

УКРАЇНСЬКИЙ ОРДЕНА «ЗНАК ПОШАНИ» НАУКОВО-ДОСЛІДНИЙ ІНСТИТУТ
ЛІСОВОГО ГОСПОДАРСТВА ТА АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЇ
ім. Г. М. ВИСОЦЬКОГО

ISSN 1026-3365
eISSN 2663-4147

ЛІСІВНИЦТВО І АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ

Збірник наукових праць
Заснований у 1965 р.
ВИПУСК 145



Харків – УкрНДІЛГА
2024

Головний редактор	д-р с.-г. наук, проф., член-кор. НАН України і НААН	В. П. Ткач (Україна)
Заступник головного редактора	д-р с.-г. наук, проф.	В. Л. Мешкова (Україна)
Відповідальний секретар	канд. фіз.-мат. наук, старш. дослідник	І. В. Оболоник (Україна)
Редакційна колегія:		
	д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб.	А. М. Білоус (Україна)
	канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	І. Ф. Букша (Україна)
	канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	Н. Ю. Висоцька (Естонія)
	д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб.	В. П. Ворон (Україна)
	д-р с.-г. наук, проф.	Ю. І. Гайда (Україна)
	канд. с.-г. наук, доцент	К. В. Давиденко (Україна, Швеція)
	д-р с.-г. наук, доцент	В. О. Крамарець (Україна)
	д-р біол. наук, проф.	Г. Т. Криницький (Україна)
	канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	С. А. Лось (Україна)
	д-р с.-г. наук, проф.	В. П. Пастернак (Україна)
	канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	О. М. Тарнопільська (Україна)
	канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	І. М. Усцький (Україна)
	Prof. Dr.	Justyna Nowakowska (Poland)
	PhD	Sergii Boiko (Poland)
	PhD	Daiva Burokienė (Lithuania)
	Assoc. Prof. Dr.	Mihai-Leonard Duduman (Romania)
	Prof., PhD	Jaroslav Holuša (Czech Republic)

Адреса редакційної колегії: 61024, Харків, вул. Григорія Сковороди, 86, УкрНДІЛГА.
Тел. 8-057-707-80-01, e-mail: Valentynameshkova@gmail.com; obolonik@uriffm.org.ua

Сайт збірника наукових праць «Лісівництво і агролісомеліорація»: <https://forestry-forestmelioration.org.ua>

Л 50

Рекомендовано до друку рішенням Ученої ради УкрНДІЛГА, протокол № 15 від 26 грудня 2024 р.
Лісівництво і агролісомеліорація. – Харків: УкрНДІЛГА, 2024. – Вип. 145. – 163 с.

Наведено результати досліджень із питань лісівництва, лісознавства, лісовирощування та лісорозведення, агролісомеліорації, лісової ентомології, фітопатології, моніторингу, радіології, селекції деревних порід. Для науковців і спеціалістів лісового господарства, викладачів і студентів вищих навчальних закладів.

Forestry and Forest Melioration. – Kharkiv: URIFFM, 2024. – Iss. 145. – 163 p.

Results of investigations on forestry, forest science, forest breeding and growing, forest melioration, forest entomology, phytopathology, monitoring, radiology are presented. For researchers and specialists of forestry, teachers and students of higher educational establishments.

Ідентифікатор медіа: R30-03840

Збірник включено до Переліку наукових фахових видань України, категорія «Б»

сільськогосподарські науки, спеціальності – 202, 205, 206: наказ Міністерства освіти і науки України № 409 від 17.03.2020



ДИНАМІКА ПОКАЗНИКІВ ЛІСОВОГО ФОНДУ ФІЛІЇ «ЗМІЇВСЬКЕ ЛГ»
В. В. Назаренко¹, В. П. Пастернак^{2*}, В. О. Склярів³

За матеріалами обліків лісів та повидільної бази даних проаналізовано динаміку показників лісового фонду філії «Зміївське лісове господарство» державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» за період від 1970 до 2021 р. Наведено розподіл площ за категоріями земель і панівними деревними видами. Відзначено загальну тенденцію до зменшення площ деревостанів головних лісоутворювальних видів (сосни звичайної та дуба звичайного) від 1990 до 2010 р. та збільшення площ насаджень за участю ясен звичайного та робінії звичайної. За даними пробних площ визначено стан м'яколистяних деревостанів (осики та вільхи чорної (клейкої)). Найвищий розподіл деревостанів за групами віку значною мірою відрізняється від оптимального: частки середньовікових, а також стиглих і перестійних деревостанів перевищують оптимальні значення. Виявлено значне збільшення віку насаджень, зменшення середньої повноти, ступеня використання потенційної продуктивності лісових ділянок упродовж аналізованого періоду та втрати щорічного приросту.

К л ю ч о в і с л о в а : таксаційні показники, матеріали лісовпорядкування, деревостани, зміна запасу.

Вступ. Ліси на загальнодержавному та регіональному рівні є об'єктом збереження біологічного різноманіття, забезпечення екологічної стабільності територій, а також ресурсом заготівлі деревини та інших продуктів лісу. Враховуючи значення лісів для сьогодення та майбутнього, актуальним є дослідження проблем лісоуправління, його організаційного та нормативного забезпечення. Оптимальний розподіл лісових насаджень за віком, їх відповідність типам лісу та обґрунтовані віки стиглості мають істотне значення для стабільності й невиснажливості лісокористування (Girs *et al.*, 2013). Для оцінювання та порівняння стану лісів у різні часові періоди важливим є аналіз динаміки показників лісового фонду. Раніше було проведено аналіз лісового фонду деяких лісгосподарських підприємств Харківщини (Nazarenko, 2016; Nazarenko *et al.*, 2021). Науковцями УкрНДІЛГА визначено проблеми розвитку лісового господарства Харківської області (Tkach *et al.*, 2013) та рівень використання лісорослинного потенціалу (ВЛП) сосновими та дубовими деревостанами, зокрема у Середньоруському та Лівобережно-Дніпровському північно-степовому (байрачно-степовому) лісгосподарських округах (Tkach *et al.*, 2018).

Мета дослідження – охарактеризувати сучасний стан лісового фонду та визначити динаміку продуктивності лісів у філії «Зміївське ЛГ».

Матеріали й методи. За лісотипологічним районуванням лісові ділянки філії «Зміївське ЛГ» належать переважно до області свіжого помірно-теплого клімату (2d), а за лісгосподарським – до Харківського Лісостепу з дубовими, липово-дубовими лісами та лучними степами (Gensiruk, 2002; Ostapenko and Tkach, 2002). Південна частина території належить до області до сухого порівняно теплого клімату (1e). На території філії «Зміївське ЛГ» сформувалися місцевості вододільних і терасових рівнин із чорноземами типовими середньогумусовими, що надає ландшафтам рис, перехідних від північно-лісостепових до степових (Udovychenko, 2016).

¹ Назаренко Віталій Васильович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: 0997301084@btu.kharkov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1043-1619>

² Пастернак Володимир Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: pasternak65@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

³ Склярів Віталій Олексійович, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: 2303svo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9894-2165>

* Адреса для кореспонденції: pasternak65@ukr.net

Для аналізу показників деревостанів використовували базу даних «Лісовий фонд» для філії «Зміївське ЛГ» станом на 01.01.2022, матеріали лісовпорядкування (*Project of organization and development of forest management*, 2022), а також матеріали обліку лісового фонду 1970, 1980, 1990, 2000 та 2010 рр. Середні таксаційні показники деревостанів кожного панівного деревного виду обчислювали як середньозважене значення. Оптимальний розподіл площ насаджень за групами віку розраховували, виходячи з визначеного віку стиглості з урахуванням категорії лісів та необхідності забезпечення нормального розподілу деревостанів за класами віку (Girs *et al.*, 2013). Для оцінювання ступеня використання лісорослинного потенціалу визначали потенційний середній запас деревостанів на 1 га вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок. Водночас враховували відповідність типам лісу, а також оптимальний розподіл вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за класами віку та порівнювали фактичний загальний запас деревини вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок із цільовим, який було визначено на основі таблиць ходу росту повних деревостанів (Vilous *et al.*, 2021).

Для детальнішої характеристики деревостанів використано лісотипологічні профілі (Задонецьке-Казачка протяжністю 13,4 км і Велика Гомільша – 15,3 км) (Nazarenko and Pasternak, 2016). На профілях описано лісові насадження, у найбільш характерних місцях закладено пробні площі. Тимчасові пробні площі закладали також у м'яколистяних деревостанах. Досліджувані насадження характеризують переважно як середньоповнотні, середньо та високопродуктивні, вони ростуть в умовах свіжих, вологих і сирих грудів, свіжих та сирих сугрудів і загалом репрезентують твердолистяні та м'яколистяні деревостани філії «Зміївське ЛГ» та НПП «Гомільшанські ліси» (табл. 1).

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційна характеристика досліджуваних деревостанів на пробних площах

Table 1

Forestry mensuration characteristics of studied stands on the sample plots

№ пробної площі No. of sample plot	Склад Tree species composition	ТЛУ* TFSC*	Вік, років Age, years	Клас бонітету Site class	Відносна повнота Relative density of stocking
Пробні площі на лісотипологічних профілях у НПП «Гомільшанські ліси» Sample plots on forest typological profiles in NNP "Gomilsha forests"					
1	6Дз3Яз1Клг+Лпд	D ₂	100	II	0,67
2	8Дз2Клп	D ₂	97	II	0,68
3	9Дз1Клг+Лпд	D ₂	91	II	0,65
4	3Дз3Яз3Лпд1Клг+Гшз	D ₂	52	II	0,82
5	9Дз1Клг+Лпд+Яз	D ₂	67	II	0,75
6	7Яз3Дз+Клг,Взш	D ₂	66	II	0,78
7	5Яз4Дз1Лпд+Клг	D ₂	105	II	0,72
8	4Клп3Дз2Яз1Взш	D ₃	102	II	0,64
9	8Ос1Лпд1Взш+Клп, Яб	D ₃	60	I	0,67
10	3Дз3Яз3Лпд1Клг+Клп	D ₂	142	II	0,65
Пробні площі у м'яколистяних деревостанах філії «Зміївське ЛГ» Sample plots in softwood deciduous stands in the Branch "Zmiivske Forestry"					
1	9Ос1Клг+Лпд	D ₂	59	I	0,67
2	4Ос2Дз2Лпд1Клг+Яз	D ₂	44	I	0,68
3	6Ос2Лпд1Клг1Яз,Дз	D ₂	58	II	0,64
4	6Ос4Бп	C ₂	20	II	0,85
5	9Ос1Бп+Дз,Влч	C ₂	42	I	0,74
6	10Влч	C ₄	90	I	0,71
7	10Влч	C ₄	40	Ia	0,75
8	10Влч	C ₄	45	Ia	0,60
9	10Влч	C ₄	50	I	0,65
10	10Влч	D ₄	90	I	0,68
11	10Влч	C ₄	70	I	0,64

*ТЛУ – тип лісорослинних умов. TFSC – type of forest site conditions.

Під час проведення досліджень використано загальноприйняті в лісовій таксації методики та СОУ «Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання» (*Forest inventory sample plots*, 2006; Нром, 2010). Для встановлення таксаційних показників деревостанів на ділянках здійснювали суцільний перелік дерев із їхнім розподілом за видами та категоріями технічної придатності. На пробних площах у м'яколистяних деревостанах оцінювали санітарний стан дерев відповідно до «Санітарних правил в лісах України» за комплексом зовнішніх ознак (*Sanitary Forests Regulations in Ukraine*, 2016). Індекс санітарного стану насаджень визначали окремо для всіх дерев на пробній площі (I–VI) та для вибірки живих дерев (I–IV).

Результати. Станом на 01.01.2022, загальна площа земель лісового фонду філії разом із НПП «Гомільшанські ліси» становила 35 743,8 га (табл. 2). Протягом усього аналізованого періоду загальна площа лісового фонду збільшилася на 11743,8 га. Це пов'язано з тим, що у 1980 р. було приєднано лісові ділянки від колгоспів та малопродуктивні землі під заліснення, непридатні для сільськогосподарського використання. У 1990 р. до складу лісгоспу було прийнято Краснополянське лісництво від Чугуївського лісгоспу, а у 2012 р. згідно з наказом Державного агентства лісових ресурсів України ДП «Близнюківське ЛГ» було реорганізовано шляхом приєднання його до ДП «Зміївське ЛГ». У 2004 р. указом Президента України створено Національний природний парк (НПП) «Гомільшанські ліси», однак аналіз проводили для всієї території лісового фонду з урахуванням НПП.

