнення; опорядження; блиск; водорозчинний лак; поліуретановий лак; акриловий лак.*

---

[1] *Бехта Павло Антонович* – академік Лісівничої академії наук України, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. Факс: +38-032-237-89-05. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4320-5247

[2] *Максимів Юрій Володимирович* – аспірант кафедри технологій деревинних композиційних матеріалів, целюлози та паперу. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-032-238-44-99. E-mail: maxymiv.yura@gmail.com

[3] *Кристоф'як Томаш* – доктор габілітований, кафедра деревинних композиційних матеріалів. Познанський університет наук про життя, вул. військова Польського 28, Познань, 60-637, Польща. E-mail: krystofiak@up.poznan.pl ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2060-0295

Вступ. На сьогодні оздоблення деревини в основному використовують для того, щоб покращити естетичність і захистити поверхню від навколишніх впливів – тепла, світла, температури, вологості, вітру, стирання тощо. Оздоблення може підвищити естетичні характеристики деревини покращенням її блиску. Блиск є властивістю поверхні, яка відбиває світло і використовується для оцінки якості готового виробу. Якість блиску залежить від низки факторів, включаючи породу деревини, хімічний склад і тип системи покриття, тип лаку, кількість шарів і спосіб підготовки субстрату (Zivkovic 2004; Cakicier, Korkut, & Korkut, 2011; Bekhta et al., 2014).

Неоднорідність структури поверхні впливає на відбивну здатність підкладки і проявляється у нерівномірному блиску сформованих на ній лакофарбових покриттів. Мета процесів підготовки поверхні (включаючи стругання та шліфування) перед нанесенням покриття – створити вирівняну та очищену поверхню, як необхідну умову якісної взаємодії покриття з підкладкою. Гладка поверхня важлива для гарного зовнішнього вигляду, оскільки оздоблення підкреслює будь-які нерівності шорсткості в поверхні (Williams, 2010). Richter, Feist, & Knabe (1995) встановили, що без підготовки поверхні збільшується просочення лакофарбових матеріалів у деревину, що призводить до збільшення витрат цих матеріалів. Шліфування робить поверхню рівномірнішою та зменшує вплив анатомії деревини на профіль шорсткості (Richter, Feist, & Knabe, 1995). Якщо шорсткість поверхні зменшується, то блиск збільшується (Lee et al., 2003). Однак шліфування є однією із найбільш трудомістких операцій у деревообробній галузі. Крім того, під час шліфування знімається частина (шар) деревини, дуже часто цінних порід, яка безповоротно йде у відходи, тобто втрачається, забруднюючи деталь, обладнання, створюючи несприятливі умови для роботи персоналу. Крім того, шліфувальний порох забруднює довкілля.

Впродовж останніх років спостерігається швидке зростання застосування різних методів модифікування (зокрема, термічного, термо-механічного та термо-гідро-механічного) для деревини та деревинних матеріалів з метою покращення їх властивостей. Aksoy, Deveci, Baysal, & Toker (2011) з'ясували, що термічне модифікування знижує показник блиску поверхні сосни (*Pinus sylvestris*) від 5 до 36%, залежно від часу і температури модифікування. Cakicier, Korkut, & Korkut (2011) встановили, що блиск термічно модифікованої деревини за температур 150 та 180°C, поверхня якої була покрита лаковими матеріалами, є вищим, ніж поверхня немодифікованої лакованої деревини. Якщо температура збільшувалась – блиск поверхні зменшувався. Поверхня деревини є естетично привабливою сама по собі, а термічне ущільнення наділяє її привабливим темнішим кольором з чіткіше вираженими особливостями її текстури. Колір деревини є важливим чинником для сфери її застосування, а прозорі покриття дають змогу набутим гарним естетичним властивостям деревини залишатися видимими. Сукупно це може збільшити попит на таку деревину, а також підвищити її вартість.

У попередніх наших дослідженнях (Bekhta, Proszyk, & Krystofiak, 2014a; Bekhta et al. 2014b; Bekhta, Proszyk, Lis, & Krystofiak, 2014c; Bekhta et al., 2017) було показано, що зовнішній вигляд термічно ущільненої деревини суттєво змінюється (залежно від значення параметрів ущільнення) порівняно з неущільненою деревиною. Ці зміни стосуються, насамперед, блиску, кольору, шорсткості поверхні, а також поверхневої текстури (будови) деревини.

Якщо в літературі ще можна знайти деяку обмежену кількість інформації про формування лакофарбових покриттів на поверхні термічно обробленої деревини (Aksoy et al., 2011; Cakicier, Korkut, & Korkut, 2011; Pelit, Budakçı, Sönmez, & Burudurlu, 2015), то авторам не вдалося відшукати інформацію про особливості формування лакофарбових покриттів на термічно-ущільненій поверхні деревини. Тому *актуальним* є питання з'ясувати особливості формування лакофарбових покриттів на термічно-ущільненій поверхні деревини.

Матеріали та методика досліджень. *Об'єкт дослідження* – технологічний процес опорядження деревини. *Предмет дослідження* – закономірності впливу типу лаку, кількості шарів лаку і температури термічного ущільнення деревинної підкладки на блиск покриття. *Метою роботи* було з'ясування впливу нової технології підготовки поверхні субстрату термо-механічним ущільненням на якість опорядженої поверхні.

Для дослідження був обраний лущений шпон виготовлений з породи вільха (*Alnus glutinosa*), без видимих пошкоджень, розміром 300 × 300 мм, товщиною 1,5 мм, відносною вологістю 6%. Використано три типи лаків: водорозчинний IQ-HY1330-15 (WB), поліуретановий R533-2-15 із додаванням 10% затверджувача RLH6110 та 10% розчинника V721 (PUR), акриловий UV120-45 ультрафіолетового затвердіння (UV). Термічне ущільнення листів шпону здійснювали в лабораторному гарячому пресі за температур 150, 180 та 210°C, тиску 2.0 MPa, тривалості ущільнення 3 хв. Після термічного ущільнення листи шпону наклеювали на плити MDF розміром 300 × 300 × 16 мм. Після цього на поверхню термічно ущільненого шпону наносили лак. Водорозчинний і поліуретановий лаки наносили на поверхню підкладки пульверизатором, акриловий – вальцюванням, а його опромінення здійснювали за допомогою обладнання від компанії MIKON, модель UVC-250×2. Шліфування контрольних зразків перед нанесенням лакового покриття та міжшарове шліфування відбувалось вручну за допомогою шліфувального паперу із зернистістю #240. Якість поверхні оцінювали вимірюванням блиску. Також досліджували вплив типу лаку, кількості шарів лаку і температури термічного ущільнення на блиск покриття.

Вимірювання блиску. Блиск опорядженої поверхні визначали на термічно ущільненій та шліфованій (контрольній) підкладках: до та після лакування зразків. Для вимірювання блиску використано блискомір PICOGLOSS 503 від компанії Erichsen. Блиск поверхні термічно ущільненої та неущільненої підкладки без лаку та з нанесеним лаком вимірювали під кутом відбиття світла 60°, вздовж (∥) та впоперек (⊥) волокон відповідно до стандарту ISO 2813. Оцінку поверхні здійснювали за виміряним значенням блиску згідно даних табл. 1. Для оцінки відносної важливості впливу змінних факторів дослідження на блиск лакового покриття на термічно ущільненій підкладці проводили дисперсійний аналіз (ANOVA) для рівня значущості 0,05 з використанням програмного забезпечення IBM SPSS Statistics. Середні значення блиску для різних змінних факторів порівнювали за допомогою тесту множинних порівнянь Дункана.

Таблиця 1

Класифікація блиску поверхні

Одиниць блиску (GU)	Оцінка поверхні
< 10	Матова
10 – 35	Напівматова
35 – 60	Напівблиск
60 – 80	Блиск
> 80	Ідеальний блиск

Результати досліджень. У результаті термічного ущільнення під дією температури і тиску під час контакту деревини з відполірованими плитами преса відбувається вирівнювання поверхневого шару деревини і утворення тонкої плівки за рахунок пластичної деформації і розплавлення аморфних речовин самої деревини (Bekhta et al., 2017). Термічне ущільнення підкладки робить поверхню рівномірнішою, щільнішою, гладкішою, глянсовою та зменшує вплив анатомії деревини на профіль шорсткості. Структурні нерівності зменшуються в межах ≈50% і поверхню ущільненої деревини вже не потрібно шліфувати перед опорядженням (Bekhta et al., 2014b).

Дисперсійний аналіз (ANOVA) показав (табл. 2), що усі досліджувані чинники суттєво ($p \leq 0,05$) впливають на значення блиску лакового покриття на термічно ущільненій підкладці, виміряного як вздовж, так і впоперек волокон деревини. Найсильніший вплив на значення блиску демонструє тип застосованого лаку (F = 841,041 і F = 873,409, відповідно вздовж і впоперек волокон), далі йдуть кількість нанесених шарів лакового покриття (F = 108,800 і F = 72,538, відповідно вздовж і впоперек волокон) і температура термічного ущільнення підкладки (F =5,182 і F = 3,209, відповідно вздовж і впоперек волокон). Крім того, суттєво впливають на значення блиску як вздовж, так і впоперек волокон, два поєднання чинників: типу лаку × кількість шарів, температури ущільнення × тип лаку.

Таблиця 2

ANOVA тест при дослідженні блиску

Фактор	Напрямок волокон	SS	df	MF	F	Sig.
Т	вздовж	1068,855	3	356,285	5,182	,002
	впоперек	647,960	3	215,987	3,209	,023
Л	вздовж	115653,245	2	57826,622	841,041	,000
	впоперек	117556,811	2	58778,405	873,409	,000
Ш	вздовж	14961,266	2	7480,633	108,800	,000
	впоперек	9763,324	2	4881,662	72,538	,000
Т × Л	вздовж	2237,532	6	372,922	5,424	,000
	впоперек	1824,730	6	304,122	4,519	,000
Т × Ш	вздовж	549,859	6	91,643	1,333	,241
	впоперек	374,045	6	62,341	,926	,476
Л × Ш	вздовж	8914,472	4	2228,618	32,413	,000
	впоперек	7325,976	4	1831,494	27,215	,000
Т × Л × Ш	вздовж	1003,832	12	83,653	1,217	,269
	впоперек	1010,573	12	84,214	1,251	,246

Примітка: Т – температура термічного ущільнення підкладки; Л – тип лаку; Ш – кількість шарів лаку; SS – сума квадратів; df – ступінь вільності; MS – середній квадрат; F- критерій Фішера; Sig. – значущість фактору.

Типовим результатом вимірювань блиску для всіх досліджуваних змінних є те, що середні значення блиску лакованої поверхні, виміряні вздовж волокон деревини є вищими, ніж значення блиску впоперек волокон (рис. 1-3). Це можна пояснити анатомічною будовою та нерівностями на поверхні деревини. Останні суттєво впливають на поширення променя світла, його розсіювання і відбивання.

Вплив шорсткості поверхні на розсіювання світла суттєвіший у випадку вимірювання блиску впоперек волокон деревини. Це призводить до більшого розсіювання світла, збільшуючи дифузну компоненту.

Результати порівняння тесту Дункана, проведеного для досліджуваних змінних, наведені в табл.3. Тип лаку, який застосовувався, має найсуттєвіший вплив на формування блиску на лакованій поверхні. Найнижчі значення блиску спостерігаються у разі використання водорозчинного лаку (GU = 9,52 і GU = 6,45, відповідно вздовж і впоперек волокон), що відповідає матовій поверхні (табл. 1). Поліуретановий лак забезпечує формування матової та напівматової поверхні за середніх значень блиску вздовж і впоперек волокон, відповідно GU = 11,3 та GU = 9,09. Акриловий лак ультрафіолетового затвердіння (UV) надає лакованій поверхні напівблиску за найвищих середніх значень блиску вздовж і впоперек волокон, відповідно, GU = 45,34 та GU = 42,93. Таким чином, лаки створюють покриття з різними значеннями блиску. Відомо, що структурні відмінності лаків і методи нанесення можуть впливати на ефект глянсуватості (Pelit et al., 2015). Водорозчинні лаки, на противагу лакам ультрафіолетового затвердіння, негативно впливають на гладкість поверхні, зменшуючи блиск шару (Sonmez, Budakçı, & Pelit, 2011).