Таблиця 2

Розподіл загальної площі лісового фонду за категоріями земель

Table 2

Distribution of forest fund area by land categories

Категорії земель Land categories	1970	1980	1990	2000	2010	2021
1. Площа земель лісового фонду Area of forest fund	24 000,0	25 730,0	29 540,0	29 550,0	29 550,0	35 743,8
2. Лісові ділянки – разом Forest plots – total	23 500,0	25 262,0	28 571,5	28 719,8	28 647,8	34 451,7
2.1. Вкриті лісовою рослинністю – разом Forested areas – total	21 200,0	24 100,0	27 573,9	27 329,3	26 928,1	32 954,0
в т.ч. лісові культури including planted stands	8 300,0	10 690,0	11 223,2	10 849,3	10 829,1	13 323,6
2.2. Не вкриті лісовою рослинністю, у т.ч. Non-forested areas, including	2 300,0	1 192,0	997,6	1 390,5	1 719,7	1 497,7
незімкнуті лісові культури unstocked planted stands	1 500,0	524,0	227,6	504,7	863,9	426,8
лісові розсадники, плантації forest nurseries, plantations	–	36,0	70,9	100,6	83,5	84,4
рідколісся sparse forest	100,0	33,0	–	–	–	–
згарища, загиблі насадження burned areas, dead stands	–	5,0	4,1	3,7	11,9	3,8
зруби clear cutting area	100,0	167,0	35,3	91,3	103,5	53,9
галявини, пустирі lawns, abandoned lands	400,0	195,0	306,8	267,2	259,9	461,9
лісові шляхи, просіки, протипожежні розриви forest roads, fire breaks	200,0	232,0	352,9	423,0	397,0	466,9
3. Нелісові землі – разом Non-forest lands – total	500,0	468,0	968,5	830,2	902,2	1 292,1

Основну частку лісового фонду становлять лісові землі – 96,4 %. Після 2000 р. наявна негативна тенденція до зменшення частки лісових земель і збільшення частки нелісових. Незважаючи на поступове збільшення площі вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок (до майже 33 тис. га) та зменшення площ незімкнених лісових культур, протягом останнього 10-річного періоду відзначено різке збільшення площ галявин і пустирів. Крім того, відзначено зменшення площі лісових розсадників і плантацій від 2000 р. та збільшення площ лісових насаджень, створених штучним шляхом від 2010 до 2021 р., внаслідок чого зменшилися площі природних деревостанів, особливо насінневих.

Значна типологічна різноманітність лісів філії зумовлена геоморфологічними та едафічними особливостями лісових місцезростань (Nazarenko and Pasternak, 2016). Понад 65 % площ вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок мають грудові умови, у яких найбільш поширеними є свіжа кленово-липова діброва (43,2 %) та суха кленово-липова діброва (21,6 %). Серед суборевих умов найбільш презентованим є свіжий дубово-сосновий субір (15,3 %). Площі борів становлять 9,4 %, а сугрудів – 7,9 %.

На вкритих лісовою рослинністю лісових ділянках переважають деревостани двох основних лісоутворювальних видів – сосни звичайної та дуба звичайного, які найбільшою мірою відповідають меті ведення господарства (табл. 3).

Таблиця 3

Розподіл площ деревостанів за панівними деревними видами

Table 3

Forest stand distribution by dominant tree species

Панівний деревний вид Dominant tree species	Одиниця виміру Unit	Рік обліку Year of assessment				
		1980	1990	2000	2010	2021
Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris</i> L.	га	8 927,0	8 725,3	8 172,2	7 965,5	8 617,7
	%	37,0	31,6	29,9	29,6	26,2
Дуб звичайний <i>Quercus robur</i> L.	га	13 540,0	16 909,9	16 515,1	16 004,2	20 229,4
	%	56,2	61,3	60,4	59,4	61,4
Ясен звичайний <i>Fraxinus excelsior</i> L.	га	119,0	231,0	366,3	568,2	1 105,1
	%	0,5	0,8	1,3	2,1	3,4
Робінія звичайна <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	га	181,0	255,5	313,8	310,2	618,1
	%	0,8	0,9	1,1	1,2	1,9
Осика <i>Populus tremula</i> L.	га	462,0	582,0	590,8	549,9	468,1
	%	1,9	2,1	2,2	2,0	1,4
Вільха чорна (клейка) <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth.	га	290,0	422,0	416,5	425,2	457,8
	%	1,2	1,5	1,5	1,8	1,4

Для планування лісогосподарської діяльності на перспективу необхідні детальний аналіз фактичного розподілу деревостанів за класами та групами віку, а також визначення заходів для максимального наближення до рівномірної вікової структури. Розподіл деревостанів за віком суттєво відрізняється від оптимального (табл. 4).

Існуючий і оптимальний поділ деревостанів за групами віку

Table 4

Real and optimal stand distribution on age groups

Група віку Age group	1990		2000		2010		2021		Оптимальний Optimal
	га	%	га	%	га	%	га	%	%
Молодняки Young stands	6 181,5	22,4	3 434,5	12,6	2 554,9	9,5	3 184,3	9,7	24,6
Середньовікові Middle-aged stands	19 074,3	69,2	18 237,9	66,7	17 423,0	64,7	20 894,5	63,4	49,3
Пристигли Premature stands	1 884,0	6,8	3 304,2	12,1	3 404,6	12,6	3 639,5	11,0	14,4
Стигли та перестійні Mature and overmature stands	434,1	1,6	2 352,7	8,6	3 545,6	13,2	5 235,7	15,9	11,7
Разом Total	27 573,9	100	27 329,3	100	26 928,1	100	32 954,0	100	100

Унаслідок постійного збільшення площ лісів із особливим режимом користування поступово підвищується частка стиглих і перестійних деревостанів (від 1,6 % у 1990 р. до 15,9 % у 2020 р.). Нині цей показник перевищує оптимальні значення більш ніж на 4 %. Вирішення цієї проблеми, хоча б частково, можливе через зміну режиму користування в лісах. Це дасть змогу збільшити обсяги лісосічного фонду та зменшити площі стиглих і перестійних деревостанів, а за умови ефективного лісовідновлення – збільшити площі молодняків. Успішне впровадження цих заходів певною мірою збалансує вікову структуру.

Для оцінювання рівня ведення господарства та відповідності вирощуваних деревних порід умовам місцезростання аналізували продуктивність деревостанів. Показники продуктивності можливо підвищити за сприятливих для росту й розвитку деревостанів природно-кліматичних умов та у разі ефективного ведення господарської діяльності. Виявлено, що загалом більш ніж половина деревостанів (53,4 %) ростуть за другим класом бонітету, частка деревостанів I й вищих класів бонітету становить 30,7 %, а III і нижчих – 15,9 %, причому останні здебільшого ростуть у бідних типах лісорослинних умов та на еродованих схилах ярів і балок.

Переважає більшість соснових деревостанів (53,6 %) ростуть за I класом бонітету, за II класом бонітету ростуть 28,0 % сосняків, що загалом відповідає розподілу соснових деревостанів за типами лісу. Незважаючи на те, що сосна звичайна є стійкою до дії природно-кліматичних чинників, на стан її насаджень впливають зміна клімату та антропогенне навантаження. Більш ніж 2/3 його деревостанів дуба звичайного (68,3 %) ростуть за II класом бонітету, що пояснюється переважанням порослевих дубових деревостанів 2–3-ї генерації. Загалом середній клас бонітету становить II,1 і в різні періоди обліку коливається в межах $\pm 0,2$ одиниці. Це пов'язане з особливостями природного росту деревостанів, господарською діяльністю, а також впливом зміни кліматичних чинників. Зведена інформація за середніми таксаційними показниками за окремими господарським секціям та в господарстві загалом є основою для оцінювання фактичного стану лісових насаджень, їхньої динаміки за певний період часу, аналізу та подальшого стратегічного планування. Динаміка середніх таксаційних показників (табл. 5) свідчить про переважно негативні тенденції.

Інтенсивність господарського впливу на деревостани, поширення хвороб і шкідників, сприятливість лісорослинних умов та кліматичних чинників для росту різних деревних видів позначаються на повноті деревостанів. Переважає більшість деревостанів філії (78 %) є середньоповнотними (0,6–0,7). Частка високоповнотних деревостанів (0,8–1,0) становить близько 14 %. Частка низькоповнотних насаджень (0,3–0,5) є значно меншою, але водночас, порівнюючи з попереднім обліковим періодом, вона збільшилася від 4,6 % до 8,1 %. Таким

чином, незважаючи на деяке збільшення частки високоповнотних деревостанів, є тенденція до зниження загальної середньої відносної повноти на 0,01. Таке зниження відносної повноти простежується протягом усіх облікових періодів від 0,74 до 0,66 одиниці.

Таблиця 5

Динаміка середніх таксаційних показників за основними деревними видами

Table 5

Dynamic of mean mensuration indicators by main tree species

Панівний деревний вид Dominant tree species	Рік обліку Year of accounting	Середні таксаційні показники Mean mensuration indicators					
		вік, років age, years	клас бонітету site class	Відносна повнота relative density of stocking	запас, м ³ ·га ⁻¹ growing stock, m ³ ·ha ⁻¹		середня зміна запасу на 1 га вкритих лісовою рослинністю ділянок, м ³ mean change of growing stock per 1 ha of forested lands
					вкритих лісовою рослинністю ділянок forested areas	стиглих і перестійних насаджень mature and overmature stands	
Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris</i> L.	1990	54	I,6	0,68	238	225	4,7
	2000	62	I,4	0,70	270	311	4,0
	2010	65	I,0	0,69	298	353	4,6
	2021	69	I,2	0,65	276	329	4,0
Дуб звичайний <i>Quercus robur</i> L.	1990	67	II,3	0,69	201	222	3,0
	2000	79	II,2	0,69	226	224	2,9
	2010	86	II,1	0,67	240	230	2,8
	2021	93	II,1	0,67	248	235	2,7
Ясен звичайний <i>Fraxinus excelsior</i> L.	1990	50	II,1	0,71	162	200	3,4
	2000	55	I,8	0,74	194	222	3,5
	2010	62	I,7	0,70	221	250	3,6
	2021	74	I,7	0,70	253	283	3,4
Робінія звичайна <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	1990	27	I,4	0,64	70	149	2,4
	2000	34	I,4	0,65	101	142	3,0
	2010	45	I,5	0,66	132	142	2,9
	2021	43	II,1	0,63	104	141	2,4
Осіка <i>Populus tremula</i> L.	1990	40	I,1	0,69	239	306	6,2
	2000	47	Ia,9	0,70	268	303	5,7
	2010	49	I,0	0,65	207	248	4,6
	2021	54	I,0	0,62	241	278	4,5
Вільха чорна (клейка) <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth.	1990	40	I,5	0,68	162	247	4,0
	2000	50	I,2	0,69	230	310	4,6
	2010	55	I,0	0,65	254	330	4,5
	2021	60	I,2	0,66	262	311	4,4
Разом Total	1970	44	II,2	0,74	148	193	3,5
	1980	52	II,1	0,74	162	223	3,5
	1990	61	II,0	0,69	210	257	3,6
	2000	71	I,9	0,69	237	248	3,2
	2010	75	I,6	0,67	256	250	3,3
	2021	82	I,8	0,66	250	244	3,1

Через зменшення середніх значень таксаційних показників відзначено порівняно невисокий показник використання лісорослинного потенціалу лісових земель (табл. 6).

Таблиця 6

Ступінь використання потенційної продуктивності лісових земель насадженнями головних лісоутворювальних видів

Table 6

Use of forest site capacity by the stands of the main forest-forming species

Основні лісоутворювальні види Main forest-forming species	Рік обліку Year of accounting	Площа вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, га Area of forested lands, ha		Середній запас вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок, м ³ га ⁻¹ Mean growing stock of forested plots, m ³ .ha ⁻¹		Ступінь використання потенційної продуктивності лісових ділянок Use of forest site capacity
		фактична real	за цільовою породою for target species	фактичний real	оптимальний optimal	
Сосна звичайна <i>Pinus sylvestris</i> L.	2000	8 172,2	8 679,1	270	438	61,6
	2010	7 965,5	8 493,1	298	483	61,7
	2021	8 617,7	9 039,6	276	526	52,5
Дуб звичайний <i>Quercus robur</i> L.	2000	16 515,1	16 740,9	226	322	70,2
	2010	16 004,2	16 434,2	240	341	69,5
	2021	20 229,4	21 540,4	248	373	66,5
Ясен звичайний <i>Fraxinus excelsior</i> L.	2000	366,3	321,5	194	250	77,6
	2010	568,2	408,3	221	261	84,3
	2021	1 105,1	617,5	253	277	91,3
Робінія звичайна <i>Robinia pseudoacacia</i> L.	2000	313,8	184,1	101	141	71,6
	2010	310,2	49,6	132	166	79,5
	2021	618,1	280,2	104	126	82,3
Осика <i>Populus tremula</i> L.	2000	590,8	434,1	268	422	63,5
	2010	549,9	270,7	207	417	49,2
	2021	468,1	187,3	241	457	52,7
Вільха чорна (клейка) <i>Alnus glutinosa</i> (L.) Gaerth.	2000	416,5	320,3	230	363	63,4
	2010	425,2	381,4	254	404	62,9
	2021	457,8	446,6	262	408	64,2
Загалом у філії:	2000	27 329,3	27 329,3	237	357	66,4
	2010	26 928,1	26 928,1	255	388	65,7
	2021	32 954,0	32 954,0	250	393	63,6

Санітарний стан живих дерев на переважній більшості пробних площ є добрим, хоча на деяких ділянках наближається до ослабленого (табл. 7).

Частка сухоостою у деревостанах осики становить у середньому 2,5 %, а вільхи – 3,3 %. Частка пошкоджених (уражених) дерев у деревостанах осики у середньому становить 19,1 %, вільхи – 14,4 %. Основним типом ураження є гнилі.

Обговорення. У розподілі вкритих лісовою рослинністю лісових ділянок за складом важливо звернути увагу на динаміку розподілу площ деревостанів за панівними деревними видами та відповідність складу деревостанів лісорослинним умовам. На місці корінних через ті, чи інші причини формуються похідні типи деревостанів, що мають низьку господарську цінність. Так, у грудях формуються осичники, кленовники, ясенники, а у борах та суборах – березняки чи акацієвники, хоча вони можуть відповідати меті ведення господарства та знижувати рівень пожежної небезпеки. Збільшення площ ясеня також відзначено за результатами інвентаризації НПП «Гомільшанські ліси» (Buksha *et al.*, 2010). Зменшення площ соснових деревостанів від 1980 до 2010 рр. пов'язане з погіршенням їхнього стану та виокремленням у 2000 р. в окрему господарську секцію соснових деревостанів в осередках кореневої губки, площа яких у 2010 р. становила 345,4 га, а у 2020 р. – 262,4 га. Суттєве зменшення площ соснових деревостанів упродовж 1990–2010 рр. пов'язане також із тим, що

в осередках кореневої губки та на ділянках, що піддаються інтенсивному техногенному забрудненню, лісовідновлення здійснювали переважно листяними породами.

Таблиця 7

Санітарний стан деревостанів на пробних площах

Table 7

Health condition of stands in the sample plots

№ пробної площі No. of sample plot	Склад Tree species composition	Індекс санітарного стану Health condition index		Частка сухостою, % Proportion of dead trees, %	Частка пошкоджених дерев, % Proportion of damaged trees, %
		для живих дерев for living trees	для всіх дерев for all trees		
1	9Ос1Клг+Лпд	1,45	1,58	1,2	35,2
2	4Ос2Дз2Лпд1Клг+Яз	1,25	1,25	0,0	10,1
3	6Ос2Лпд1Клг1Яз,Дз	1,52	1,80	8,2	19,1
4	6Ос4Бп	1,12	1,31	4,9	5,9
5	9Ос1Бп+Дз,Влч	1,42	1,55	1,3	34,4
6	7Ос2Взш1Влч	1,34	1,48	2,0	19,3
7	8Ос1Взш1Влч	1,25	1,25	0,0	9,5
8	10Влч	1,48	1,48	0,0	39,3
9	10Влч	1,24	1,24	0,0	10,1
10	10Влч	1,27	1,31	1,0	1,0
11	10Влч	1,12	1,27	3,8	1,3
12	10Влч	1,52	1,52	0,0	26,5
13	10Влч	1,19	1,37	4,1	18,5
14	8Влч1Ос1Вз+Яз,Дз,Бп	1,16	1,87	14,0	4,1
15	9Влч1Ос+Вз,Лпд,Дз,Бп	1,18	1,50	6,7	3,9

Протягом останнього ревізійного періоду значні площі незімкнених лісових культур переведено у вкриті лісовою рослинністю ділянки, завдяки чому збільшилися площі деревостанів сосни звичайної та дуба звичайного.

Станом на 01.01.2022 середня відносна повнота насаджень досліджуваного підприємства становить 0,66, за всі періоди обліку це – найнижчий показник. Тенденція поступового зниження відносної повноти насаджень простежується як за окремими господарськими секціями, так і загалом. Відносна повнота насаджень зменшується внаслідок погіршення санітарного стану та всихання деревостанів під впливом комплексу несприятливих кліматичних та антропогенних чинників і старіння деревостанів. Крім соснових і дубових деревостанів у лісовому фонді наявні деревостани зі значно нижчою довговічністю порівнюючи з головними лісоутворювачами. Унаслідок негативних тенденцій прирости деревини як на одному гектарі, так і на всій площі зменшуються. На основі зведених даних можна визначити, що максимальною зміна запасу була в 1990 р, коли середній вік насаджень становив 61 рік. Порівнюючи з 1990 р., коли середня зміна запасу становила $3,6 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ (Nazarenko *et al.*, 2018), нині цей показник знизився до $3,1 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

В останній обліковий період, через недостатнє проведення господарських заходів з омолодження деревостанів, приріст став меншим за величину відпаду, і, як наслідок, значення середнього запасу почало знижуватись. Це також визначено в насадженнях, які віднесено до стиглих та перестійних, але там цей процес розпочався ще раніше.

Для пом'якшення негативних тенденцій необхідно проводити заходи з омолодження та формування корінних деревостанів. Це дасть змогу наблизити вікову структуру до оптимальної, підвищити відносну повноту насаджень і стійкість до негативного впливу хвороб та шкідників, а приріст перевищуватиме відпад.

На нашу думку, для збільшення частки лісових земель, зокрема вкритих лісовою рослинністю, необхідно виявити фонд лісорозведення серед нелісових земель і фонд лісовідновлення серед галявин і пустирів, які не використовують як біогалявини. Крім того,

зважаючи на збільшення площі філії майже на 10 тис. га, вважаємо за необхідне збільшити площі лісових розсадників, що, зі свого боку, повніше задовольнятиме потреби в садивному матеріалі під час лісокультурних кампаній.

За останні проаналізовані 20 років показник ВЛП знизився майже на 3 %. Особливо значне зниження відбулося протягом останнього десятирічного періоду, що зумовлене як приєднанням менш продуктивних насаджень ДП «Близнюківське ЛГ», так і погіршенням стану насаджень унаслідок впливу несприятливих чинників. Найменший рівень використання потенційної продуктивності виявлено для деревостанів сосни звичайної та осики (52,5 та 52,7 % відповідно), що є суттєво меншим, ніж у середньому у філії. Це пов'язано переважно з низькою повнотою деревостанів. Порівнюючи з даними науковців УкрНДЛГА, ступінь ВЛП для соснових і дубових деревостанів філії є суттєво нижчим. Так, за даними науковців УкрНДЛГА (Ткач *et al.* 2018) рівень ВЛП становить: сосновими деревостанами в Середньоруському окрузі В₂-дС – 71 %, С₂-лдС – 68 %; у Лівобережно-Дніпровському північно-степовому (байрачно-степовому) окрузі А₂-С – 73 %, В₂-дС – 76 %; дубовими деревостанами в Середньоруському окрузі D₂-клД – 67 %; у Лівобережно-Дніпровському північно-степовому (байрачно-степовому) окрузі D₁-бр-кпД – 63 %, D₂-бр-кпД – 71 %.

Висновки. Аналіз показників лісового фонду філії «Зміївське лісове господарство» за період від 1970 до 2021 р. дав можливість виявити певні тенденції, які мають як позитивні, так і негативні наслідки в екологічному та господарському аспектах. Здебільшого причиною є не лише господарська діяльність на території лісового фонду, а й чинна нормативно-правова складова та зовнішні негативні чинники. У результаті збільшується частка площ некритих лісовою рослинністю ділянок, зменшуються площі лісових розсадників і плантацій, що свідчить про недостатність лісовідновних процесів. Також відбувається старіння деревостанів і зниження їхньої продуктивності. Показник середньої зміни запасу знизився до 3,1 м³·га⁻¹, а рівень використання лісорослинного потенціалу – майже на 3 %. Найменший рівень використання потенційної продуктивності виявлено для деревостанів сосни звичайної та осики (52,5 та 52,7 % відповідно).

Подяки. Автори вдячні С. М. Бугайову, який надавав професійні послуги зі збору польових даних на пробних площах, та рецензентам за цінні поради та рекомендації.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання досліджень ХНАУ ім. В. В. Докучаєва «Вивчити стан і продуктивність м'яколистяних деревостанів у ДП «Зміївське лісове господарство» та розробити рекомендації щодо ведення господарства в них» (тема № 5), замовником якої було Державне підприємство «Зміївське лісове господарство».

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Bilous, A.M., Kashpor, S.M., Myroniuk, V.V., Svinchuk, V.A. and Lesnik, O.M. (2021) *Forest inventory handbook*. Kyiv: Vinichenko Publishing House. ISBN 978-966-981-403-6 (in Ukrainian).
- Buksha, M.I., Yarotskiy, V., and Yarotska, M. (2010) 'Characteristics of forest vegetation of the National Park "Gomolsha forests" as a result of sample statistical forest inventory', *Forestry and Forest Melioration*, 117, pp. 40–48 (in Ukrainian).
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006.* (2007). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian).
- Gensiruk, S.A. (2002) *Forests of Ukraine*. Lviv: Shevchenko Scientific Society Publishing House (in Ukrainian).
- Girs, O.A., Novak, B.I. and Kashpor, S.M. (2013) *Forest management*. Kyiv: Fitosotsiotsentr (in Ukrainian)
- Hrom, M.M. (2010) *Forest mensuration*. Lviv: RVV UNFU (in Ukrainian).
- Nazarenko, V.V. (2016) 'Study of state and dynamics of forest fund of Kharkiv region on the example of Gutyanske Forestry', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26.3, pp. 145–150 (in Ukrainian).
- Nazarenko, V.V., Garmash, A.V., Buhaiov, S.M., Pasternak, V.P. and Pyvovar, T.S. (2021) 'State and dynamics of forest fund indicators in SE "Skrypayske Educational and Research Forestry" (Forest-Steppe, Ukraine)', *Ukrainian Journal of Ecology*, 11 (8), pp. 71–78.
- Nazarenko, V.V. and Pasternak, V.P. (2016) *Patterns of formation of forest types of Forest-steppe of the Kharkiv region*. Kharkiv: Planeta-Print. ISBN 978-617-7229-27-7 (in Ukrainian).

- Nazarenko, V.V., Pasternak, V.P. and Sklyarov, V.O. (2018) ‘State and dynamic of forest fund SE “Zmiyv Forestry”’, *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Soil science, agricultural chemistry, agriculture, forestry, and soil ecology*, 1–2, pp. 130–137 (in Ukrainian).
- Ostapenko, B.F. and Tkach, V.P. (2002) *Forest typology*. Kharkiv: KhDAU (in Ukrainian).
- Project of organization and development of forest management of branch “Zmiyv Forestry”*. (2022). Pokotylyivka (in Ukrainian).
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine*. (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 756 dated 26 October 2016. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (Accessed 02 February 2023) (in Ukrainian).
- Tkach, V.P., Buksha, I.F. and Vedmid, M.M. (2013) ‘Actual problems of forestry development in Kharkiv region’, *Forestry and Forest Melioration*, 122, pp. 3–11 (in Ukrainian).
- Tkach, V.P., Kobets, O.V. and Rumiantsev, M.H. (2018) ‘Use of forest site capacity by forests of Ukraine’, *Forestry and Forest Melioration*, 132, pp. 3–12 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.3>
- Udovychenko, V. (2016) ‘Landscape-typological structure of the forest-steppe complexes of the Left Bank the Dnipro River of Ukraine territory’, *Scientific Notes of Ternopil National Pedagogical University. Series: Geography*, 1(40), pp. 50–58 (in Ukrainian).