Таблиця 3

Результати аналізу тесту Дункана для блиску

Фактор	Блиск			
	Вздовж волокон		Впоперек волокон	
	Середнє значення	SG	Середнє значення	SG
Тип лаку				
WB	9,52	A	6,45	A
PUR	11,30	A	9,08	B
UV	45,34	B	42,93	C
Температура, °C				
Control	26,03	A	24,80	B
150	26,33	A	21,77	A
180	27,20	A	24,80	B
210	25,62	A	23,79	AB
Кількість шарів				
1	15,16	A	14,40	A
2NS	30,95	B	27,14	B
2S	31,13	B	28,33	B

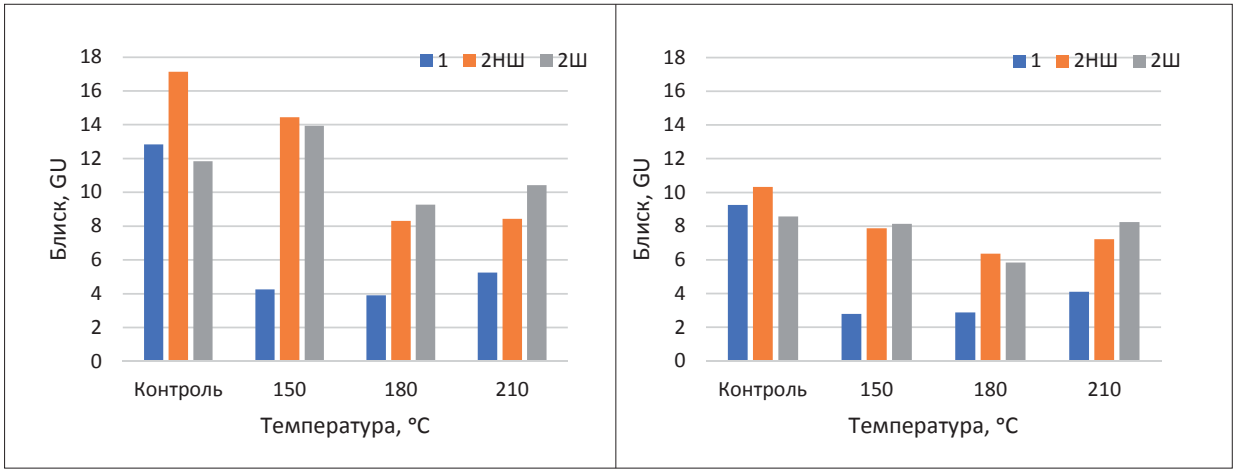
Примітка: Різні букви позначають значну різницю. SG: статистична група.

Подібні результати одержані Slabejová, Šmidriaková, & Fekiač (2016) під час оцінювання естетичних властивостей прозорого покриття на поверхні деревини бука. Вони показали, що блиск поверхні з водорозчинним покриттям був вищим, ніж блиск поверхні з поліуретановим покриттям. Поверхні, шліфовані перпендикулярно до деревинних волокон, мали зменшений блиск порівняно з поверхнями, відшліфованими паралельно до напрямку деревинних волокон.

Вплив температури термічного ущільнення підкладки на блиск лакованої поверхні був статистично значущим ($p \leq 0,05$). Ущільнений шпон, окрім того, що характеризується гладкою поверхнею з меншою шорсткістю, до того ж характеризується ще й вищими значеннями блиску, що було показано у попередньому дослідженні (Bekhta, Proszyk, Lis, & Krystofiak, 2014c). На загал, із збільшенням температури ущільнення шпону його поверхня є гладкішою, однак блиск покриття на такому ущільненому шпоні не відрізняється від блиску на неущільненій поверхні, що є неочікуваним (див. табл. 3, рис. 1-3). Очевидно, що в цьому випадку шорсткість поверхні має менший вплив на блиск, ніж зміна кольору. Тобто зміна кольору (потемніння поверхні) в даному випадку є вирішальним чинником, що впливає на блиск. Добре відомо, що блиск пов'язаний також із кольором поверхні. Певною мірою зовнішній вигляд кольору та світлість зразка впливають на значення блиску. Відомо, що з підвищенням температури ущільнення, окрім того, що поверхня стає гладкою, вона робиться також темнішою (Bekhta et al., 2014a). Глибина проникнення світла є більшою для темних, ніж для світлих порід деревини. Світло більше поглинається і блиск зменшується.

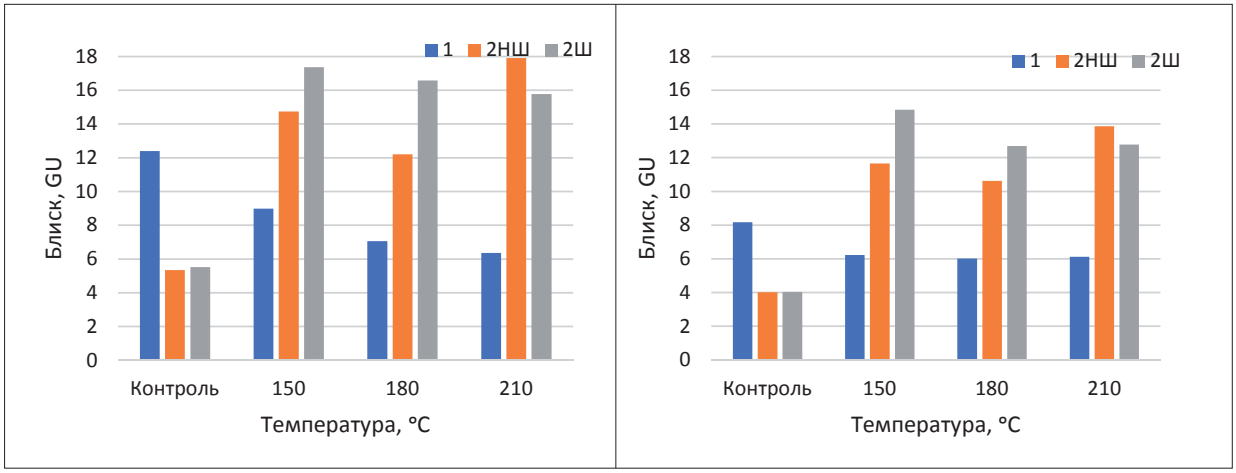
Кількість шарів суттєво впливає на значення поверхневого блиску. Наявність чи відсутність міжшарового шліфування не має суттєвого ефекту на блиск лакованої поверхні на термічно ущільненій підкладці. Із збільшенням кількості шарів блиск підвищується. Найвищі значення блиску було одержано для двошарового, найнижчі – для одношарового покриття. Це можна пояснити тим, що на значення блиску суттєвий вплив має якість субстрату, зокрема його шорсткість. Оскільки покриття не є оптично гладким, нерівності структури поверхні можуть впливати на блиск. При одношаровому нанесенні лаку його товщина є незначною і тому більше проявлятиметься вплив шорсткості поверхні субстрату, що в кінцевому випадку зменшує блиск. З економічних і екологічних міркувань виробники меблів можуть використати різну кількість шарів на різних площах одного меблевого елементу. Більш відкриті поверхні мають більшу кількість шарів, ніж інші площі. Цей факт може призводити до різниці у зовнішньому вигляді в межах окремого елемента виробу, різних значень блиску.

Аналогічні результати щодо впливу кількості шарів лаку на значення блиску одержані в роботі Slabejová et al. (2016). Як зазначають автори, високий блиск покриття може бути створений технологією послідовних шарів і поліруванням. Якщо щільність шарів збільшується, то збільшується товщина покриття і зменшується шорсткість поверхні. Якщо шорсткість зменшується, то блиск збільшується (Lee et al., 2003).



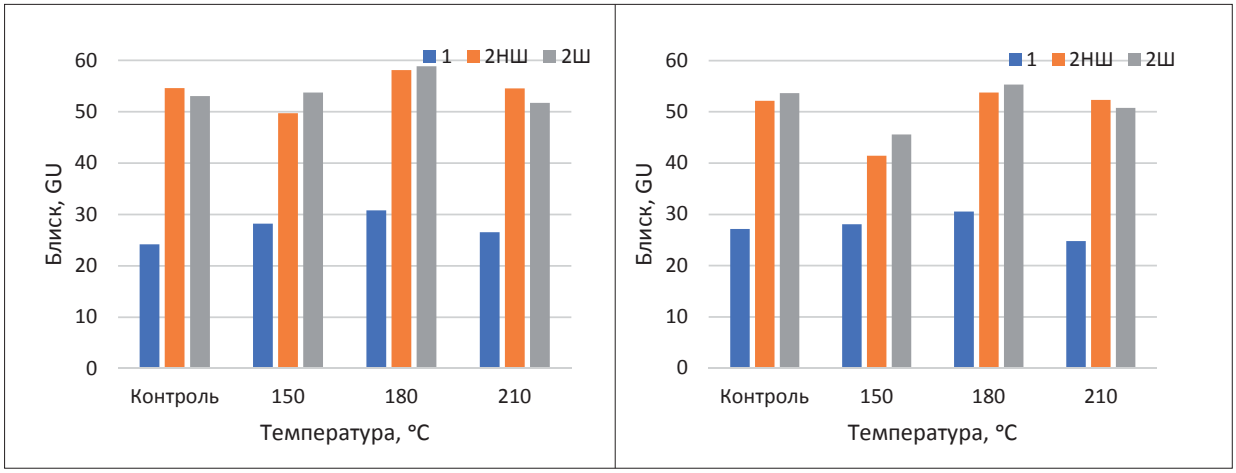
(а) (б)

Рис. 1. Залежність блиску поверхні, лакованої водорозчинним лаком, від температури термічного ущільнення і кількості шарів лаку: (а) вздовж волокон; (б) впоперек волокон; 1 – один шар лаку; 2НШ – два шари лаку без проміжного шліфування; 2Ш – два шари лаку з проміжним шліфуванням



(а) (б)

Рис. 2. Залежність блиску поверхні, лакованої поліуретановим лаком, від температури термічного ущільнення і кількості шарів лаку: (а) вздовж волокон; (б) впоперек волокон; 1 – один шар лаку; 2НШ – два шари лаку без проміжного шліфування; 2Ш – два шари лаку з проміжним шліфуванням



(а) (б)

Рис. 3. Залежність блиску поверхні, лакованої акриловим лаком ультрафіолетового затвердіння, від температури термічного ущільнення і кількості шарів лаку: (а) вздовж волокон; (б) впоперек волокон; 1 – один шар лаку; 2НШ – два шари лаку без проміжного шліфування; 2Ш – два шари лаку з проміжним шліфуванням

Кількість шарів формують товщину покриття. На наведених рис. 1-3 чітко можна побачити, в якому випадку на блиск впливає якість поверхні субстрату, а в якому сам лак, його якість і хімічний склад. Чим більша кількість шарів, а, отже, більша витрата лаку, тим більшою мірою блиск поверхні визначається якістю лаку, а не субстрату; у цьому випадку вплив субстрату нівельовано більшою кількістю лаку. Чим менша кількість шарів, тим суттєвіший вплив на блиск має поверхня субстрату. Пояснення полягає в тому, що в такому випадку сильніше буде проявлятися вплив шорсткості поверхні. Мала кількість шарів (наприклад, один), а, отже, мала витрата лаку і шорстка поверхня призводять до нерівномірної товщини покриття, яка також може впливати на значення блиску.

Висновки. Дисперсійний аналіз ANOVA показав, що найбільш відчутний ефект на блиск лакованої поверхні на термічно ущільненій підкладці мають (в міру послаблення) такі чинники – тип лакового покриття, кількість нанесених шарів лаку, температура термічного ущільнення. Використання акрилового лаку, затверділого завдяки ультрафіолетовому випромінюванню, серед усіх досліджуваних лаків дає змогу сформувати лаковане покриття з найвищими показниками блиску незалежно від кількості нанесених шарів, температури термічного ущільнення та напрямку волокон деревини. Водорозчинний та поліуретановий лаки дали змогу сформувати матове і напівматове покриття. Із збільшенням кількості шарів лаку блиск лакованої поверхні підвищується. Наявність чи відсутність міжшарового шліфування не суттєво впливає на блиск лакованої поверхні на термічно ущільненій підкладці.