DYNAMIC OF INDICATORS OF FOREST FUND OF THE BRANCH “ZMIIVSKE FORESTRY”

Nazarenko V.V.¹, Pasternak V.P.^{2*}, Sklyarov V.O.³

Trends in the indicators of the forest fund of the Branch “Zmiivske Forestry” of the State Specialized Forest Enterprise “Forests of Ukraine” for the period from 1970 to 2021 were analysed. The article presents the distribution of the forest areas by categories of forest plots and dominant species. A general trend towards a decrease in the area of stands of the main forest-forming species (Scots pine and English oak) since 1990 and an increase of secondary ones (common ash and black locust) was noted. It was established that the existing division of stands by age groups is significantly different from the optimal one: the proportion of mature and overmature stands exceeds the optimal values. A significant increase in the age of stands, a decrease in the average density of stocking and forest site capacity using as well as a reduction in the annual growth were established.

Key words: mensuration indicators, forest management planning materials, forest stands, growing stock change.

Одержано редколегією 08.07.2024

¹ Nazarenko Vitaliy, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, State Biotechnological University, Alchevskiyh Street 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: 0997301084@btu.kharkov.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1043-1619>

² Pasternak Volodymyr, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Professor, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: pasternak65@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1346-1968>

³ Sklyarov Vitaliy, State Biotechnological University, Alchevskiyh Street 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: 2303svo@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0008-9894-2165>

* Correspondence: pasternak65@ukr.net

УДК 630.231:582.475(477.41/42)

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.13>

ОСОБЛИВОСТІ ЛІСОВІДНОВЛЕННЯ НАСАДЖЕНЬ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА ЗРУБАХ В УМОВАХ МАЛОГО ПОЛІССЯ

О. М. Тарнопільська^{1*}, П. Б. Тарнопільський², С. І. Мусієнко³, В. А. Лук'янець⁴

Досліджено особливості природного та штучного лісовідновлення сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на зрубах після проведення середньолісосічних рубок головного користування (смугами 51–100 метрів) у різних типах лісу в умовах Малоого Полісся. Виявлено, що густина самосіву й підросту є більшою в разі попереднього сприяння природному відновленню. На перший, другий і третій роки на таких ділянках з'являється в 3–6 разів більше самосіву, порівнюючи з ділянками, на яких заходи зі сприяння не проводили. Окрім того, 71 % 3-річного самосіву та 57 % 4–5-річного підросту концентруються переважно в борознах, де відсутній трав'яний покрив. Виявлено, що показники середнього приросту за висотою та середня висота лісових культур і природного поновлення віком 10–11 років є близькими за значеннями. Клас бонітету густіших молодняків (понад 40 000 шт. га⁻¹) в умовах свіжого субору на одиницю нижчий, ніж клас рідших (близько 20 000 шт. га⁻¹) в умовах вологого субору. На всіх дослідних об'єктах кількість підросту є достатньою для відтворення високопродуктивних сосняків у регіоні дослідження.

К л ю ч о в і с л о в а : природне поновлення, лісові культури, самосів, міжряддя, борозна, категорія успішності поновлення.

Вступ. Площа природних сосняків в Україні зменшується з кожним роком. У сучасних умовах соснові ліси відтворюють переважно шляхом створення лісових культур (Fuchylo and Ryabukhin, 2011). Зважаючи на процеси деградації та інтенсивного всихання лісів, зокрема сосняків, суттєво зростає актуальність підвищення біологічної стійкості відтворюваних лісових ценозів та їхньої адаптації до глобальної зміни клімату та довкілля (Mihaylichenko and Ustsky, 2016; Davydenko *et al.*, 2021). У цьому контексті особливого значення набуває природне лісовідновлення, за якого витрати зведені до мінімуму (Fuchylo and Ryabukhin, 2011), а ліси формуються стійкішими, ніж штучні насадження, оскільки природне поновлення зазнає жорсткого відбору в певних лісорослинних умовах (Fuchylo and Ryabukhin, 2011; Brichta *et al.*, 2020; Maurer and Kimeichuk, 2020; Zawadzka and Słupska, 2022; Borodavka *et al.*, 2024). Окрім того, потомство місцевих дерев є краще пристосованим до цих умов, ніж сіянці, вирощені в розсадниках і теплицях (Zhezhkun and Zhezhkun, 2017; Tkach and Zhezhkun, 2024). Природне насіннєве поновлення місцевої популяції, яка адаптована до конкретних умов, завжди формує стійкіші насадження, ніж ті, що створюють садивним матеріалом, який часто одержують в інших регіонах. Тому необхідно на більших площах формувати насадження природного походження шляхом проведення лісогосподарських заходів.

У перспективі передбачено поступовий перехід лісового господарства України до наближеного до природи лісівництва. Це – система організації й ведення лісового господарства, за якої досягається безперервне відновлення та формування лісостанів, максимально подібних до природних за структурою й генезисом (Chernyavskyy *et al.*, 2011; Krynytskyi and Lavnyi, 2024).

¹ Тарнопільська Оксана Михайлівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: tarnoks@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-8892>

² Тарнопільський Петро Богданович, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: tarnopilsky@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8547-4843>

³ Мусієнко Сергій Іванович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: musienkosergij_les@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6581-2670>

⁴ Лук'янець Володимир Антонович, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: lukyane52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

* Адреса для кореспонденції: tarnoks@ukr.net

Останнім часом природному відновленню сосни звичайної було присвячено багато робіт вітчизняних науковців (Siruk, 2010; Fuchylo and Ryabukhin, 2011; Ryabukhin, 2011; Fedenyshyn and Mazepa, 2014; Zhezhkun and Zhezhkun, 2017; Maurer and Kimeichuk, 2020; Borodavka *et al.*, 2024), а також науковців європейських країн (Saurasunet *et al.*, 2018; Brichta *et al.*, 2020; Huth *et al.*, 2022; Zawadzka and Słupska, 2022; Miettinen *et al.*, 2024). Аналіз наукових праць свідчить, що у відповідних лісорослинних умовах варто орієнтуватися на природне відтворення соснових лісів у більших обсягах. Водночас необхідно враховувати біологічні особливості сосни, ступінь розвитку трав'яного покриву в різних типах лісу, вплив лісгосподарських заходів на процеси природного відновлення, зокрема організаційно-технологічних елементів систем рубок.

Отже, використання природного відновлення для відтворення соснових лісів є вкрай актуальним. Воно сприятиме підвищенню біоценотичного різноманіття, біологічної стійкості сосняків та їхній адаптації до глобальної зміни клімату. Водночас недостатньо інформації існує стосовно успішності лісовідновлення природним і комбінованим способами на зрубках після проведення суцільнолісосічних рубок головного користування в певних типах лісу.

Мета досліджень – оцінити ефективність лісовідновлення штучним, природним і комбінованим способами на зрубках після проведення середньолісосічних рубок головного користування в умовах Малеого Полісся.

Матеріали й методи. Дослідження проведено в лісовому фонді філії «Бродівське лісове господарство», територія якого належить до Малеого Полісся, а кількість опадів варіює у межах 641–661 мм на рік (*National Atlas of Ukraine*, 2007). Для дослідження особливостей появи й збереження самосіву сосни звичайної на зрубках, а також стану природного поновлення та лісових культур сосни на штучно відновлених зрубках у 2022 р. було закладено п'ять пробних площ (ПП). Вони розташовані на зрубках після проведення суцільних середньолісосічних рубок 2005–2021 рр. експлуатаційних насаджень сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

Першу пробну площу (ПП 1) було закладено в Заболотцівському лісництві (кв. 92, вид. 42.1) в умовах вологого грабово-дубового сугруду (С₃-гдС) на зрубі 2019 р. через 3 роки після проведення рубки (координати – N 50°02'33" E 24°55'00"). Другу пробну площу (ПП 2) закладено в Берлінському лісництві (кв. 86, вид. 3.13) в умовах свіжого дубово-соснового субору (В₂-дС) на зрубі 2018 р. через 4 роки після проведення середньолісосічної рубки (координати – N 50°08'52" E 24°59'19"). На обох пробних площах застосовано природний спосіб лісовідновлення в поєднанні із заходами сприяння природному відновленню шляхом прокладання борозен плугом ПКЛ-70 на глибину 5–10 см. Ширина міжрядь, в яких підстилку та трав'яний покрив не порушували, становить 1,0–1,5 м. Третю пробну площу (ПП 3) було закладено в Берлінському лісництві (кв. 86, вид. 3.1) в умовах свіжого дубово-соснового субору (В₂-дС) в 11-річних лісових культурах сосни звичайної, створених у 2011 р. Четверту пробну площу (ПП 4) закладено в Берлінському лісництві (кв. 86, вид. 3.2) в умовах вологого дубово-соснового субору (В₃-дС) в 10-річних лісових культурах, створених у 2012 р. Культури на ПП 3 і 4 створено однорічними сіянцями із відкритою кореневою системою (ВКС) на зрубках після проведення середньолісосічної рубки із розміщенням садивних місць 2,0 × 0,5 м (густота – 10 000 шт. · га⁻¹). П'яту пробну площу (ПП 5) закладено в Лагодівському лісництві (кв. 84, вид. 8.2) в умовах вологого дубово-соснового субору (В₃-дС) у культурах сосни звичайної, створених на зрубі 2018 р. садивним матеріалом із закритою кореневою системою (ЗКС) (координати – N 50°05'37" E 25°03'57"). Схема розміщення садивних місць культур сосни – 2 × 1 м (густота – 5 000 тис. шт. · га⁻¹). Рубки проведено напередодні насінневих років (бал насінненошення – 3 і більший) (Debrunyuuk *et al.*, 1998).

Дослідження й оцінювання природного поновлення проведено відповідно до методики Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького (УкрНДІЛГА) (Kobets *et al.*, 2017) та «Інструкції з проектування, технічного приймання, обліку та оцінки якості лісокультурних об'єктів» (*Instruction on design*, 2016). Обліки в зімкнених насадженнях проводили із визначенням категорії стану дерев

(*Sanitary Forests Regulations in Ukraine*, 2016). Таксаційну характеристику деревостанів отримано за загальнозживаними методиками лісівництва, лісознавства й лісової таксації (Hrom, 2010; Vilous *et al.*, 2020). Межі середніх висот за класами бонітету для повних 10- та 11-річних молодняків сосни звичайної природного походження розраховано за таблицями ходу росту (Vilous *et al.*, 2020).

Результати досліджень проаналізовано із використанням методів варіаційної статистики та їхнього графічного відображення й аналізу (Horoshko *et al.*, 2004).

Результати. На ПП 1 густина однорічного самосіву в борознах на момент дослідження сягала 40 000 шт. га⁻¹, а в міжряддях – лише 3 500 шт. га⁻¹, тобто на ділянках із мінералізацією ґрунту було зосереджено 92 % загальної кількості самосіву. Самосів у борознах був вищим на 3 %, ніж у міжряддях – його середня висота становила 16,2 см (табл. 1). Різниця за висотою однорічного самосіву в борознах і в міжряддях була незначною.

Таблиця 1

Характеристика однорічного самосіву сосни звичайної на зрубі після проведення середньолісосічної рубки (ПП 1)

Table 1

Characteristics of 1-year-old Scots pine self-seeding on cut area after 51–100 m width strip felling (Sample plot 1)

Місце розташування Location	Густина Density		Середня висота Average height	
	шт. га ⁻¹ stems ha ⁻¹	%	см cm	%
Борозна Furrow	40 000	92	16,2 ± 0,62	100
Міжряддя Inter-row spacing	3 500	8	15,7 ± 0,75	97
Загалом Total	43 500	100	–	–

На ПП 2 загальна кількість життєздатного природного поновлення віком 3–5 років на ділянці становила 23 750 шт. га⁻¹, а в результаті переведення 3-річних рослин до групи 4–8-річних – 19 250 тис. шт. га⁻¹ (табл. 2, рис. 1), тобто успішність природного відновлення була доброю.



Рис. 1 – Природне поновлення сосни звичайної на зрубі середньолісосічної рубки головного користування (ПП 2)

Fig. 1 – Natural regeneration of Scots pine on cut area after 51–100 m width strip felling (Sample plot 2)

Висока густина 3-річного самосіву (15 000 шт.·га⁻¹), на який припадало 63 % кількості природного поновлення, свідчить про щорічне активне накопичення самосіву молодшого покоління. Підріст був рівномірно розташованим на ділянці (траплявся на 85 % облікових майданчиках). Відповідно до шкали успішності природного відновлення потенційна лісівнича ефективність його використання у відтворенні деревостанів є «доброю» (1 категорія) (Pasternak, 1990; Kobets *et al.*, 2017).

Обстеження свідчить, що 71 % 3-річного самосіву та 57 % 4–5-річного підросту концентрувалися переважно в борознах, де відсутній трав'яний покрив (табл. 2).

Таблиця 2

Характеристика життєздатного природного поновлення сосни на зрубі після проведення суцільної середньолісосічної рубки (ПП 2)

Table 2

Characteristics of viable Scots pine natural regeneration on cut area after 51–100 m width strip felling (Sample plot 2)

Місце розташування Location	Вік, років Age, years	Кількість життєздатного підросту, шт.·га ⁻¹ Number of viable advance regeneration, stems ha ⁻¹	Середній діаметр, см Average diameter, cm	Середня висота, см Average height, cm	Категорія успішності відновлення Natural regeneration success category
Борозна Furrow	3	10 625	0,4 ± 0,02	20,8 ± 0,97	–
Міжряддя Inter-row spacing	3	4 375	0,3 ± 0,01	18,6 ± 0,87	–
Загалом Total	<u>3</u> 4-8	<u>15 000</u> 10 500	0,4 ± 0,02	20,1 ± 0,88	–
Борозна Furrow	4–5	5 000	1,5 ± 0,06	61,2 ± 3,01	–
Міжряддя Inter-row spacing	4–5	3 750	1,7 ± 0,07	63,8 ± 2,97	–
Загалом 4–5-річні рослини Total 4–5-year-old plants	4–5	8 750	1,6 ± 0,06	62,3 ± 3,05	–
Загалом Total	–	<u>23 750</u> 19 250	–	–	добре good

Підріст у віці 4–5 років мав середній діаметр кореневої шийки 1,6 см і середню висоту 62,3 см. Для 3-річного самосіву ці показники становили 0,4 см і 20,1 см відповідно. Підріст віком 5 років ріс за I–II класами бонітету (Vilous *et al.*, 2020).

Середня висота 3-річного природного поновлення в борознах була вищою на 10,6 %, ніж у міжряддях, а висота 4–5-річного – навпаки, меншою на 4,2 %. Як у першому, так і в другому випадку різниця була незначущою.

Виявлене варіювання середнього річного приросту за висотою природного поновлення віком 2–5 років у борознах і міжряддях (рис. 2) може бути пов'язане з особливостями мікрорельєфу, який сформувався на ділянці внаслідок проведення заходів зі сприяння природному відновленню. Можна припустити, що за достатнього забезпечення вологою самосів краще ростиме в міжрядді, а за нестачі вологи самосів і підріст краще ростимуть у борозні, де випаровування вологи та конкуренція трав'янистої рослинності є меншими.

На ПП 3 збережуваність культур є низькою та варіює від 25,0 % (2 500 шт.·га⁻¹) до 37,5 % (4 750 шт.·га⁻¹). Водночас кількість природного поновлення сосни на цій пробній площі

становить від 15 100 шт.·га⁻¹ до 28 300 шт.·га⁻¹, а його густота значно більша, ніж густота лісових культур (23 750 шт.·га⁻¹ та 3 250 шт.·га⁻¹ відповідно).

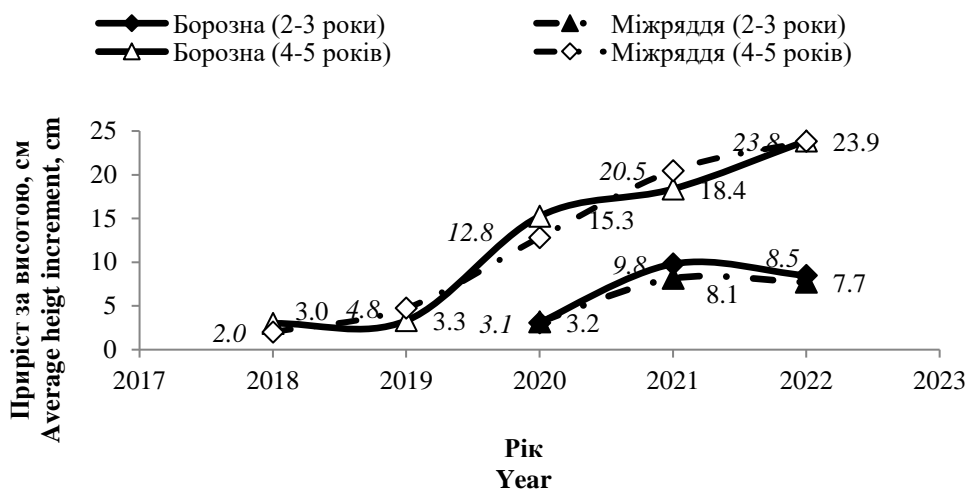


Рис. 2 – Середній річний приріст за висотою 2–5-річного природного поновлення сосни у рядах та міжряддях за роками

Fig. 2 – Average height increment of 2–5-year-old Scots pine natural regeneration in rows and inter-row spacing by year

Водночас середні діаметр і висота сосни в культурах і природному поновленні дуже близькі (табл. 3).

Таблиця 3

Лісівничо-таксаційна характеристика молодняку штучно-природного походження на ПП 3

Table 3

Mensuration characteristics of planted and naturally originated young trees on Sample plot 3

Походження Origin	Порода* Species*	Вік, років Age, years	Густота, шт.·га ⁻¹ Density, stems·ha ⁻¹	Середній діаметр, см Average diameter, cm	Середня висота, см Average height, cm	Категорія успішності поновлення Regeneratio n success category	Трапляння Occurrence
Лісові культури Planted stands	Сз	12	3 250	2,6 ± 0,13	3,0 ± 0,12	–	–
Природне поновлення Natural regeneration	Сз	9–12	23 750	2,3 ± 0,10	2,8 ± 0,13	добре good	99
	Бп	5–10	21 250	1,4 ± 0,06	1,7 ± 0,07	добре good	95
	5Сз5Бп	–	48 250	–	–	добре good	100

* Сз – сосна звичайна (Scots pine); Бп – береза повисла (*Betula pendula* Roth. (*Betula verrucosa* Ehrh.)) (silver birch)

Густота лісових культур сосни та густота природного поновлення в чистому насадженні сосни співвідносяться як 12 : 88. Велику частку (майже 50 %) у складі насадження становить самосів берези повислої (*Betula pendula* Roth.), яка перебуває під наметом сосни в пригніченому стані. Значна кількість природного поновлення сосни на одиниці площі, а також рівномірний розподіл його на ділянці (трапляння – 99 %) дає підстави стверджувати, що ефективність використання природного поновлення є доброю.

Відповідно до нормативів кількість дерев на гектарі в 10-річних насадженнях сосни звичайної природного походження за повноти 1,0 може становити від 8 860 шт.·га⁻¹ (деревостани I^b класу бонітету) до 20 500 шт.·га⁻¹ (V клас бонітету) (Bilous *et al.*, 2020). Густота повних лісових культур сосни звичайної за таблицями ходу росту в 10-річному віці за I^a класом бонітету має становити 8 200 шт.·га⁻¹, за I класом бонітету – 8 940 шт.·га⁻¹, а за II класом бонітету – 9 490 шт.·га⁻¹ (Bilous *et al.*, 2020). За показником трапляння та кількістю життєздатного підросту природне поновлення належить до категорії «добре» за шкалою успішності природного поновлення (Pasternak, 1990; Kobets *et al.*, 2017).

Приріст за висотою культур сосни та природного поновлення за роками змінюються синхронно (рис. 3).

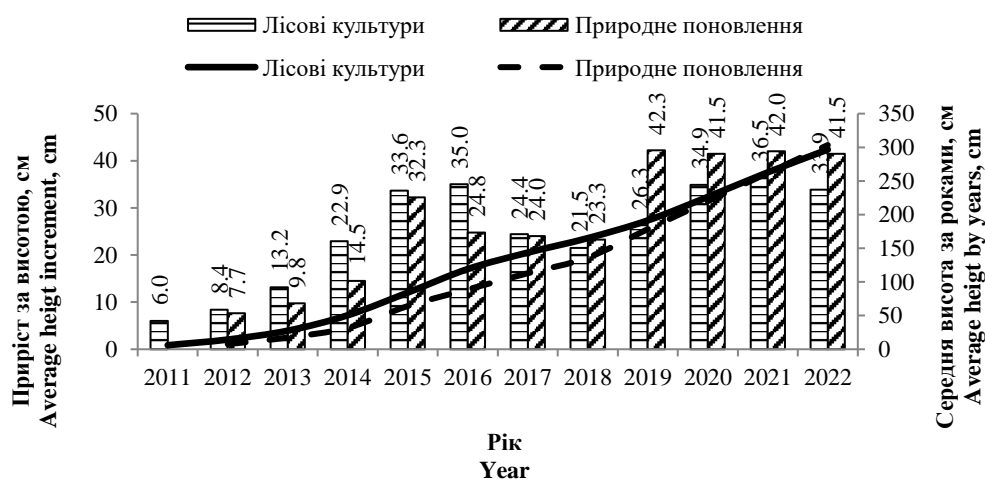


Рис. 3 – Середній річний приріст за висотою та хід росту за висотою лісових культур і природного поновлення сосни звичайної (ПП 3)
Fig. 3 – Average height increment and stand height development of planted stands and natural regeneration of Scots pine (Sample plot 3)

Показник середнього річного приросту за висотою лісових культур сосни варіює в межах 6,0–33,9 см, а природного поновлення – в межах 7,7–41,5 см. До 6–7-річного віку культури характеризувалися дещо вищим середнім річним приростом за висотою, ніж природне поновлення, а на початку інтенсивної диференціації насадження за висотою природне поновлення перевершило культури за цим показником.

Відповідно до графіка ходу росту, середні висоти природного поновлення та лісових культур у віці 10 років вирівнялися, а в старшому віці середня висота природного поновлення була вищою, ніж у культур. Індекс санітарного стану сосни 2,2 свідчить, що насадження є ослабленим (*Sanitary Forests Regulations in Ukraine*, 2016). На молодих деревцях сосни переважно збереглася хвоя 1–2-річного віку (останнього та передостаннього років).

Самосів берези внаслідок пригніченого стану значно поступався за біометричними показниками культурам і природному поновленню сосни за діаметром і висотою – в 1,8 та 1,6 разу відповідно (див. табл. 3). За критерієм Стьюдента різниці як діаметра, так і висоти культур і природного поновлення є несуттєвими. Склад насадження – 52 %Сз 48 %Бп.

На ПП 4 підріст сосни та лісові культури характеризуються майже однаковими таксаційними показниками – середній діаметр 3,1 см, середня висота 2,9 м (табл. 4). Збережуваність лісових культур на облікових ділянках змінюється від 32,8 % (3 280 шт.·га⁻¹) до 55,7 % (5 570 шт.·га⁻¹), становлячи в середньому 44,0 % (4 400 шт.·га⁻¹). Густота чистого природного поновлення сосни становить у середньому 13 100 шт.·га⁻¹. Відносна густота лісових культур від загальної густоти чистого насадження сосни становить 25,1 % проти 74,9 % природного поновлення.