References

Aksoy, A., Deveci, M., Baysal, E., & Toker, H. (2011). Colour and gloss changes of Scots pine after heat modification, *Wood Research, 56* (3), 329-336. Retrieved from bit.ly/2JpnBHy

Bekhta, P., Proszyk, S., & Krystofiak, T. (2014a). Colour in short-term thermo-mechanically densified veneer of various wood species. *Eur J Wood Prod, 72* (6), 785-797. https://doi.org/10.1007/s00107-014-0837-1.

Bekhta, P., Proszyk, S., Krystofiak, T., Mamonova, M., Pinkowski, G., & Lis, B. (2014b). Effect of thermomechanical densification on surface roughness of wood veneers, *Wood Mater Sci Eng, 9* (4), 233-245. https://doi.org/10.1080/17480272.2014.923042.

Bekhta, P., Proszyk, S., Krystofiak, T., Sedliačik, J., Novák, I., & Mamonova, M. (2017). Effect of short-term thermomechanical densification on the structure and properties of wood veneers. *Wood Mater Sci Eng, 12* (1), 40-54. https://doi.org/10.1080/17480272.2015.1009488.

Bekhta, P., Proszyk, S., Lis, B., & Krystofiak, T. (2014c). Gloss of thermally densified alder (*Alnus glutinosa* Goertn.), beech (*Fagus sylvatica* L.), birch (*Betula verrucosa* Ehrh.), and pine (*Pinus sylvestris* L.) wood veneers. *Eur J Wood Prod, 72* (6), 799-808. https://doi.org/10.1007/s00107-014-0843-3.

Çakicier, N., Korkut, S., & Korkut, D. S. (2011). Varnish layer hardness, scratch resistance, and glossiness of various wood species as affected by heat treatment. *BioResources, 6* (2), 1648-1658. Retrieved from bit.ly/3axEP1o

EN ISO 2813 (2014). *Paints and varnishes – Determination of gloss value at 20 degrees, 60 degrees and 85 degrees*, International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland.

Lee, S. S., Koo, J. H., Lee, S. S., Chai, S. G., & Lim, J. C. H. (2003). Gloss reduction in low temperature curable hybrid powder coatings. *Progress in Organic Coatings, 46* (4), 266-272. https://doi.org/10.1016/S0300-9440(02)00197-2.

Pelit, H., Budakçı, M., Sönmez, A., & Burudurlu, E. (2015). Surface roughness and brightness of scots pine (*Pinus sylvestris*) applied with water-based lacquer product after densification and heat treatment. *J. Wood Sci., 61* (6), 586-594. https://doi.org/10.1007/s10086-015-1506-7.

Richter, K., Feist, W. C., & Knabe, M. T. (1995). The effect of surface roughness on the performance of finishes. Part 1: Roughness characterization and strain performance, *Forest Prod J., 45* (7/8), 91-97. Retrieved from https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1995/richt95a.pdf

Sönmez, A., Budakçı, M., & Pelit, H. (2011). The effect of the moisture content of wood on the layer performance of water borne lacquer productes. *BioResources, 6* (3), 3166-3177. Retrieved from https://ojs.cnr.ncsu.edu/index.php/BioRes/article/view/BioRes_06_3_3166_sonmez_BP_Moisture_Wood_Varnishes/1076

Slabejová, G., Šmidriaková, M., & Fekiač, J. (2016). Gloss of transparent coating on beech wood surface, *Acta Facultatis Xylologiae Zvolen, 58* (2), 37-44. https://doi.org/10.17423/afx.2016.58.2.04.

Williams, R. S. (2010). Finishing of Wood. In: *Wood Handbook. U. S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, Chapter 16*. 16–1–16–39. Retrieved from bit.ly/2Utgiox

Zivkovic, V. (2004) Gloss and gloss measurement. *Drvna Industrija*, *55* (3), 145-150. Retrieved from bit.ly/3bIJFc7

Влияние температуры термического уплотнения древесной подложки, типа лака и количества его слоев на блеск отделанной поверхности

П. А. Бэхта[1], Ю. В. Максымив[2], Т. Крыстоф'як[3]

В деревообрабатывающей промышленности поверхность подложки принято шлифовать перед нанесением лакового покрытия. Основная цель этого исследования – выяснить, можно ли заменить операцию шлифования подложки перед нанесением лакового покрытия и определить, насколько сильны влияние температуры термического уплотнения, типа лака и количества слоев на блеск отделанной поверхности. В качестве подложки использовали очищенный шпон *Alnus glutinosa* размерами 300 × × 300 × 1,5 мм без видимых повреждений и влажностью 6%. Листы шпона были приклеены к волокнистой плите средней плотности (MDF). Перед процессом наклеивания шпона на поверхность плиты его подвергали процессу термического уплотнения при температуре 150, 180 и 210°C при давлении 2 МПа в течение 3 минут. Использовали три типа лаков: водорастворимый (IQ-HY1330-15), полиуретановый (R533-2-15) с добавлением 10% отвердителя RLH6110 и 10% растворителя V721 и акриловый (UV120-45) ультрафиолетового затвердевания. Для оценки влияния шлифования на блеск отделанной поверхности на термически уплотненную поверхность подложки наносили один или два слоя лака, с межслойным шлифованием или без него. Блеск оценивали под углом отражения света 60° с помощью блескомера Erichsen PICOGLOSS 503. Для сравнения измеряли блеск лакированной поверхности на шлифованной подложке. Анализ результатов исследования ANOVA показал, что все переменные факторы, такие как температура уплотнения шпона, тип нанесенного лака и количество слоев лака, существенно ($p \leq 0,05$) влияют на формирование блеска лакированной поверхности термически уплотненной подложки. Тип нанесенного лака является фактором, имеющим наибольшее влияние на блеск поверхности ($F = 841,041$ вдоль волокон, $F = 873,409$ поперек волокон). Сочетание воздействий таких факторов, как температура уплотнения и наличие или отсутствие межслойного шлифования, не имеют существенного влияния на поверхностный блеск ($F = 1,333$, $p = 0,241$ вдоль волокон; $F = 0,926$, $p = 0,476$ поперек волокон). Такая же ситуация и с комбинированным действием всех исследованных факторов: $F = 1,217$, $p = 0,269$ вдоль волокон, $F = 1,251$, $p = 0,246$ поперек волокон. Результаты теста Дункана также показали, что тип нанесенного лака оказывает наибольшее влияние на создание поверхности с высоким показателем блеска (GU). Самые низкие значения наблюдаются в случае использования водорастворимого лака (GU = 9,52 вдоль волокон и GU = 6,45 поперек волокон), что соответствует матовой поверхности. Использование полиуретанового лака приводило к матовой или полуматовой поверхности со средним значением блеска GU = 11,3 вдоль волокон и GU = 9,09 поперек волокон. Акриловый лак ультрафиолетового затвердевания позволяет формировать поверхность с высоким значением блеска (среднее значение GU = 45,34 вдоль волокон и GU = 42,93 поперек волокон). Значение блеска увеличивается с увеличением количества слоев лакового покрытия. Межслойное шлифование не оказывает существенного влияния на значение блеска лакированной поверхности термически уплотненной подложки.

Ключевые слова: термо-механическое уплотнение; блеск; водорастворимый лак; полиуретановый лак; акриловый лак.

[1] *Бэхта Павло Антоновыч* – академик Лесной академии наук Украины, доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: + 38-032-238-44-99. Факс: + 38-032-237-89-05. E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4320-5247

[2] *Максымив Юрий Володымыровыч* – аспирант кафедры технологий древесных композиционных материалов, целлюлозы и бумаги. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупрынки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: + 38-032-238-44-99. E-mail: maxymiv.yura@gmail.com

[3] *Кристофьяк Томаш* – доктор габилитованый, кафедра древесных композиционных материалов. Познанский университет наук о жизни, ул. Войска Польского, 28, Познань, 60-637, Польша. E-mail: krystofiak@up.poznan.pl ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2060-0295

The effect of temperature of thermal densification of wood substrate, type of lacquer and number of its layers on gloss of finished surface

P. Bekhta[1], Y. Maksymiv[2], T. Krystofiak[3]

The surface of the wood substrate is needed to be sanded before applying required amount of lacquer. The

[1] *Pavlo Bekhta* – full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynky st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: 032-238-44-99, E-mail: bekhta@ukr.net ORCID: http://orcid.org/0000-0002-4320-5247

[2] *Yurii Maksymiv* – PhD student, Department of Wood-Based Composites, Cellulose and Paper. Ukrainian National Forestry University, General Chuprynky st., 103, Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: + 38-032-238-44-99. E-mail: maxymiv.yura@gmail.com

[3] *Tomasz Krystofiak* – Doctor habil. Department of Wood-Based Materials. Poznan University of Life Sciences, Wojska Polskiego st., 28, Poznan, 60-637, Poland. E-mail: krystofiak@up.poznan.pl ORCID: https://orcid.org/0000-0002-2060-0295

main purpose of this study is to find out if it is possible to replace the sanding process of wood substrate before applying a lacquer, and to determine how strong are effects of the thermal densification temperature, type of lacquer and number of lacquer layers on the gloss of the finished surface. As a substrate, were used rotary-cut alder veneer sheets with dimensions of 300×300×1.5 mm, without any visible damage, with relative humidity 6%. Veneer sheets were bonded to a medium density fiberboard (MDF). Before the bonding process, veneer sheets were exposed to the thermal compression between the platens of the hot press at 150 °C, 180 °C and 210 °C at the pressure of 2 MPa within 3 minutes. Three types of lacquers were used: waterborne lacquer (IQ-HY1330-15), polyurethane lacquer (R533-2-15) with adding 10% of hardener RLH6110 and 10% of solvent V721, and acrylic lacquer (UV120-45) cured by ultraviolet radiation. On the thermally densified surface was applied one or two layers of lacquer with or without interlayer sanding for evaluation of the effect of sanding on the gloss of the finished surface. The gloss was evaluated at an angle of light reflection of 60 ° using an Erichsen PICOGLOSS 503 glossmeter. For the comparison, gloss of lacquered surface was also measured on the sanded substrate. The ANOVA analysis of the obtained results showed that all the variable factors like temperature of densification of veneer, type of applied lacquer and number of lacquer layers are significantly ($p \leq 0.05$) affecting the formation of gloss of the lacquered surface on the thermally densified substrate. Type of applied lacquer is the factor with the highest effect on surface gloss (F = 841,041 along fibers, F = 873,409 across fibers). Combined effect of such factors like temperature of densification and absence of interlayer sanding don't have significant effect on surface gloss (F = 1,333, p = 0,241 along fibers; F = 0,926, p = 0,476 across fibers). The same situation was observed for combined effect of all investigated factors – F = 1,217, p = 0,269 along fibers, F = 1,251, p = 0,246 across fibers. Results of Duncan's test also showed that the type of applied lacquer has the greatest effect on the creating surface with the highest gloss unit (GU) number. Lowest values of gloss were observed in case of using waterborne lacquer (GU = 9,52 along fibers and GU = 6,45 across fibers) which is corresponding to be a matte surface. Polyurethane lacquer is forming matte and half matte surface gloss with average gloss value number of GU = 11,3 along fibers and GU = 9,09 across fibers. Acrylic lacquer cured by ultraviolet radiation allows to form the lacquer surface with the highest gloss value (average value GU = 45,34 along fibers and GU = 42,93 across fibers). The gloss value increases as the number of lacquer layers increases. Interlayer sanding does not have a significant effect on the gloss value of the lacquer surface on a thermally densified substrate.

Key words: thermo-mechanical densification; gloss; waterborne lacquer; polyurethane lacquer; acrylic lacquer.