Таблиця 4

Характеристика природного поновлення на зрубі після проведення суцільної середньолісосічної рубки на ПП 4

Table 4

Characteristics of natural regeneration on cut area after 51–100 m width strip felling (Sample plot 4)

Вік, років Age, years	Порода* Species*	Густота, шт.·га ⁻¹ Density, stems·ha ⁻¹	Середній діаметр, см Average diameter, cm	Середня висота, см Average height, cm	Категорія успішності поновлення Natural regeneration success category	Трапляння Occurrence
10–11	Сз	17 500	3,1 ± 0,14	2,9 ± 0,13	добре good	95
10–11	Дч	2 500	0,8 ± 0,04	1,8 ± 0,08	–	–
Загалом Total	–	20 000	–	–	добре good	95

* Сз – сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.); Дч – дуб червоний (*Quercus rubra* L. (*Quercus borealis* Michx.)).

Оскільки як у рядах, так і в міжряддях на облікових ділянках значущої різниці між біометричними показниками лісових культур і природного поновлення не виявлено, то надалі польові дані було об'єднано в один масив для аналізу. У складі молодняка також є підріст дуба червоного. Склад насадження – 9Сз1Дч. Кількість життєздатного підросту сосни віком 10–11 років становить 17 500 шт.·га⁻¹, а дуба червоного – 2 500 шт.·га⁻¹. Підріст сосни звичайної рівномірно розташований на ділянці, індекс санітарного стану – 1,1. Майже на всіх деревах збереглася 3-річна хвоя, а на окремих – і 4-річна. Підріст і культури сосни активно ростуть у висоту та характеризуються позитивною динамікою поточних приростів. Середній поточний приріст за висотою становить від 5 см в 2012 р. до 60 см в 2022 р. (рис. 4).

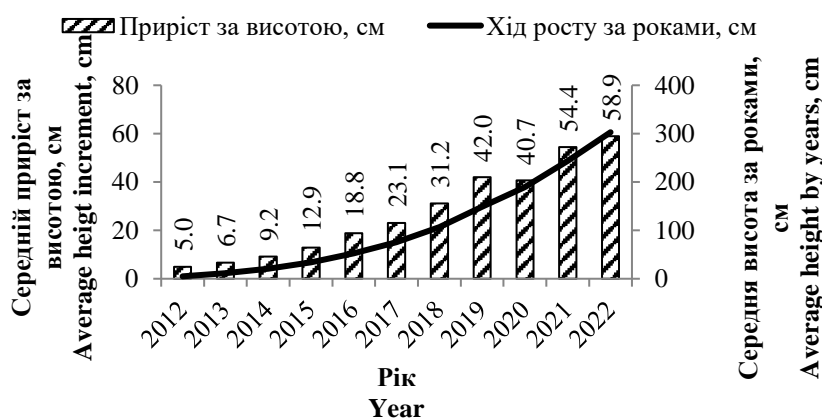


Рис. 4 – Середній приріст за висотою та хід росту за висотою природного поновлення сосни звичайної (ПП 4)

Fig. 4 – Average height increment and stand height development of planted stands and natural regeneration of Scots pine (Sample plot 4)

Відповідно до таблиць ходу росту повних соснових насаджень природного походження (Bilous *et al.*, 2020) визначено, що природне поновлення на ділянці росте за I–II класами бонітету. Для 10- і 11-річних сосняків (ПП 4 і ПП 3 відповідно) за шкалою висот меж класів бонітету обчислено діапазони висот дерев (Bilous *et al.*, 2020) та здійснено їхній умовний розподіл за класами бонітету. Для 11-річного молодняка висоти дерев становлять: 0,9–1,4 м – для V класу бонітету, 1,5–2,2 м – для IV класу бонітету, 2,3–2,9 м – для III класу

бонітету, 3,0–3,5 м – для II класу бонітету; 3,6–4,2 м – для I класу бонітету та 4,3–4,9 м – для I^a класу бонітету.

Для 10-річного сосняку (ПП 4) межі висот за класами бонітету є такими: 1,2–1,8 м – для IV класу бонітету, 1,9–2,4 м – для III класу бонітету, 2,5–3,0 м – для II класу бонітету, 3,1–3,6 м – для I класу бонітету, 3,7–4,1 м – для I^a класу бонітету. Відносний розподіл висот дерев у сосняках за цією шкалою відбиває як їхню вертикальну структуру за висотою, так і інтенсивність росту відповідно до висоти певного класу бонітету в період змикання молодняків (рис. 5).

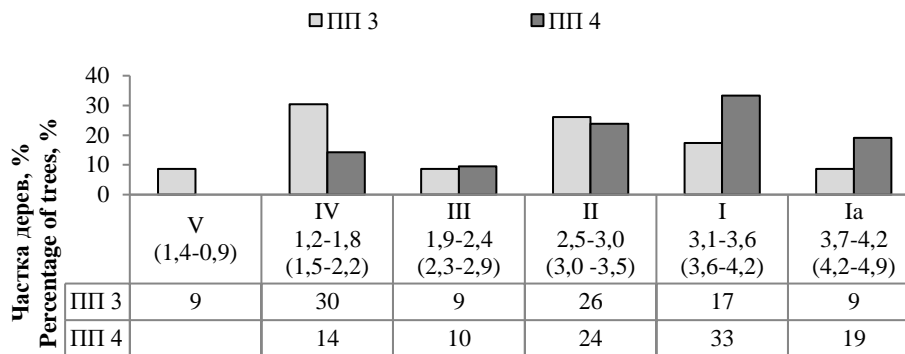


Рис. 5 – Відносний розподіл дерев за шкалами висот відповідно до класів бонітету: ПП 4 – 10-річний сосняк; діапазон висот наведено без дужок; ПП 3 – 11-річний сосняк; діапазон висот наведено в дужках
Fig. 5 – The relative distribution of trees by height scales according to productivity classes: Sample plot 4 – 10-year-old pine forest; the height range is given without parentheses; Sample plot 3 – 11-year-old pine forest; the height range is given in parentheses

Насадження мішаного походження на ПП 3 і ПП 4 відзначалися високими зімкненістю й загущеністю та перебували у стадії інтенсивної диференціації за ростом.

Середньозважений розрахунковий бонітет 11-річного молодняку (ПП 3) становив II,6, а 10-річного (ПП 4) – I,7, фактично за однакової середньої висоти насаджень 3,0 м. Кращий ріст насаджень у висоту на ПП 4, порівнюючи з ПП 3, зумовлений меншою загущеністю насаджень та вологішими лісорослинними умовами. Відносний розподіл дерев за класами бонітету (див. рис. 5) також демонструє більшу конкурентну напруженість між ними у період диференціації за ростом (фаза змикання насаджень) у густішому насажденні (ПП 3). Це виявляється в наявності дерев, що за висотою умовно мали V клас бонітету (8,7 %), та доволі значної частки дерев, що умовно належали до IV класу (30,4 %). Представництво дерев IV і III класів бонітету разом становило 47,8 %. У рідшому молодняку (ПП 4) на частку кількості дерев, які умовно належали до IV і III класів бонітету, припадало лише 23,8 %, що є меншим у понад два рази, ніж на ПП 3.

На ПП 5 збережуваність культур була високою – 100 %. Середні діаметр кореневої шийки та висота лісових культур становили 3,0 см і 122,6 см відповідно, а підросту – 0,7 см і 35,4 см відповідно. Лісові культури створено садивним матеріалом із ЗКС наприкінці травня 2018 р. на свіжому зрубі, відразу після низової пожежі. Садивний матеріал вирощено в пінополістирольних касетних контейнерах у розсаднику Бродівського лісництва на торф'яному субстраті. Рясне природне поновлення з'явилося на наступний рік. Його густота була значно більшою, ніж у лісових культур, – майже 65 тис. шт·га⁻¹ проти близько 5 тис. шт·га⁻¹ (табл. 5). Частка дерев сосни, висаджених садивним матеріалом із закритою кореневою системою, становила 9 % від загальної кількості рослин сосни звичайної на ділянці. Пагонов'юном

пошкоджено 12,5 % дерев у культурах. Різниця між середніми висотами сіянців природного походження в міжрядді та в ряду була значуще вищою на 12,8 % ($t_{0,05} = 1,98$; $t_{FH} = 4,20$).

Таблиця 5

Характеристика лісових культур і природного поновлення сосни на зрубі після проведення суцільної середньолісосічної рубки на ПП 5

Table 5

Characteristics of planted stands and natural regeneration in the cut area after 51–100 m width strip felling (Sample plot 5)

Походження Origin	Розташування Location	Вік, років Age, years	Густота, шт. га ⁻¹ Density, stems·ha ⁻¹	Середній діаметр, см Average diameter, cm	Середня висота, см Average height, cm	Категорія успішності поновлення Regeneration success category	Трапляння Occurrence
Лісові культури Planted stands	Ряд Planting line	6	5 333	3,0 ± 0,15	122,6 ± 4,80	–	–
Природне поновлення Natural regeneration	Ряд Planting line	4–5	36 213	0,8 ± 0,04	31,0 ± 1,45	–	–
	Міжряддя Inter-row spacing	4–5	28 453	0,7 ± 0,03	41,2 ± 1,95	–	–
	Разом Total	4–5	64 667	0,7 ± 0,02	35,4 ± 1,36	добре good	95

Успішність природного поновлення сосни була доброю, зважаючи на його кількість та особливості трапляння на ділянці (див. табл. 5). Водночас природне поновлення значно поступається культурам за висотою, діаметром і приростом унаслідок його пізнішої появи на зрубі, значної густоти та випадкового розміщення на ділянці. Обчислено середні річні прирости та хід росту за висотою лісових культур і природного поновлення (рис. 6).

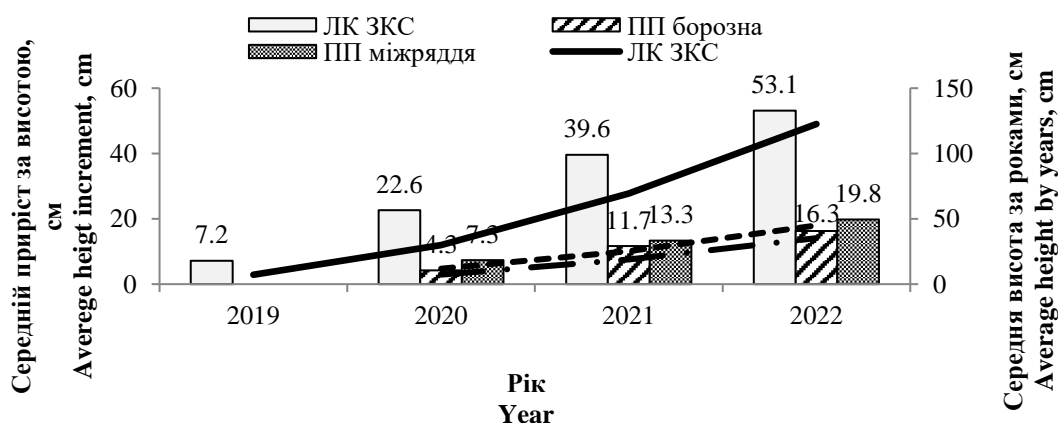


Рис. 6 – Середній приріст за висотою та хід росту за висотою природного поновлення сосни звичайної (ПП 5)

Fig. 6 – Average height increment and stand development by height of Scots pine natural regeneration (Sample plot 5)

Інтенсивність росту лісових культур за абсолютним приростом була значно вищою, ніж відповідний показник природного поновлення (див. рис. 6). Зазначимо, що показники росту природного поновлення в міжряддях були вищими у 2021 р. на 12,5 %, у 2022 р. – на 17,5 %, у 2020 р. – на 12,5 %, у 2019 р. – на 12,5 %.

ніж у рядах культур. Вочевидь, це пов'язане із менш напруженою конкуренцією за світло й вологу самосіву та підросту в міжрядях, порівнюючи з густішим природним поновленням, що з'явилося в рядах лісових культур.

Обговорення. Дослідження в Малому Поліссі в умовах свіжого та вологого дубово-соснового субору (В₂-дС, В₃-дС) та вологого грабово-дубового сугруду (С₃-гдС) на зрубках після проведення середньолісосічних рубок головного користування свідчать, що успішність природного відновлення сосни є доброю, здебільшого I класу якості (*Instruction on design*, 2016). На ділянках після проведення заходів зі сприяння природному поновленню з'являється у 3–6 разів більше самосіву, ніж на ділянках, на яких заходи зі сприяння не проводили. Дослідженнями особливостей природного поновлення сосни звичайної в Східному Поліссі в разі проведення рівномірних поступових рубок (Tkach and Zhezhkun, 2024) і в Західному Поліссі (Borodavka *et al.*, 2020) у разі проведення вузьколісосічних рубок отримано співставні результати щодо позитивного впливу прокладання борозен на густоту самосіву сосни.