Forestry Academy of Sciences of Ukraine

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

http://fasu.nltu.edu.ua
https://doi.org/10.15421/412020
Article received 2019.11.18
Article accepted 2020.06.04

ISSN 1991-606X print
ISSN 2616-5015 online
@ ✉ Correspondence author
Yuriy Huber
yuriy.huber@nltu.edu.ua
General Chuprynka st., 103, Lviv, 79057, Ukraine

УДК 674.048

Аналіз методів визначення тривалості сушіння соснових необрізних пиломатеріалів

Ю. М. Губер[1], З. П. Копинець[2], Ю. Р. Дадак[3], Ж. Я. Гуменюк[4]

За результатами дослідних процесів сушіння, проведених у виробничих умовах у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу LK-ZDR-50 з об'ємом завантаження близько 50 м³ пиломатеріалів, встановлено тривалість сушіння багатоступеневим режимом соснових необрізних пиломатеріалів завтовшки 30 мм та завдовжки 3…3,2 м. Під час виконання експериментальних досліджень початкова вологість пиломатеріалів становила $W_п \approx 45\%$*, кінцева –* $W_к \approx 9\%$*. Температура агента сушіння (вологого повітря) на першому ступені режиму сушіння становила* $t_c = 52°C$*, відносна вологість агента сушіння –* $\varphi = 73{,}5\%$*; на останньому ступені –* $t_c = 68°C$*,* $\varphi = 32{,}5\%$*. Схема циркуляції агента сушіння в камері – поперечно-вертикальна, середня швидкість його руху через штабель за вологості висушуваних пиломатеріалів більше 31% –* $\upsilon = 2{,}5$ *м/с, за вологості менше 31% –* $\upsilon = 1{,}5$ *м/с. Середнє значення тривалості досліджуваних процесів сушіння становить* $\tau = 146{,}28$ *год.*

Для аналізу обрано одинадцять розрахункових методів визначення тривалості сушіння пиломатеріалів.

Порівнюючи результати розрахунків тривалості сушіння з експериментальними даними встановлено, що для соснових необрізних пиломатеріалів у сучасних конвективних сушильних камерах періодичної дії можна рекомендувати такі методи: графоаналітичний П. С. Сєрговського – відхилення становить -2,32%, аналітичний William T. Simpson – відхилення становить -7,25 % та аналітичний L. Vorreiter – відхилення становить -2,46%.

З'ясовано, що метод згідно з T. Trübswetter матиме достатню для виробничих умов точність (відхилення становитиме -7,82%) за умови внесення запропонованих у цій роботі поправок.

Ключові слова: *параметри режиму сушіння; температура агента сушіння; відносна вологість; швидкість руху агента сушіння через штабель; конвективна сушильна камера періодичної дії.*

[1] *Губер Юрій Мирославович* – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності та соціальних комунікацій. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-811-71-18. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2678-511X

[2] *Копинець Зоя Павлівна* – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-670-20-58. E-mail: zoya.kopynets@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8977-6953

[3] *Дадак Юрій Романович* – кандидат технічних наук, доцент кафедри технологій лісопиляння, столярних і дерев'яних будівельних виробів. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-067-224-42-37. E-mail: yuriy.dadak@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5423-0966

[4] *Гуменюк Жанна Ярославівна* – асистент кафедри технологій захисту навколишнього середовища і деревини, безпеки життєдіяльності та соціальних комунікацій. Національний лісотехнічний університет України, вул. генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. Тел.: +38-097-478-44-07. E-mail: zhanna.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9453-5812

Вступ. Процес сушіння пиломатеріалів є одним із ключових етапів виробництва, від якого суттєво залежить якість виробів з деревини. Тому йому приділяють значну увагу під час проектування нових деревообробних підприємств, їх розширення або реконструкції.

Сушіння пиломатеріалів у конвективних камерах періодичної дії є найпоширенішим (Biley, Sokolovsky, Pavliust, & Kunynets, 2010; Biley, 2005; Huber, 2003). Для забезпечення виконання виробничої програми важливим є визначення кількості таких сушильних камер, під час розрахунку продуктивності яких враховується тривалість сушіння. Також встановлення тривалості сушіння є важливим для планування роботи вже діючих сушильних цехів.

Робіт щодо порівняння різних методів визначення тривалості сушіння пиломатеріалів не так багато. Зокрема, Andreeva & Petrovskaya (1970) порівнюють два графоаналітичні методи: П. С. Сєрговського та Е. А. Мікіта. У згаданому дослідженні розглянуто процеси конвективного сушіння соснових пиломатеріалів різних поперечних перетинів і за різних параметрів агента сушіння. Задовільною точністю розрахунків вважали відхилення розрахункових даних від експериментальних в межах ±15%, пояснюючи це анізотропією і мінливістю властивостей деревини. Відповідно до результатів, отриманих у цій роботі, точнішим виявився метод П. С. Сєрговського.

У роботі (Huber, & Kopynets, 2009) для визначення тривалості сушіння дубових пиломатеріалів завтовшки 8 мм і завширшки 180 мм багатоступеневими низькотемпературними режимами розглянуто графоаналітичний метод П. С. Сєрговського та аналітичні методи William T. Simpson і F. Kollmann. Для умов, проаналізованих у статті, результати обчислення за всіма методами відрізняються від експериментальних більше ніж на 20%.

Порівняння трьох аналітичних методів F. Kollmann, L. Vorreiter та William T. Simpson у роботі (Fortuin, 2003) виявило, що всі методи визначення тривалості сушіння дають результати, які значно відрізняються між собою. За однакових умов процесу сушіння найменшу тривалість процесу отримано методом F. Kollmann, а найбільшу – методом William T. Simpson.

Отже, *актуальним напрямом* досліджень є аналіз методів визначення тривалості сушіння пиломатеріалів з використанням сучасних режимів сушіння у конвективних камерах періодичної дії.

На тривалість процесу конвективного сушіння пиломатеріалів впливає низка чинників: з якої деревної породи виготовлено матеріал, його розміри, початкова і кінцева вологість, режим сушіння (температура та відносна вологість агента сушіння), а також швидкість руху агента сушіння через штабель висушуваного матеріалу (Andreeva, & Petrovskaya, 1970; Huber, 2003; Biley, 2005; Huber & Kopynets, 2009; Biley et al., 2010). Тому дослідження здійснено для окремого випадку з постійними значеннями наведених вище параметрів.

Об'єкти та методика дослідження. *Об'єкт дослідження* – процес сушіння необрізних соснових пиломатеріалів завтовшки 30 мм у конвективній сушильній камері періодичної дії. *Предмет дослідження* – тривалість сушіння соснових необрізних пиломатеріалів у конвективній сушильній камері періодичної дії. *Метою роботи* є встановлення максимально точного способу визначення тривалості сушіння за відповідних умов проведення процесу.

Для досягнення поставленої мети здійснено низку експериментальних досліджень у виробничих умовах, за результатами яких встановлено тривалість сушіння соснових необрізних пиломатеріалів багатоступеневим режимом сушіння у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу LK-ZDR-50 з об'ємом завантаження близько 50 м^3 пиломатеріалів.

У процесі досліджень висушували соснові необрізні пиломатеріали завтовшки 30 мм та завдовжки 3…3,2 м. У сушильну камеру завантажували пиломатеріали з початковою вологістю $W_п \approx 45\%$. Кінцева вологість становила $W_к \approx 9\%$.

Температура агента сушіння (вологого повітря) на першому ступені режиму становила $t_с = 52°C$, його відносна вологість – $\varphi = 73{,}5\%$ (рівноважна вологість деревини за цих параметрів – $W_р = 12\ \%$); на останньому ступені – $t_с = 68°C$, $\varphi = 32{,}5\%$ ($W_р = 5\ \%$). Зміну параметрів процесу здійснювали за середньоарифметичним значенням вологості п'яти контрольних пиломатеріалів впродовж усього процесу сушіння.

Циркуляція агента сушіння в камері – поперечно-вертикальна. Середня швидкість його руху через штабель висушуваного матеріалу, виміряна з використанням крильчастого анемометра з телескопічним зондом Testo 416, за вологості висушуваних пиломатеріалів більше 31% становила $\upsilon = 2{,}5$ м/с, за вологості менше 31% – $\upsilon = 1{,}5$ м/с.

Для порівняння, щоб визначити тривалість сушіння соснових пиломатеріалів, проаналізовано одинадцять відомих методів.

Тривалість сушіння пиломатеріалів та заготовок, що враховує тривалість початкового прогрівання і тепловологообробок визначають за формулою (Biley et al., 2010; Sergovskiy, & Rasev, 1987):

$$\tau_с = \tau_{вих} \cdot A_р \cdot A_ц \cdot A_в \cdot A_я \cdot A_д, \text{ год}, \qquad (1)$$

де $\tau_{вих}$ – вихідна тривалість сушіння пиломатеріалів заданої породи і розмірів нормальним режимом від початкової вологості 60% до кінцевої 12% в камерах з реверсивною циркуляцією агента сушіння середньої інтенсивності з розрахунковою його швидкістю через штабель висушуваного матеріалу 1 м/с, год; $A_р$, $A_ц$, $A_в$, $A_я$, $A_д$ – відповідно коефіцієнти, які враховують категорію режиму сушіння, інтенсивність циркуляції агента сушіння, початкову та кінцеву вологість деревини, якість висушуваного матеріалу і його довжину.

Цей метод відомий під назвою «табличний», оскільки для визначення компонентів, які входять у формулу (1), використовують таблиці і він рекомендований до застосування «Керівними технічними матеріалами з технології камерного сушіння пиломатеріалів» (Biley et al., 2010). Оскільки його розроблено для розрахунку тривалості сушіння із застосуванням триступеневих режимів згідно з Sergovskiy & Rasev (1987), то за умови використання інших режимів, він дає значні відхилення, тому здійснюють роботи з його адаптації для сучасних режимів (Snopkov, & Babich, 2008; Pinchevska, Koval, Buyskih, Spirochkin, & Kompanets, 2012).

У роботі Snopkov, & Babich (2008) запропоновано уточнення коефіцієнта категорії режиму сушіння у формулі (1) з урахуванням градієнта сушіння на кожному ступені режиму й отримано експоненціальну залежність для його визначення:

$$A_p = 4{,}5641 \cdot e^{-0{,}3206 \cdot G_{c3}} \quad (2)$$

де G_{c3} – середньозважений градієнт сушіння.

$$G_{c3} = \frac{\sum\left(\frac{W_{пі} + W_{кі}}{2 \cdot W_{pi}} \cdot (W_{пі} - W_{кі})\right)}{W_п - W_к}, \quad (3)$$

де $W_{пі}$, $W_{кі}$, W_{pi} – відповідно початкова, кінцева і рівноважна вологість деревини на кожному із ступенів режиму сушіння; $W_п$, $W_к$ – відповідно початкова і кінцева вологість пиломатеріалів на початку і в кінці процесу сушіння.

У деяких роботах (Pinchevska et al., 2012; Spirochkin, 2013) у формулу (1) введено коефіцієнт $A_{н.р}$, який враховує нерівномірність розподілення аеродинамічного поля у сушильній камері та дисперсію початкової вологості у партії пиломатеріалів. Тоді формула (1) набуває вигляду:

$$\tau_c = \tau_{вих} \cdot A_р \cdot A_ц \cdot A_в \cdot A_я \cdot A_д \cdot A_{н.р}, \text{ год}, \quad (4)$$

Додатково у згаданих дослідженнях встановлено, що коефіцієнт, який враховує категорію режиму для сучасних низькотемпературних режимів сушіння, становить $A_р = 2{,}5$.

Andrashek (2011) пропонує визначати тривалість сушіння пилопродукції без урахування тривалості початкового прогрівання і тепловологообробок за формулою:

$$\tau_c = \tau_{вих} \cdot A_п \cdot A_{t_1} \cdot A_{t_2} \cdot A_{к.с} \cdot A_υ \cdot A_{в.п} \cdot A_{к.в}, \text{ год}, \quad (5)$$

де $\tau_{вих}$ – вихідна тривалість сушіння хвойних пиломатеріалів заданої товщини від певної початкової вологості до кінцевої вологості 8% за початкової температури сушильного агента 70°С і кінцевої температури 80°С; $A_п$, A_{t_1}, A_{t_2}, $A_{к.с}$, $A_υ$, $A_{в.п}$, $A_{к.в}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують породу пиломатеріалів; відхилення початкової температури вибраного режиму сушіння від початкової температури, що становить 70°С; відхилення кінцевої температури вибраного режиму сушіння від кінцевої температури, що становить 80°С; категорію режиму сушіння; швидкість циркуляції агента сушіння через штабель висушуваного матеріалу; вид пилопродукції (обрізна, необрізна дошка, заготовка); значення кінцевої вологості висушуваного матеріалу.

Орієнтовну тривалість сушіння без урахування початкового нагрівання та вологотеплообробок Glijer (2011) пропонує визначати за залежністю:

$$\tau_c = \tau_{вих} \cdot k_1 \cdot k_2 \cdot k_3 \cdot k_4 \cdot k_5 \cdot k_6, \text{ год}, \quad (6)$$

де $\tau_{вих}$ – вихідна тривалість сушіння хвойних пиломатеріалів заданої товщини від певної початкової вологості до кінцевої вологості 8% за початкової температури агента сушіння 80°С і кінцевої його температури 90°С; k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_6, – відповідно коефіцієнти, які враховують породу пиломатеріалів; категорію режиму; відхилення початкової температури вибраного режиму сушіння від початкової температури визначення вихідної тривалості, що становить 80°С; швидкість циркуляції агента сушіння через штабель висушуваного матеріалу; вид пилопродукції (обрізна, необрізна дошка, заготовка); реверсивність циркуляції.

Графоаналітичний метод П. С. Сєрговського полягає у визначенні тривалості низькотемпературного процесу сушіння на кожному ступені режиму без урахування початкового нагрівання та вологотеплообробок (Sergovskiy, & Rasev, 1987):

$$\tau_1 = C_{\tau 1} \cdot \frac{K \cdot S_1^2}{a'_{M1} \cdot 10^6} \cdot C_1 \cdot A_ц \cdot \lg\left(0{,}81 \cdot \frac{W_{п1} - W_{p1}}{W_{к1} - W_{p1}}\right), \quad (7)$$

$$\tau_{2...n} = C_{\tau 2...i} \cdot \frac{K \cdot S_1^2}{a'_{M2...i} \cdot 10^6} \cdot C_{2...i} \cdot A_ц \cdot \lg\left(\frac{W_{п2...i} - W_{p2...i}}{W_{к2...i} - W_{p2...i}}\right), \quad (8)$$

де $C_{\tau i}$ – поправка на багатомірність, що враховує ширину пиломатеріалів (визначають за графіком залежно від безрозмірної вологості $\Theta_{1...i} = \frac{W_{к1...i} - W_{p1...i}}{W_{п1...i} - W_{p1....i}}$ і відношення товщини до ширини пиломатеріалу $\frac{S_1}{S_2}$ на кожному ступені режиму сушіння; К – множник, який враховує співвідношення одиниць вимірювання; S_1 – товщина пиломатеріалів, см; C_i – коефіцієнт, який враховує сповільнення процесу сушіння у штабелі різної ширини (визначають для кожного ступеня); $A_ц$ – коефіцієнт, який враховує реверсивність циркуляції; a'_{Mi}– коефіцієнт вологопровідності деревини за температури змоченого термометра на кожному із ступенів режиму сушіння, см^2/с.

Для визначення тривалості сушіння як окремих пиломатеріалів, так і пиломатеріалів, вкладених у штабель на прокладки завтовшки 22...25 мм за поперечної рівномірної циркуляції агента сушіння (вологого повітря, водяної пари, топкових газів) за температури вищої як 40°С, Е. А. Мікіт запропонував залежність (Mikit, 1968):

$$\tau = (1+a)\cdot К_{п}\cdot С_{шт}\cdot А_{ц}\cdot К_{S_1}\cdot S_1^{1+n}\cdot К_{S_2/S_1}\cdot$$
$$\cdot\frac{A}{B}\cdot\ln\frac{W_{пі}-W_{рі}}{W_{кі}-W_{рі}},\ \text{год},\qquad (9)$$

де a – коефіцієнт, який враховує сушіння пиломатеріалів, вкладених у штабель; $К_{п}$ – коефіцієнт, який враховує породу деревини; $С_{шт.}$ – коефіцієнт, який враховує ширину штабеля; $А_{ц}$ – коефіцієнт, який враховує реверсивність циркуляції агента сушіння через штабель висушуваного матеріалу (за реверсивної циркуляції $А_{ц} = 1{,}0$); $К_{S_1}$ – коефіцієнт, який враховує товщину пиломатеріалів, вкладених у штабель; n – величина, яка залежить від поточної і рівноважної вологості деревини; $К_{S_1/S_2}$ – коефіцієнт, який враховує відношення ширини пиломатеріалів, до їх товщини (для необрізних дощок $К_{S_1/S_2} = 1{,}0$); A – коефіцієнт, який враховує температуру і відносну вологість агента сушіння; B – коефіцієнт, який враховує швидкість циркуляції агента сушіння.

Цей метод також можна назвати графоаналітичним, оскільки низку компонентів, які входять у формулу (9), визначають за відповідними графіками (Mikit, 1968).

Рівняння тривалості сушіння за методом F. Kollmann (Brunner-Hildebrand. Die schnittholztrocknung. 5 auflage, 1987, Fortuin, 2003) має вигляд:

$$\tau_c = \frac{1}{\alpha_T}\cdot\ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}\cdot\left(\frac{S_1}{25}\right)^{1,5}\cdot\left(\frac{65}{t_c}\right)\cdot\left(\frac{\rho_0}{\rho_{0\alpha}}\right)^{1,5},\ \text{год},\qquad (10)$$

де α_T – коригувальний коефіцієнт, який залежить від породи деревини і початкової вологості висушуваного матеріалу, конструктивних особливостей камери, відносної вологості агента сушіння й інших чинників: $\alpha_T = 0{,}0477$ – для хвойних порід деревини густиною в абсолютно сухому стані $\rho_0 = 0{,}45$ г/см^3, $\alpha_T = 0{,}0265$ – для листяних порід деревини густиною в абсолютно сухому стані $\rho_0 = 0{,}65$ г/см^3; t_c – температура агента сушіння, °C.

Аналітичний метод William T. Simpson полягає у поступеневому визначенні тривалості сушіння пиломатеріалів за виразом (Simpson, 1996):

$$\tau_{1\ldots n} = \frac{-S_1^{1,52}}{b_s}\cdot\frac{b_{T_1}}{b_{T_2}}\cdot\ln\left(\frac{W_{к1\ldots i}-W_{p1\ldots i}}{W_{п1\ldots i}-W_{p1\ldots i}}\right),\ \text{діб},\qquad (11)$$

де b_s – емпіричний коефіцієнт, який враховує умовну густину деревини; b_{T_1} – емпіричний коефіцієнт для температури 49 °C; b_{T_2} – емпіричний коефіцієнт для температур у межах 38…82 °C.

Для визначення тривалості сушіння за вологості понад 30% та менше 30% T. Trübswetter (2009) наводить формули:

$$\tau_{c1} = \ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}\cdot\left(\frac{S_1}{25}\right)^{n}\cdot f_ф\cdot f_п\cdot\left(\frac{150-t_c}{t_c}\right)^{1,5}\cdot f_{рк},\ \text{год},\qquad (12)$$

$$\tau_{c2} = \ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}\cdot\left(\frac{S_1}{25}\right)^{n}\cdot f_ф\cdot f_п\cdot\left(\frac{150-t_c}{t_c}\right)^{1,5}\cdot\frac{3{,}0}{TG}\cdot f_{рк},\ \text{год},\qquad (13)$$

де $f_ф$, $f_п$, $f_{рк}$ – відповідно коефіцієнти, які враховують вид обробки пиломатеріалів, породу та режим роботи камери; TG – градієнт сушіння.

Vorreiter (1958) запропонував визначати поступеневу тривалість сушіння за залежністю:

$$\tau_c = \ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}\cdot\frac{R_0\cdot S_1^2}{\upsilon^{0,6}\cdot\left(\frac{t_c}{100}\right)^{3,4}\cdot 0{,}03\cdot\sin\left(\frac{\pi}{2}\cdot\frac{\rho_0}{\rho_{дер.реч}}\right)},\ \text{год},\qquad (14)$$

де R_0 – густина деревини в абсолютно сухому стані, кг/м^3; ρ_0 – густина деревини в абсолютно сухому стані, г/см^3; $\rho_{дер.\ реч}$ – густина деревинної речовини, г/см^3.

Результати та обговорення. Внаслідок оброблення та аналізу десяти протоколів спостережень процесів сушіння соснових необрізних пиломатеріалів у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу LK-ZDR-50 отримано експериментальні криві сушіння та виконано розрахунки тривалості сушіння за досліджуваних умов наведеними методами.

Як відомо (Huber, 2003), процес сушіння можна проводити за вологістю найвологішого зразка (зазвичай, на початку процесу сушіння), або за середньою вологістю пиломатеріалів, в яких встановлено давачі вологості (зазвичай, наприкінці процесу сушіння). Процес сушіння у цьому дослідженні здійснено за середньою вологістю п'яти контрольних пиломатеріалів, в яких встановлено давачі вологості.

Наведені на рис. 1 графіки відображають криві сушіння окремих досліджуваних процесів (без нагрівання, початкової вологотеплообробки, кондиціонування та охолодження).

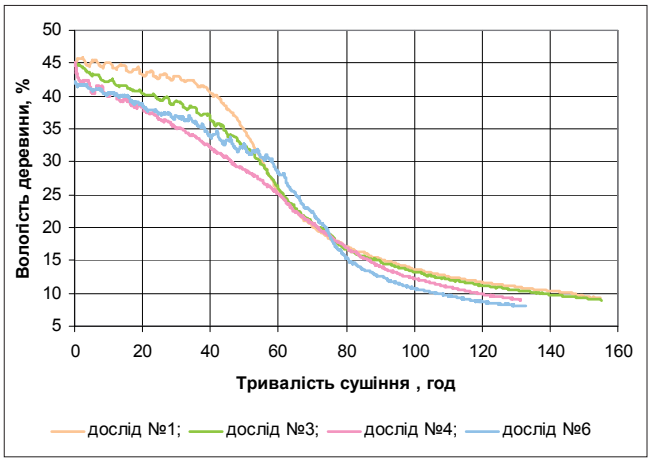


Рис. 1. Криві сушіння соснових необрізних пиломатеріалів завтовшки 30 мм

Тривалість сушіння соснових необрізних пиломатеріалів завтовшки 30 мм у конвективній сушильній камері періодичної дії фірми LeKo типу

LK-ZDR-50 від середньої початкової вологості $W_п \approx 45\%$ до кінцевої $W_к \approx 9\%$ становила від $\tau = 131{,}2$ год до $\tau = 155{,}3$ год. Середнє значення тривалості десяти дослідних процесів сушіння становить $\tau = 146{,}28$ год. Результати розрахунків за наведеними методами подано у табл.

Порівняння результатів розрахунків тривалості сушіння за табличним методом і за результатами експерименту у сушильній камері фірми LeKo показує значну розбіжність. Цей метод дає занижені результати – розрахована тривалість сушіння менша на 28,23% від експериментальної.

Удосконалення цього методу за рахунок уточнення коефіцієнта, який враховує категорію та жорсткість режиму сушіння через величину градієнта сушіння, не дає потрібних результатів для заданих умов дослідження. Тривалість сушіння є меншою на 34,72%, ніж експериментальна.