О. Ю. Рябухін та Я. Д. Фучило (Fuchylo and Ryabukhin, 2011), провівши дослідження в Східному Поліссі, теж зробили висновок, що сприяння природному відновленню збільшило кількість самосіву сосни більше ніж у вісім разів. Вони відзначають появу великої кількості самосіву сосни в рядах 1–2-річних лісових культур і зменшення його кількості з віком.

Дослідження в Східному Поліссі (Zhezhkun and Zhezhkun, 2017) виявили, що для успішного природного залісення суцільних зрубів сосною звичайною в типах лісорослинних умов В₂, В₃, С₂, С₃ рубку слід проводити в насінневий рік, здійснивши восени або рано навесні заходи зі сприяння природному відновленню сосни, зокрема – прокладання плужних борозен завглибшки 10–20 см через 2–2,5 м і проведення своєчасних доглядів за самосівом сосни протягом перших 3–5 років.

Закономірне природне зменшення густоти самосіву (підросту) з віком характерне для лісовідновлення на ділянках середньолісосічних рубок. Так, в однорічному віці кількість самосіву становить 43 500 шт.·га⁻¹ (ПП 1), у 3–5-річному – 23 800 шт.·га⁻¹ (ПП 2), а в 10–11-річному – 23 750 шт.·га⁻¹ (ПП 3) та 13 100 шт.·га⁻¹ (ПП 4), однак така кількість є достатньою для відтворення високопродуктивних сосняків природним шляхом у регіоні дослідження. Домішка листяних порід дуба (ПП 3) та берези (ПП 4) у 25 % збільшує біологічне різноманіття, покращує властивості ґрунтів і рекреаційну цінність, підвищує продуктивність насаджень та їхню стійкість до лісових шкідників і хвороботворних мікроорганізмів (Felton *et al.*, 2016). Зокрема, мішані сосново-березові насадження є стійкішими до ураження кореневою губкою (*Heterobasidion annosum* (Fr.) Bref.) (Luk'yanets *et al.*, 2019).

Ю. В. Сірук (Siruk, 2010) проводив дослідження на зрубках, відновлених штучним шляхом сосною звичайною різного віку в умовах свіжих і вологих суборів Центрального Полісся. Він визначив, що на більшості ділянок було виявлено значну кількість самосіву сосни (від 2 500 до 32 900 шт.·га⁻¹), якої було б достатньо для формування деревостанів природного походження. Найбільша кількість самосіву сосни з'являється в перші 2–3 роки після проведення рубки. У 1–4-річних лісових культурах кількість соснового поновлення на 1 га перевершує відповідний показник культур у 1,7–3,0 разу. У 5–6-річному віці їхня чисельність є майже однаковою, з незначним переважанням природного поновлення. Проте лісові культури мають кращу енергію росту, порівнюючи з природним поновленням, випереджаючи його за висотою на 10–35 %.

За результатами наших досліджень ріст за висотою лісових культур, створених сіянцями із ВКС, і природного поновлення в 10–11-річних насадженнях вирівнюється, їхній середньозважений клас бонітету становить II,6 (ПП 3) та I,7 (ПП 4) відповідно. На ПП 3 на частку дерев сосни груп висот II, I та I^a класів бонітету припадає 52,2 %, що в загальній кількості становить 14 087 шт.·га⁻¹, на ПП 4 – відповідно 76,2 % та 13 335 шт.·га⁻¹ за кількістю. За вищої загальної густоти насадження на ПП 3 культури ростуть краще підросту до 6-річного віку, далі інтенсивність росту природного поновлення вирівнюється та за ходом росту

перевершує культури за приростом у висоту (див. рис. 3). У 6–8 років відбувається зменшення приросту як у культурах, так і в сосни природного поновлення, що зумовлено настанням періоду змикання насаджень, початком його диференціації та загостренням конкуренції за високої густоти, понад 40 000 шт. га⁻¹. У разі меншої густоти, до 20 000 шт. га⁻¹, приріст і хід росту мають інтенсивний висхідний графік і не розрізняються за походженням (лісові культури чи самосів) (див. рис. 4). Про жорсткішу конкуренцію в густіших насадженнях (ПП 3) свідчить також поява дерев, середня висота яких відповідає V класу бонітету, та відносне збільшення частки дерев, які ростуть за IV класом бонітету (див. рис. 5). Загальна кількість дерев, що за показником висоти належать до I^a, I та II класів бонітету, після зімкнення та початку диференціації в густіших насадженнях (ПП 3) становить 12 391 шт. га⁻¹, а в рідкіших (ПП 4) – 11 428 шт. га⁻¹. Кількість дерев, що формують панівний за висотою намет I^a та I класів бонітету, на ПП 3 є меншою, ніж на ПП 4 (6 196 шт. га⁻¹ проти 7 857 шт. га⁻¹).

Значна диференціація дерев за висотою свідчить про те, що сосняки перебувають у стадії інтенсивної диференціації та потребують проведення освітлення. За попередніми розрахунками, після освітлення до нормативної густоти та видалення низовим способом лише дерев сосни на ПП 3 клас бонітету насаджень наблизатиметься до I, а на ПП 4 – до I^a.

Дослідження природного поновлення сосни звичайної на зрубках в умовах свіжої судіброви Київського Полісся за умови проведення рубки в зимовий період в урожайний рік і за проведення заходів зі сприяння природному відновленню свідчать про доцільність орієнтуватися на відновлення природним шляхом насаджень сосни звичайної (Mauger and Kimeichuk, 2020). Ці автори виявили, що кількість природного поновлення сосни на 10-річному зрубі в 1,5–2,0 разу перевищує початкову густоту традиційних лісових культур в аналогічних лісорослинних умовах.

За нашими даними використання садивного матеріалу сосни звичайної із ЗКС для створення лісових культур одразу після пожежі (початок травня) дало позитивний результат в умовах вологого субору (B₃), що свідчить про можливість збільшення періоду лісокультурних робіт у Малому Поліссі.

В умовах Малого Полісся за даними М. Р. Феденишина та В. Г. Мазепи (Fedenyshyn and Mazera, 2014) на зрубках соснових деревостанів у складі самосіву та підросту переважає сосна звичайна. Успішність її відновлення залежить від типу лісорослинних умов і є доброю в умовах вологого сугруду. В умовах свіжого субору успішність відновлення сосни звичайної є задовільною. Найуспішніше сосна на зрубках відновлюється на 30-метровій смузі від стіни лісу за напрямом панівних вітрів (Fedenyshyn and Mazera, 2014).

Результати досліджень, проведених у Волинському Поліссі, свідчать, що відновлення соснових лісів можливо проводити у винятково природному форматі шляхом використання процесу самозаліснення зрубів головною породою без застосування заходів сприяння та без створення лісових культур. За наявності комплексу оптимальних передумов (забезпеченість насінниками, рясне плодоношення) такий спосіб відновлення є ефективним (Vorodavka *et al.*, 2024).

У ряді європейських країн у сприятливих лісорослинних умовах у насінневий рік за проведення заходів зі сприяння природному відновленню науковці віддають перевагу порівняно недорогому природному відновленню соснових лісів. Це підвищить біологічну стійкість відтворюваних лісових ценозів та їхню адаптацію до глобальної зміни клімату (Saurasunet *et al.*, 2018; Huth *et al.*, 2022; Miettinen *et al.*, 2024).

Висновки. У Малому Поліссі в умовах свіжого та вологого дубово-соснового субору та вологого грабово-дубового сугруду на зрубках після проведення середньолісосічних рубок головного користування кращі умови для проростання насіння сосни та подальшого росту самосіву створюються в разі попереднього сприяння природному відновленню. На перший, другий і третій роки на таких ділянках з'являється в 3–6 разів більше самосіву, порівнюючи з ділянками, на яких ці заходи не здійснювали. Кількість підросту є достатньою для природного відтворення високопродуктивних сосняків. За одночасного створення культур

сосни садивним матеріалом із відкритою кореневою системою та самозасіявання зрубів лісові культури дещо випереджають природне поновлення у фазі індивідуального росту (1–5 років) до фази змикання (6–8 років). Надалі приріст за висотою природного поновлення перевершує відповідний показник культур, а в 10–11 років вони вирівнюються за висотою.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами у межах виконання тем УкрНДДЛГА, замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України (№ держреєстрації 0120U101888 та 0120U101896).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Bilous, A.M., Kashpor, S.M. and Myroniuk V.V. (2020). *Forest Inventory Handbook*. Dnipro: Lira (in Ukrainian).
- Borodavka, V., Borodavka, O., Kuchyliuk, O., Hetmanchuk, A., Voitiuk, V., Andreieva, V. and Shepeliuk, M. (2024) 'Natural reforestation of pine in the logs without the use of activities to facilitate natural renewal of forest', *Notes in Current Biology*, 1 (7), pp. 17–23 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.29038/NCBio.24.1-8>
- Borodavka, V.O., Borodavka, O.B., Tarnopilska, O.M. and Shevchuk, V.V. (2020) 'Features of natural regeneration of Scots pine after strip felling in the wet oak-pine forest in Western Polissya', *Forestry and Forest Melioration*, 137, pp. 3–8 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.137.2020.3>
- Brichta, J., Bílek, L., Linda, R. and Vítámvás, J. (2020) 'Does shelterwood regeneration on natural Scots pine sites under changing environmental conditions represent a viable alternative to traditional clear-cut management?', *Central European Forestry Journal*, 66, pp. 104–115. <https://doi.org/10.2478/forj-2020-0014>
- Chernyavskyy, M.V., Krynytskyi, G.T. and Parpan, V.I. (2011) 'Close-to-nature forest management in Ukraine', *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 9, pp. 29–35. Available at: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/362> (Accessed: 29 August 2024) (in Ukrainian).
- Davydenko, K., Vasaitis, R., Elfstrand, M., Baturkin, D., Meshkova, V. and Menkis, A. (2021). 'Fungal Communities Vected by *Ips sexdentatus* in Declining *Pinus sylvestris* in Ukraine: Focus on Occurrence and Pathogenicity of Ophiostomatoid Species', *Insects*, 12(12), 1119.
- Debryniuk, Yu.M., Kalinin, M.I., Guz M.M. and Shablii I. V. (1998) *Forest seed growing*. Lviv: Svit (in Ukrainian).
- Fedenyshyn, M.R. and Mazepa, V.H. (2014) 'Natural regeneration features of Scotch pine in Small Polissya of Ukraine', *Scientific bulletin of UNFU*, 24 (5), pp. 57–62 (in Ukrainian).
- Felton, A., Nilsson, U., Sonesson, J., Felton, A.M., Roberge, J.M., Ranius, T., Ahlström, M., Bergh, J., Björkman, C., Boberg, J., Drössler, L., Fahlvik, N., Gong, P., Holmström, E., Keskitalo, E.C., Klapwijk, M.J., Laudon, H., Lundmark, T., Niklasson, M., Nordin, A., Pettersson, M., Stenlid, J., Sténs, A. and Wallertz, K. (2016) 'Replacing monocultures with mixed-species stands: Ecosystem service implications of two production forest alternatives in Sweden', *Ambio*, 45(S2), pp. 124–139. <https://doi.org/10.1007/s13280-015-0749-2>
- Fuchylo, Ya.D. and Ryabukhin, O.Yu. (2011) 'Natural renewal of pine-forests of East Poliss'ya', *Scientific Bulletin of UNFU*, 21 (8), pp. 57–61 (in Ukrainian).
- Horoshko, M.P., Miklush, S.I. and Khomyuk, P.G. (2004). *Biometrics*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Hrom, M.M. (2010) *Forest mensuration*. Lviv: Ukrainian National Forestry University (in Ukrainian).
- Huth, F., Wehnert, A. and Wagner, S. (2022) 'Natural Regeneration of Scots pine requires the application of silvicultural treatments such as overstorey density regulation and soil preparation', *Forests*, 13 (6), 817. <https://doi.org/10.3390/f13060817>
- Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of silviculture facilities* (2016). Approved by the order of the State Forest Management Committee of Ukraine dated 19 August 2010. No 260. Kyiv: State Forestry Committee (in Ukrainian). Available at: <http://zakon1.rada.gov.ua/laws/show/z1046-10> (Accessed: 29 August 2024) (in Ukrainian).
- Kobets, O.V., Tarnopilska, O.M., Rumiantsev, M.H., Kuprina, N.P., Borodavka, V.O., Buzun, V.O., Zhezhkun, A.M., Ihnatenko, V.A. and Rohovyi, V.I. (2017) *Recommendations for reproduction of natural stands in lowland forests and forests of the Mountainous Crimea*. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Krynytskyi, G.T. and Lavnyi, V.V. (2024) 'Close to nature forestry – principles and application criteria', in *Close to nature forestry: challenges and future prospects Proceedings of the International Conference*, April 25–26, 2024. Kyiv: NULES, pp. 79–80 (in Ukrainian).
- Luk'yanets, V., Tarnopilska, O., Obolonyk, I., Musienko, S., Bondarenko, V. and Kolenkina, M. (2019) 'The impact of *Heterobasidion* root rot on the density, growing stock volume, and health condition of Scots pine and silver birch stands in Volyn Polissya zone, Ukraine', *Forestry Ideas*, 25(1), pp. 70–90. Available at: https://forestry-ideas.info/issues/issues_Index.php?pageNum_rsIssue=1&totalRows_rsIssue=16&journalFilter=63 (Accessed: 29 August 2024).
- Maurer, V.M. and Kimeichuk, I.V. (2020) 'Features of age dynamics of natural regeneration of Scotch pine in the fresh pine sites of Kyiv Polissia', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 11 (1), pp. 45–54 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31548/forest2020.01.045>