Таблиця

Результати розрахунків тривалості сушіння соснових необрізних пиломатеріалів завтовшки 30 мм у конвективній сушильній камері періодичної дії

№з/п	Метод	Номер формули	Тривалість, год	Відхилення від експериментального, %
1	Табличний згідно з «Керівними технічними матеріалами з технології камерного сушіння пиломатеріалів»	(1)	105	-28,23
2	Табличний (з уточненням $A_р$)	(1), (2), (3)	95,5	-34,72
3	Табличний (з уточненням $A_р$ та введенням $A_{н.р}$)	(4)	211,7	+44,70
4	Табличний Й. В. Андрашека	(5)	199,8	+36,57
5	Табличний L. Glijer	(6)	86,0	-41,22
6	Графоаналітичний П. С. Сєрговського	(7), (8)	142,9	-2,32
7	Графоаналітичний Е. А. Мікіта	(9)	84,9	-41,97
8	Аналітичний F. Kollmann	(10)	30,1	-79,43
9	Аналітичний William T. Simpson	(11)	135,7	-7,25
10	Аналітичний згідно з T. Trübswetter	(12), (13)	89,7	-38,69
11	Аналітичний L. Vorreiter	(14)	142,7	-2,46

Зіставлення результатів експериментальних досліджень і розрахунків згідно з табличним методом із використанням коефіцієнта, який враховує нерівномірність розподілення аеродинамічного поля у сушильній камері та дисперсію початкової вологості в партії пиломатеріалів, показало перевищення розрахункових даних на 44,70%. Цей метод розроблено на підставі експериментальних досліджень у сушильних камерах «Termolegno», «Copcal» та «Nardi», особливістю технологічних процесів в яких є порівняно м'які режими. Використання цього методу вимагає додаткових експериментальних досліджень розподілення аеродинамічного поля у сушильній камері, а отже, є незручним у реальних умовах.

Для заданих умов дослідження результат обчислення тривалості сушіння за табличним методом Й. В. Андрашека є завищеним на 36,57%, а табличним методом L. Glijer – заниженим на 41,22%. Тому в обох випадках доцільно здійснити додаткові дослідження з уточнення вихідної тривалості сушіння. У табличному методі L. Glijer не враховано кінцеву вологість висушуваних пиломатеріалів.

Графоаналітичний метод Е. А. Мікіта є громіздким для розрахунків, навіть з використанням комп'ютерної техніки. Кожен коефіцієнт у формулі (9) потрібно знаходити як середнє з двох величин – на початку і наприкінці кожного ступеня, що під час застосування графіків займає багато часу. Точність визначення коефіцієнтів за графіками суттєво впливає на результат. Тривалість сушіння, обчислена за цим методом, на 41,97% менша від отриманої експериментально.

Згідно з розрахунками за аналітичним методом F. Kollmann, тривалість сушіння соснових необрізних пиломатеріалів на 79,43% менша, порівняно з результатами експерименту. У формулу (10) входить коригувальний коефіцієнт, який залежить від породи деревини і початкової вологості висушуваного матеріалу, конструктивних особливостей камери, відносної вологості агента сушіння та інших чинників, зокрема, відповідно до (Brunner-Hildebrand. Die schnittholztrocknung. 5 auflage, 1987) $\alpha_Т = 0{,}0477$ для хвойних порід деревини. Відкритим є питання, для яких саме конструкцій сушильних камер, початкової вологості деревини, відносної вологості агента сушіння встановлено цей коефіцієнт. Результати розрахунків за запропонованою методикою засвідчили, що для умов цього дослідження він повинен становити $\alpha_Т = 0{,}0098$.

За результатами розрахунку згідно з аналітичним методом T. Trübswetter виявлено значне від-

хилення в бік зменшення – на 38,69% порівняно з отриманими експериментальними даними. Аналіз формул (12) та (13) дав змогу встановити, що якщо у них замінити $\ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}$ на $\ln\frac{W_{пі}-W_{рі}}{W_{кі}-W_{рі}}$, отримаємо тривалість сушіння 136,7 год, яка є меншою від експериментального значення на 7,82%.

Близькі до експериментальних результати розрахунків тривалості сушіння за досліджуваних умов отримано з використанням графоаналітичного методу П. С. Сєрговського (відхилення в бік зменшення становить 2,32%), аналітичного методу William T. Simpson (відхилення в бік зменшення становить 7,25%) та аналітичного методу L. Vorreiter (відхилення в бік зменшення становить 2,46%).

Побудовані криві сушіння за результатами розрахунків згідно з методами, які дають змогу поступеневого обчислення тривалості сушіння, наведено на рис. 2.

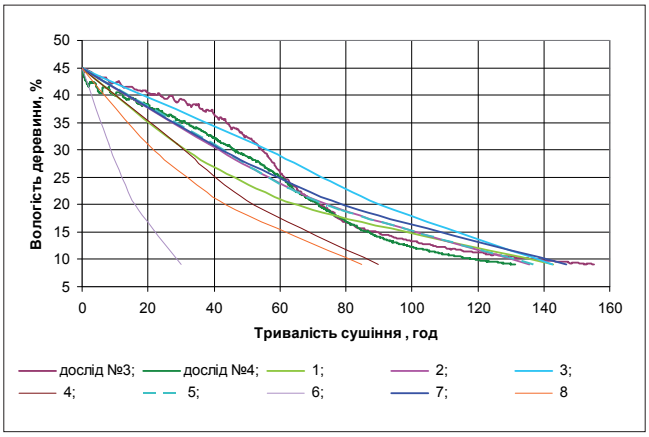


Рис. 2. Експериментальні та розрахункові криві сушіння: 1 – графоаналітичний П. С. Серговського; 2 – аналітичний William T. Simpson; 3 – аналітичний L. Vorreiter; 4 – аналітичний F. Kollmann; 5 – аналітичний F. Kollmann за $\alpha_T = 0{,}0098$; 6 – аналітичний згідно з T. Trübswetter; 7 – аналітичний згідно з T. Trübswetter з урахуванням запропонованого удосконалення; 8 – графоаналітичний Е. А. Мікіта

Висновки. Для визначення тривалості сушіння соснових необрізних пиломатеріалів у сучасних конвективних сушильних камерах періодичної дії можна рекомендувати такі методи: графоаналітичний П. С. Сєрговського, аналітичний William T. Simpson та аналітичний L. Vorreiter.

Для заданих умов дослідження за використання методу F. Kollmann коригувальний коефіцієнт, який залежить від породи деревини і початкової вологості висушуваних пиломатеріалів, конструкції камери, відносної вологості агента сушіння, повинен становити $\alpha_T = 0{,}0098$. Однак, за зміни чинників, від яких залежить цей коефіцієнт, результати розрахунків можуть значно відрізнятися від експериментальних даних.

За методом згідно з T. Trübswetter результати розрахунків дають достатню точність за умови заміни відношення $\ln\frac{W_{пі}}{W_{кі}}$ у формулах (12), (13) на $\ln\frac{W_{пі}-W_{рі}}{W_{кі}-W_{рі}}$.

References

Andrashek, Y. V. (2011). *Methodical instructions for implementation of the academic year project in the discipline «Technology of drying and protection of wood».* Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian).

Andreeva, A. A., & Petrovskaya, A. A. (1970). Comparative evaluation of methods for calculating the duration of chamber drying of lumber. *Woodworking industry, 11,* 12-14. Retrieved from https://www.booksite.ru/derevo/1970/1970_11.pdf (in Russian).

Biley, P. V., Sokolovsky, I. A., Pavliust V. M., & Kynunets, E. P. (2010). *Guiding technical materials on the chamber drying technology of sawn timber.* Uzhgorod: Carpathians (in Ukrainian).

Biley, P. V. (2005). *Theoretical foundations of heat treatment and drying of wood*. Kolomyia: Vik (in Ukrainian).

Brunner-Hildebrand. Die schnittholztrocknung. 5 auflage. (1987). Hannover: Buchdruckwerkstatten Hannover GmbH.

Fortuin, G. (2003). *Anwendung mathematischer Modelle zur Beschreibung der technischen Konvektionstrocknung von Schnittholz* (Dissertation zur Eriangung des Doktorgrades an der Universität Hamburg, Hamburg, Douchlend). Retrieved from https://d-nb.info/969246366/34.

Glijer, L. (2011). *Drying wood and more.* Warszawa: Wies Jutra.

Huber, Yu. M., & Kopynets, Z. P. (2009) Analysis methods determination duration of drying thin sawtimbers. *Scientific Bulletin of Ukrainian National Forestry University, 19.2*, 100-104. Retrieved from https://nv.nltu.edu.ua/Archive/2009/19_2/index.htm. (in Ukrainian).

Huber, Yu. (2003). *Recommendations on lumber drying schedule in convective dryers.* Lviv: Ukrainian State Forestry University (in Ukrainian).

Mikit, E. A. (1968). *Method for determining the drying time of lumber, plywood veneer, wood shavings and sawdust.* Riga: LRINTIP (in Russian).

Pinchevska, O. O., Koval, V. S., Buyskih, N. V., Spirochkin, A. K., & Kompanets, S. M. (2012). *Technological regulation of the process of drying low-grade wood.* Kharkiv: CenterInform (in Ukrainian).

Sergovskiy, P. S., & Rasev, A. I. (1987). *Hydrothermal treatment and preservation of wood.* Moscow: Forest industry. Retrieved from https://www.studmed.ru/sergovskiy-ps-rasev-ai-gidrotermicheskaya-obrabotka-i-konservirovanie-drevesiny_cea1f7246b0.html (in Russian).

Simpson, W. T. (1996). *Method to Estimate Dry-Kiln Schedules and Species Groupings. Tropical*

and Temperate Hardwoods. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory.

Snopkov, V.B., & Babich, D.P. (2008). Calculation of the duration of drying sawn-timber in non-standard modes. *Proceedings of Belarusian State Technical University: Timber and woodworking industry, 2*, 174-178. Retrieved from https://cyberleninka.ru/article/n/raschet-prodolzhitelnosti-sushki-pilomaterialov-nestandartnymi-rezhimami (in Russian).

Spirochkin, A.K. (2013). Approbation of pine timber drying duration determination method. *The bulletin of the Kharkiv State National Technical Uni*versity *of* Agriculture *of the name of P. Vasilenko*, *136*, 36-43. Retrieved from http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?I21DBN=LINK&P21DBN=UJRN&Z21ID=&S21REF=10&S21CNR=20&S21STN=1&S21FMT=ASP_meta&C21COM=S&2_S21P03=FILA=&2_S21STR=Vkhdtusg_2013_136_8 (in Ukrainian).

Trübswetter, T. (2009). *Holzttrocknung. Verfahren zur Trocknung von Schnittholz – Planung von trocknungsanlagen.* München: Fachbuchverlag Leipzig im Carl Hanser Verlag.

Vorreiter L. (1958) *Holztechnologisches Handbuch. Band II: System Holz-Wasser, Holzttrocknung, Dampfen und Kochen, spanlose Holzverformung*. Wien: Verlag Georg Fromme & Co.

Анализ методов определения продолжительности сушки сосновых необрезных пиломатериалов

Ю.М. Губер[1], З.П. Копинец[2], Ю.Р. Дадак[3], Ж.Я. Гуменюк[4]

Конвективный способ сушки пиломатериалов в камерах периодического действия является наиболее распространенным. Для обеспечения выполнения производственной программы важным аспектом является определение необходимого количества сушильных камер, а в расчете их производительности учитывается продолжительность процесса сушки. Это основной этап как для планирования работы уже существующих сушильных цехов, так и для проектирования новых деревообрабатывающих предприятий, их расширения либо реконструкции.

По результатам исследованных процессов сушки, проводимых в производственных условиях в конвективной сушильной камере периодического действия фирмы LeKo типа LK-ZDR-50 с объемом загрузки пиломатериалов около 50 м^3, установлено продолжительность сушки многоступенчатым режимом сосновых необрезных пиломатериалов толщиной 30 мм и длиной 3…3,2 м. В процессе экспериментальных исследований начальная влажность пиломатериалов составила $W_п \approx 45\%$, конечная – $W_к \approx 9\%$. Температура агента сушки (влажного воздуха) на первой ступени режима сушки – $t_c = 52°C$, относительная влажность агента сушки – $\varphi = 73{,}5\%$; на последней ступени – $t_c = 68°C$, $\varphi = 32{,}5\%$. Схема циркуляции агента сушки в камере – поперечно-вертикальная, средняя скорость его движения в штабеле, измеренная с использованием крыльчатого анемометра с телескопическим зондом Testo 416, при влажности высушиваемых пиломатериалов более 31% составляла $\upsilon = 2{,}5$ м/с, при влажности менее 31% – $\upsilon = 1{,}5$ м/с. Среднее значение продолжительности исследуемых процессов сушки составило $\tau = 146{,}28$ часов.

С целью анализа избрано одиннадцать расчетных методов определения продолжительности сушки пиломатериалов, а именно: табличный, рекомендуемый «Руководящими техническими материалами по технологии камерной сушки пиломатериалов» и два его варианта с некоторыми поправками, табличный И.В. Андрашека, табличный L. Glijer, графоаналитический П.С. Серговского, графоаналитический Э.А. Микита, аналитический F. Kollmann, аналитический William T. Simpson, аналитический согласно T. Trübswetter, аналитический L. Vorreiter.

По результатам сравнения проведенных расчетов продолжительности сушки с экспериментальными данными установлено, что для сосновых необрезных пиломатериалов в современных конвективных сушильных камерах периодического действия можно рекомендовать следующие методы: графоаналитический Серговского П.С. – отклонение составляет -2,32%, аналитический William T. Simpson – отклонение составляет -7,25%

[1] *Губер Юрий Мирославович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий защиты окружающей среды и древесины, безопасности жизнедеятельности и социальных коммуникаций. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +380678117118. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2678-511X

[2] *Копинец Зоя Павловна* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий лесопиления, столярных и деревянных строительных изделий. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-670-20-58. E-mail: zoya.kopynets@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8977-6953

[3] *Дадак Юрий Романович* – кандидат технических наук, доцент кафедры технологий лесопиления, столярных и деревянных строительных изделий. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украина. Тел.: +38-067-224-42-37. E-mail: yuriy.dadak@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5423-0966

[4] *Гуменюк Жанна Ярославовна* – ассистент кафедры технологий защиты окружающей среды и древесины, безопасности жизнедеятельности и социальных коммуникаций. Национальный лесотехнический университет Украины, ул. генерала Чупринки, 103, г. Львов, 79057, Украи-на. Тел.: +38-097-478-44-07. E-mail: zhanna.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9453-5812

и аналитический L.Vorreiter – отклонение составляет -2,46%.

Установлено, что для получения достаточно точных в условиях производства результатов, поправочный коэффициент, зависящий от породы древесины, начальной влажности, конструкции камеры, относительной влажности агента сушки по методу F. Kollmann для заданных условий исследований, должен иметь значение α_T = 0,0098. При изменении условий, от которых он зависит, результаты исчисления по этому методу могут отличаться от экспериментальных данных.

Метод согласно с T. Trübswetter будет достаточно точным для производственных условий (отклонение составит -7,82%) при условии внесения предложенных в данной работе поправок.

Ключевые слова: параметры режима сушки; температура агента сушки; относительная влажность; скорость движения агента сушки в штабеле; конвективная сушильная камера периодического действия.

Analysis of methods for determining the time to dry unedged pine lumber

Yu. Huber[1], Z. Kopynets[2], Yu. Dadak[3], Zh. Humeniuk[4]

A convective method to dry lumber is the most common in batch kilns. To ensure the implementation of the production plan, it is important to determine the required number of drying chambers, and in the calculation of their productivity, the duration of the drying process is taken into account. This is the main stage both for planning the work of existing drying shops and for designing new woodworking enterprises, their expansion or reconstruction.

According to the results of experimental drying processes carried out under production conditions in a LeKo convective drying batch kiln of the LK-ZDR-50 type with a loading volume of about 50 m^3 of lumber, determined was the drying time for the multi-stage schedule of drying unedged pine lumber with a thickness of 30 mm and a length of 3...3.2 m. During the experimental studies, the initial moisture content of the lumber was $W_п \approx 45\%$, the final – $W_к \approx 9\%$. The temperature of the drying agent (moist air) at the first stage of the drying schedule was t_c = 52°C, the relative humidity of the drying agent – φ=73,5%; at the last stage – t_c = 68°C, φ=32,5%. The circulation scheme of the drying agent in the chamber is transverse-vertical, the average speed of the drying agent movement through the stack, measured using a vane anemometer with a Testo 416 telescopic probe, for moisture content of the lumber being dried is more than 31% – υ = 2,5 m/s, with moisture content less than 31% – υ = 1,5 m/s. The average time of the study drying processes is τ = 146,28 h.

For the purpose of analysis, eleven calculation methods for determining the duration of lumber drying process were selected, namely: tabular, which is recommended by the «Guiding technical materials on the chamber drying technology of sawn timber» and its two variants with certain refinements, tabular by Yo.V. Andrashek, tabular by L. Glijer, graphoanalytical by P.S. Sergovsky, graphoanalytical by E.A. Mikit, analytical by F. Kollmann, analytical by William T. Simpson, analytical according to T. Trübswetter, analytical by L. Vorreiter.

Comparing the calculations results of the time for drying with experimental data, it was found that for unedged pine lumber in modern convective drying batch kilns, the following methods can be recommended: graphoanalytical by P.S. Sergovsky – the deviation is 2.32%, analytical by William T. Simpson – the deviation is 7.25%, and analytical by L. Vorreiter – the deviation is 2.46%.

It was found that in order to obtain results that are sufficiently accurate under production conditions, the correction coefficient, which depends on the wood species, initial moisture content, chamber structure, and relative humidity of the drying agent using the F. Kollmann method, should be α_T = 0,0098 for given research conditions When changing the factors on which it depends, the calculation results by this method can significantly differ from experimental data.

It was found that the method applied according to T. Trübswetter will have sufficient accuracy for production conditions (deviation will be 7.82%), subject to the amendments proposed in this paper.

Key words: drying schedule parameters; drying agent temperature; relative humidity; drying agent moving speed through the stack; convective drying batch kiln.

[1] *Yuriy Huber* – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of environment and wood protection, safety of life and social communication technologies. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +380678117118. E-mail: yuriy.huber@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0003-2678-511X

[2] *Zoya Kopynets* – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-670-20-58. E-mail: zoya.kopynets@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-8977-6953

[3] *Yuriy Dadak* – PhD in Technical Sciences, Associate Professor of Department of Saw-Milling, Joinery and Wooden Building Products. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-067-224-42-37. E-mail: yuriy.dadak@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0002-5423-0966

[4] *Zhanna Humeniuk* – Assistant Professor of Department of environment and wood protection, safe-ty of life and social communication technologies. Ukrainian National Forestry University, 103, General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. Tel.: +38-097-478-44-07. E-mail: zhan-na.humenyuk@nltu.edu.ua ORCID: http://orcid.org/0000-0001-9453-5812

11. СТОРІНКИ ПАМ'ЯТІ

Пам'яті академіка ЛАН України, члена-кореспондента НАН України Миколи Павловича Козловського (28.10.1956 – 24.05.2020)

П. Т. Ященко, І. М. Шпаківська, О. Г. Марискевич, І. М. Данилик, О. О. Кагало, Ю. В. Канарський

24 травня 2020 року відійшов у засвіти Микола Павлович Козловський – академік Лісівничої академії наук України, член-кореспондент Національної академії наук України, доктор біологічних наук, директор Інституту екології Карпат НАН України. Йому було лише 63 роки – творчий вік для науковця: тільки б жити, плідно працювати, втілювати в життя наукові задуми, набуті досвід і знання. Проте, на жаль, є в природі поки що непереборні хвороби. Відійшов у вічність відомий вчений і організатор науки, людина творча, аналітичного розуму, наполеглива й цілеспрямована. Здобувши класичну університетську освіту, він став спеціалістом у галузі зоології, зокрема – паразитології. Разом з тим, вся наукова діяльність Миколи Павловича була нерозривно пов'язана з лісом. Він любив ліс, намагався на системних засадах пізнати всю глибину біотичних процесів у лісових екосистемах Карпат і Західного Полісся, виступав на захист лісів і шукав шляхи їх оздоровлення від хвороб, які в останні роки у цих регіонах значно активізувалися.

Народився Микола Павлович Козловський 28 жовтня 1956 р. на Волині, у с. Лобачівка Горохівського району в сім'ї вчителів. Трудову діяльність розпочав у рідному селі – декілька місяців працював помічником коваля. Напевно ці обставини – і перші життєві невдачі, і специфіка роботи в кузні загартували характер Миколи Павловича, виробили потребу переборювання труднощів, усвідомлення важливості освіти і науки. У 1974 р. він поступив на біологічний факультет Львівського державного університету імені Івана Франка, який закінчив у 1979 р. за спеціальністю «Зоологія і ботаніка», здобувши кваліфікацію «Біолог, викладач біології та хімії».

Наукову діяльність М. П. Козловський розпочав у 1979 р. у Львівському відділенні Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного АН УРСР на посаді інженера-еколога відділу біогеоценології, яку займав до осені 1984 р., тобто до часу поступлення в аспірантуру з відривом від виробництва. Науковим керівником аспіранта став директор відділення, д.б.н. професор М. А. Голубець: дружні і творчі відносини між учителем та учнем поєднували їх впродовж усього життя.

Після закінчення аспірантури Микола Павлович деякий час знову перебував на посаді інженера-еколога відділу біогеоценології, а в 1986 р. його обрано за конкурсом на посаду молодшого наукового співробітника. У 1988 р. у Дніпропетровському державному університеті відбувся захист його кандидатської дисертації на тему «Нематодні комплекси грабових дібров верхів'я басейну Дністра та їх біогеоценотична роль». Впродовж 1989-1991 рр. М. П. Козловський обіймав посаду наукового співробітника. У цей час був виконавцем наукової теми відділу «Лісові екосистеми верхів'я басейну Дністра, їх структура, продуктивність і водорегуляційна роль».

Після створення у жовтні 1991 р. Інституту екології Карпат НАН України, перебуваючи на посаді наукового співробітника відділу екосистемології, М. П. Козловський брав активну участь у вивченні екологічної ситуації у Карпатському регіоні, зокрема щодо розвитку трансформаційних процесів, в опрацюванні методології аналізу екологічного потенціалу гірських регіонів. Він застосовує біоіндикаційні методи оцінки стану грунтів на основі аналізу фітонематодних угруповань.

Працюючи з січня 1993 р. на посаді старшого наукового співробітника відділу, виконував низку важливих базових тем: «Антропогенна трансформація біогеоценотичного покриву в Карпатському регіоні та шляхи його раціонального використання» (1992-1996); «Базова характеристика екологічної ситуації в Карпатському регіоні у зв'язку з проблемами моніторингу та оптимізації довкілля» (1997-2001); «Концептуальні засади використання показників екологічного потенціалу в обгрунтуванні програми сталого розвитку гірського регіону» (2003-2007). У цей час виходить низка важливих публікацій М. П. Козловського, в яких розглянуто аспекти функціональної організації грунтових без-

хребетних на основі фітонематодних угруповань; класифікації фітонематодних комплексів первинних і вторинних наземних екосистем Українських Карпат й перспективи її практичного використання; особливостей функціонування стовбурових нематод як чинника зниження стійкості і всихання смереки та як біоіндикатора якісного стану грунтів.

З 1996 р. М. П. Козловський виконує обов'язки завідувача відділу екосистемології. Важливі наукові здобутки стали підставою для присвоєння йому у 2000 р. вченого звання «Старший науковий співробітник» за спеціальністю «Екологія» та обрання у 2007 р. на посаду виконуючого обов'язки директора Інституту екології Карпат НАН України. Від 2003 р. М. П. Козловський почав здійснювати керівництво аспірантами.

Дисертаційну роботу на здобуття наукового ступеня доктора біологічних наук на тему «Біоіндикаційні властивості фітонематодних угруповань наземних екосистем Карпатського регіону» М. П. Козловський захистив у 2007 р. у Дніпропетровському національному університеті за спеціальністю 03.00.16 – Екологія.

Період після захисту дисертації відзначається особливою творчою активністю вченого. Він аналізує причини всихання смереки в Карпатах та сосни – на Поліссі. Виходить друком низка публікацій, присвячених вивченню лісових біогеоценозних екосистем Карпат та їх біоіндикації на основі нематодних комплексів, дослідженню антропогенної трансформації угруповань ґрунтових безхребетних у похідних екосистемах Українських Карпат, розробленню підходів до класифікації лісових екосистем, їх охорони та відновлення на природоохоронних територіях як основи збереження біорізноманіття.

За вагомі наукові здобутки М. П. Козловського у 2018 р. обрано членом-кореспондентом НАН України за спеціальністю «Екологія карпатських лісів».

Загалом творчий доробок М. П. Козловського становить понад 180 наукових праць у галузі екології, екосистемології, охорони біорізноманіття, ґрунтової зоології, паразитології. Він є автором монографії «Фітонематоди наземних екосистем Карпатського регіону», співавтором монографії «Мезофауна соснових лісів Шацького національного природного парку» і співавтором п'яти колективних монографій: «Антропогенні зміни біогеоценотичного покриву в Карпатському регіоні», «Екологічна ситуація на північно-східному макросхилі Українських Карпат», «Екологічний потенціал наземних екосистем», «Экология и фауна почвенных беспозвоночных Волыно-Подолья», «Концептуальні засади сталого розвитку гірського регіону».

Вільно володіючи німецькою та польською мовами, вчений був співкерівником німецько-українського наукового проекту «Трансформаційні процеси в екосистемах верхів'я Дністра». За його участю опублікована монографія «Transformation processes in the Western Ukraine – Concepts for a sustainable land use. (Weinßensee Verlag, Berlin, 2008).

М. П. Козловський здійснював значну не лише наукову, але й громадську діяльність. Був Головою спеціалізованої вченої ради Інституту екології Карпат НАН України за спеціальністю «Екологія», членом секції «Енергетика та екологія» Комітету з Державних премій України в галузі науки і техніки, членом бюро виконкому ЗНЦ НАН України та МОН України, виконував обов'язки голови секції «Екологія, загальна біологія та охорона природи». Його неодноразово обирали Головою Державної екзаменаційної комісії географічного та біологічного факультетів Львівського національного університету ім. Івана Франка.

На жаль, життя Миколи Павловича обірвалося і несподівано, і рано. Це якось несправедливо, коли у вічність відходять люди, сповнені творчих задумів і бажання працювати. Колеги та учні щиро сумують з приводу такої непоправної втрати. Світла пам'ять про Миколу Павловича та його добрі справи назавжди залишаться в наших серцях.

Поховано М. П. Козловського на кладовищі «Голоско» у м. Львові.

In Memory of the Member of Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Corresponding Member of the National Academy of Sciences of Ukraine Mykola Pavlovych Kozlovsky (10.28. 1956 – 05.24. 2020)

P. T. Yashchenko, I. M. Shpakivska, O. G. Maryskevych, I. M. Danylyk, O. O. Kagalo, Y. V. Kanarsky[1]

Mykola Kozlovsky is a well-known Ukrainian zoologist, biologist, and ecologist. He studied forest ecosystems of the Ukrainian Carpathians and the Western Polissya, their bioindication on the basis of nematode complexes, anthropogenic transformations of the communities of soil invertebrate in derivative ecosystems of the Carpathians. He developed approaches to forest ecosystems classification, their protection and restoration on nature protected areas as a foundation for biodiversity conservation.

The reaserch work of the scientist is summarized in more than 180 scientific publications in the field of ecology, ecosystems, biodiversity protection, soil zoology and parasitology, which are published in Ukrainian and foreign editions.

[1] Researchers, Institute of Ecology of the Carpathians, The National Academy of the Sciences of Ukraine, Lviv

ДО УВАГИ АВТОРІВ

У «Наукових працях Лісівничої академії наук України» публікуються оригінальні наукові статті та наукові огляди з теоретичних і прикладних питань лісового та садово-паркового господарства, біології, екології та природно-заповідної справи, економіки природокористування і менеджменту, лісової інженерії, ресурсоощадних та екологобезпечних технологій деревообробки, машин і механізмів лісогосподарського комплексу, інформаційних технологій галузі.

Редакція приймає до опублікування статті обсягом 15-20 сторінок комп'ютерного тексту, надрукованого через 1,5 інтервала. Формат документа – А4, формат файлу – *.doc, *.docx (MS Word 2003, 2010, 2013). Поля – 2 см по периметру. В редакцію подається електронний варіант статті.

Текст наукової (експериментальної) статті подається за такою структурою: вступ; об'єкти та методика дослідження; результати та обговорення; висновки; подяка (за потреби); бібліографічні посилання.

Оглядова стаття може мати різну кількість структурних розділів із довільними назвами, але вказані пункти є обов'язковими: вступ; висновки; бібліографічні посилання. В обох випадках інформація про авторів подається трьома мовами.

У «Вступі» повинна бути сформульована актуальність теми, а в «Об'єкті та методиці досліджень» – об'єкт дослідження, предмет дослідження та мета роботи.

До друку приймаються статті українською, російською та англійською мовами. До кожної статті подаються анотації трьома мовами.

У виносці подають відомості про всіх авторів, в якій вказують членство в Академії (за наявності), науковий ступінь і наукове звання, місце роботи, робочу адресу, телефон, електронну адресу та відкритий ідентифікатор наукового дослідника ORCID.

Обсяг анотації українською мовою – 22-25 рядків або 1400-1600 знаків. Обсяг анотації російською мовою – 40-45 рядків або 2600-2900 знаків. Обсяг анотації англійською мовою повинен становити не менше 40 рядків або 2600 знаків. Ключові слова в обсяг анотації не входять.

Для статей, написаних англійською мовою, потрібно додати дві розширені анотації (українською та російською мовами) – по 40-45 рядків. Анотація англійською мовою складає 22-25 рядків (без ключових слів).

В анотаціях максимально повно в межах зазначеного обсягу повинні бути відображені основні результати досліджень. Потрібно уникати загальних виразів («У статті наведені результати…», «Обґрунтовано висновки…», «Наведено дані щодо…» і т.п.). Анотації повинні бути написані чітко, зрозуміло і лаконічно.

Ключові слова/словосполучення (10-12 шт.) не повинні дублювати заголовка статті.

Бібліографічний список повинен вміщати не менше 15 літературних джерел. Бажано наводити посилання на джерела, опубліковані після 2010 року, особливо ті, які мають індекс *doi*. Самоцитування – не більше 15%. Під час формування списку літературних джерел необхідно користуватись вимогами APA 6th Edition.

У «Бібліографічних посиланнях» необхідно наводити лінк, за яким джерело доступне в мережі Інтернет, або індекс *doi*. За можливістю варто уникати посилань на літературні джерела, які відсутні в інтернет-ресурсах.

Транслітерація літературних джерел в статтях не допускається. Список бібліографічних посилань повинен бути наведений англійською мовою. У дужках необхідно вказати мову, на якій видано літературне джерело (напр., in Ukrainian). Якщо робота видана англійською мовою, то мову в дужках вказувати не потрібно.

Особливу увагу авторів звертаємо на правильне подання «Бібліографічних посилань» та англійськомовну частину публікації. Статтю читатиме міжнародна аудиторія науковців, тому текст анотації повинен бути чітким і зв'язним, а її зміст – зрозумілим без ознайомлення з основним змістом самої статті. У статті потрібно застосовувати фахову термінологію, яку використовують у профільних міжнародних англомовних виданнях.

Текст статті, анотації, назви таблиць, список літератури подаються шрифтом Times New Roman 14. Підписи до рисунків – шрифтом Times New Roman 12, вирівняні по центру. Фотографії та рисунки подаються безпосередньо в статті, а також в окремому файлі у форматі *.jpg, чи оформленні у середовищі MS Exel.

Не можна подавати посилання на таблицю або рисунок окремим реченням. За наявності у тексті лише однієї таблиці чи рисунку їх не нумерують, а в тексті дають відповідне посилання: табл. (рис.). За повторного посилання на елемент потрібно вказувати: див. табл. (див. рис.).

Назви таблиць і рисунків (а також примітки до них) мають бути вичерпними і чітко сформульованими, щоб читач зміг зрозуміти їхній зміст, не вдаючись до пошуку відповідних пояснень у розділах статті.

У таблицях повинні бути відсутні вертикальні лінії. Подаються лише горизонтальні лінії – в «шапці» та в кінці таблиці.

Потрібно розрізняти символи «—», «–» та «-». Перший із них у рукописі статті не використовують.

Необхідно звернути увагу на правильність вживанням службових частин мови: «в», «у»; «і», «та»; «з», «із», «зі» тощо. Під час формулювання речень потрібно уникати слова «було»: без нього, зазвичай, зміст речення не змінюється. У статті бажано не використовувати скорочення наукових термінів.

Не рекомендовано вживати у тексті пасивний формат: «дослідження проводилися», «результати опрацьовувалися» тощо; потрібно – «дослідження проводили», «результати опрацьовували» і т.д.

Отримані результати досліджень повинні бути опрацьовані математичними методами, що підтверджує їхню достовірність. Без такого опрацювання статті до друку не приймаються.

Найважливішою частиною наукової статті є висновки, де наводять підсумки здійсненого дослідження, узагальнення і пропозиції щодо завдань, сформульованих у вступі. Висновки формулюють чітко, лаконічно і зрозуміло, вони повинні випливати із результатів проведених досліджень. У висновках зазначають ступінь досягнення поставленої мети роботи за допомогою використаних методів і методики досліджень. Вдало сформульовані висновки логічно закінчують наукову роботу, роблять її цілісною і завершеною.

Висновки повинні бути короткими і поданими у вигляді тексту без нумерації.

У збірнику наукових праць «Наукові праці Лісівничої академії наук України» не можуть бути опубліковані матеріали, які вже раніше публікувалися в інших наукових збірниках. Редакційна колегія наукового видання залишає за собою право відхиляти статті, які не відповідають вимогам і тематиці збірника. Наукові статті, що надійшли до редакції, проходять процес рецензування. Форми рецензування статей: внутрішня; зовнішня.

Заступник головного редактора визначає відповідність статті профілю журналу і скеровує її на рецензування фахівцю – доктору чи кандидату наук, який має близьку до теми статті наукову спеціалізацію.

Матеріали рецензують члени редакційної колегії наукового видання та/або сторонні незалежні експерти, виходячи з принципу об'єктивності і з позицій вищих міжнародних академічних стандартів якості. Терміни рецензування в кожному окремому випадку визначаються відповідальним редактором з урахуванням створення умов для максимально оперативної публікації статті.

Наявність позитивної рецензії не є достатньою підставою для публікації статті. Остаточне рішення про доцільність опублікування приймається редакційною колегією.

Після прийняття до друку наукові матеріали проходять процес редагування. Редакція залишає за собою право на стилістичну правку рукопису, літературне редагування та скорочення текстів зі збереженням авторського стилю. З автором узгоджуються правки, які, на думку редакції, можуть не зовсім точно передати зміст тексту.

Відповідальність за достовірність інформації у статтях, точність назв, статистичних даних, прізвищ та цитат несуть автори. Для уникнення некоректних запозичень або використання результатів дослідження третіх осіб автори зобов'язані дотримуватись етики наукового цитування.

У випадках виявлення плагіату відповідальність несуть автори наданих матеріалів.

Після прийняття редколегією рішення про допуск статті до публікації відповідальний секретар інформує про це автора і вказує терміни публікації. Оригінали рецензій зберігаються у редакційній колегії і в редакції наукового журналу. Прийняті до друку наукові матеріали не повертаються та не можуть бути надруковані в інших наукових журналах.

Детальніша інформація для авторів щодо правил подачі статей до збірника «Наукові праці Лісівничої академії наук України», оформлення «Бібліографічних посилань», політики відкритого доступу подана на сайті збірника наукових праць: http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu

Збірник наукових праць

Наукові праці Лісівничої академії наук України

Випуск 20

2020 р.

Науковий редактор: проф. Ю. М. Дебринюк, д-р с.-г. наук
Фото і текст на 4-ій сторінці обкладинки: Ю. М. Дебринюк
Літературний редактор: А. Ф. Павлишин
Редактор англомовних текстів: проф. І. П. Соловій, д-р екон. наук
Відповідальний секретар: Б. В. Дебринюк

Підписано до друку 29.07.2020 р. Формат 60*84/8. Папір офсетний.
Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.
Ум. друк. арк. 26,50. Обл.-вид. арк. 22,89
Наклад 300 прим. Зам. № 2694

Видавець: Редакційно-видавничий центр НЛТУ України
79057, м. Львів, вул. Генерала Чупринки, 134/1б
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