- Miettinen, J., Hallikainen, V., Valkonen, S., Hökkä, H., Hyppönen, M. and Rautio, P. (2024) 'Natural regeneration and early development of Scots pine seedlings after gap cutting in northern Finland', *Scandinavian Journal of Forest Research*, 39 (2). pp. 89–100. <https://doi.org/10.1080/02827581.2024.2303022>
- Mihaylichenko, O.A. and Ustsky, I.M. (2016) 'Dynamics of age structure and health status of pine stands created on old arable lands in the Kharkiv hillslope region during 2001–2011', *Forestry and Forest Melioration*, 128, pp. 143–147 (in Ukrainian).
- National Atlas of Ukraine* (2007). Institute of Geography, Intelligent Systems GEO, Ukrainian branch of the World Data Center. Available at: <http://wdc.org.ua/atlas/default.html> (Accessed: 29 August 2024).
- Pasternak, P.S. (ed.) (1990) *The Reference Book of Forest Manager*. Kyiv: Uroza (in Russian).
- Ryabukhin, O.Y. (2011) 'Peculiarities of natural renewal of pine forests in Kyiev-Chernihiv Poliss'ya conditions', *Scientific Reports of NUBiP*, 3 (25). Available at: http://www.nbu.gov.ua/e-journals/Nd/2011_3/11roy.pdf (Accessed: 29 August 2024) (in Ukrainian).
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine* (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 756 dated 26 October 2016. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (Accessed: 30 April 2024) (in Ukrainian).
- Saursanet, M., Mathisen, K.M. and Skarpe, C. (2018) 'Effects of increased soil scarification intensity on natural regeneration of Scots pine *Pinus sylvestris* L. and birch *Betula* spp. L.', *Forests*, 9 (5), 262. <https://doi.org/10.3390/f9050262>
- Siruk, Y.V. (2010) 'Description of reforestation process on the artificially renewed cutovers in fresh and wet suborian conditions in the Central Polissya', *Scientific Bulletin of UNFU*, 20 (6), pp. 57–64 (in Ukrainian).
- Tkach, V.P. and Zhezhkun, A.N. (2024) 'Features of the application of uniform shelterwood felling in pine stands in Polissia', *Forestry and Forest Melioration*, 144, pp. 3–12 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.144.2024.3>
- Zawadzka, A. and Słupska, A. (2022) Under-canopy regeneration of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) as adaptive potential in building a diverse stand structure', *Sustainability*, 14 (2), 1044. <https://doi.org/10.3390/su14021044>
- Zhezhkun, A.N. and Zhezhkun I.N. (2017) 'Natural regeneration of forests after final harvesting in pine stands of Eastern Polissya', *Forestry and Forest Melioration*, 131, pp. 23–32 (in Ukrainian).

FEATURES OF PINE STAND REFORESTATION IN CLEAR-CUTS OF MALE POLISSIA

Tarnopilska O.M.^{1*}, Tarnopilskyi P.B.², Musienko S.I.³, Lukyanets V.A.⁴

Features of natural and artificial reforestation of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) were studied in clear-cut areas after 51–100 m width strip felling in different forest types in conditions of Male Polissia. The study shows that self-seeded saplings and undergrowth density were higher when measures were taken to promote natural regeneration. In the first, second, and third years, the number of self-seeded plants was 3–6 times greater on plots, where support measures were implemented compared to those without intervention. Additionally, 71% of 3-year-old self-seeded saplings and 57% of 4–5-year-old undergrowth were primarily concentrated in furrow bottom, where grass cover was absent. The study also found that, by the age of 10–11 years, the average height and growth rate of artificially established stands and naturally regenerated ones were comparable. In fresh, relatively infertile pine site conditions, the productivity class of overstocked stands (over 40,000 stems ha⁻¹) was lower by one unit compared to less dense stands (about 20,000 stems ha⁻¹) in moist, relatively infertile pine site conditions. Across all research sites, the quantity of undergrowth was sufficient for the reproduction of highly productive pine forests in the study region.

Keywords: natural regeneration, planted stands, self-seeding, row spacing, furrow, regeneration success category.

Одержано редколегією 29.10.2024

¹ Tarnopilska Oksana, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: tarnoks@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4810-8892>

² Tarnopilskyi Petro, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: tarnopilsky@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8547-4843>

³ Musiyenko Serhiy, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: musienkosergij_les@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6581-2670>

⁴ Lukyanets Volodymyr, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: lukyanetc52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

* Correspondence: tarnoks@ukr.net

СЕЛЕКЦІЯ, ДЕНДРОЛОГІЯ

УДК 630.232.311.3



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.26>

ХАРАКТЕРИСТИКА НАСІННЯ З РІЗНОВІКОВИХ НАСІННИХ ПЛАНТАЦІЙ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ (*Pinus sylvestris* L.) ДЕРЖАВНОГО ПІДПРИЄМСТВА «КЛАВДІЄВСЬКА ЛІСОВА НАУКОВО-ДОСЛІДНА СТАНЦІЯ»

Г. А. Шлончак^{1*}, І. В. Ящук², В. В. Митроченко³, О. А. Лавренюк⁴

Наведено результати досліджень шишок і насіння з 11 насінних плантацій сосни звичайної 12–47-річного віку в Старопетрівському та Першотравневому лісництвах ДП «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція». Проведено комплексне оцінювання плантацій: визначено середні значення висоти насінних дерев, висоти до першої живої гілки, протяжність та діаметр проєкції крон, проєктивне покриття площі кронами. Визначено кількісні характеристики шишок та насіння, зокрема: загальна середня довжина шишки на плантаціях становила 5,0 см; маса шишки – 11,8 г; кількість виповненого насіння в шишці – 24,3 шт.; повнозерність – 89,3 %; маса 1 000 шт. насінин – 7,8 г; вихід насіння із шишок – 1,5 %. За всіма показниками зразки шишок і насіння з насінних плантацій достовірно перевершували контрольний зразок із насадження сосни звичайної. Схожість насіння з усіх плантацій у лабораторних умовах становила 96–100 %. Виявлено зворотній середньої сили значущий зв'язок між віком плантацій і довжиною шишок ($r = -0,625$). Зімкненість крон дерев на насінних плантаціях впливає на характер розповсюдження пилку та режим запилення, що є однією з причин мінливості показників повнозерності.

Ключові слова: клоніві насінні плантації, родинні насінні плантації, шишки, насіння сосни, схожість.

Вступ. Ефективність лісокультурної справи визначається якістю садивного матеріалу та наявністю його в достатній кількості. Ліс починається з насіння, важливе завдання лісівників зі створення нових лісів можна виконати тільки у разі використання для відтворення високоякісного садивного матеріалу, вирощеного з насіння із покращеними спадковими властивостями, зокрема отриманого з лісонасінних плантацій.

Найбільш ефективним способом створення насінних плантацій є садіння щеплених саджанців із закритою кореневою системою (Bilous, 1994). Насінні плантації з використанням плюсових дерев сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у Старопетрівському та Першотравневому лісництвах Державного підприємства (ДП) «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція (ЛНДС)» почали створювати цим способом з 1976 р. (Shlonchak, 1986; 1988). Саджанці можна висаджувати на постійне місце впродовж вегетаційного періоду (Molchenko and Zatsiha 1980, Shlonchak, 1981) і навіть взимку (Golovchansky and Savich, 1978). У Великобританії садивний матеріал, вирощений у контейнерах, висаджують цілорічно (Gardner, 1981).

У разі створення насінних плантацій на землях, виведених з-під довгострокового сільськогосподарського користування, обов'язковим елементом є обробіток ґрунту за системою сидерального пару з глибоким рихленням розпушувачем навісним РН-60 на глибину 60–70 см у рядах садіння (Kostkin and Shlonchak, 1980). Кількість клонів на плантаціях

¹ Шлончак Григорій Андрійович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, державне підприємство «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція», вул. Вербна, 4, смт Клавдієво-Тарасове, 07850, Бучанський район, Київська обл., Україна. E-mail: shlonchakga@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0980-9619>

² Ящук Ірина Володимирівна, державне підприємство «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція», вул. Вербна, 4, смт Клавдієво-Тарасове, 07850, Бучанський район, Київська обл., Україна. E-mail: irenya16@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4443-8753>

³ Митроченко Валентина Володимирівна, державне підприємство «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція», вул. Вербна, 4, смт Клавдієво-Тарасове, 07850, Бучанський район, Київська обл., Україна. E-mail: dogma_klns@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3772-5086>

⁴ Лавренюк Олександр Антонович, державне підприємство «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція», вул. Вербна, 4, смт Клавдієво-Тарасове, 07850, Бучанський район, Київська обл., Україна. E-mail: dogma_klns@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9738-8982>

* Адреса для кореспонденції: shlonchakga@ukr.net

має бути такою, щоб запобігти самозапилению, але не менше ніж 20–25 (Molotkov *et al.*, 1989), а на деяких плантаціях вона може сягати 50–100 клонів (Pirags, 1985).

Перше «цвітіння» на клонових насінних плантаціях (КНП) сосни звичайної можна спостерігати вже у рік щеплення. На третій рік після щеплення вже 15–25 % дерев утворюють репродуктивні органи. До 10-річного віку «цвітуть» і насіннюють зазвичай усі клони, урожайність становить 2–5 кг насіння на 1 га (Molotkov *et al.*, 1989). Приблизно таку ж урожайність зафіксовано в країнах Балтії (Romanauskas *et al.*, 1978).

Починаючи із 5-річного віку плантацій, на КНП сосни звичайної Старопетрівського лісництва досліджували репродукційні процеси, способи формування крон і шляхи підвищення урожайності. Урожайність дерев на КНП 11-річного віку у разі розміщення садивних місць 5 × 5 м (густота – 400 шт.·га⁻¹) становила 8,8 кг насіння на 1 га, а у 15-річному – 12 кг·га⁻¹. У віці 20 років на КНП із розміщенням садивних місць 10 × 5 м (густота – 200 шт.·га⁻¹) урожайність становила 17,8 кг насіння на 1 га, а із розміщенням садивних місць 10 × 10 м (густота – 100 шт.·га⁻¹) – на третину менше (Shlonchak, 1988; Shlonchak and Shlonchak, 2009).

З віком, у міру збільшення висоти щеп на КНП змінюється й висота розміщення генеративного ярусу. Так, в 11 років на КНП сосни звичайної 1976 р. створення у Старопетрівському лісництві за висоти щеп у середньому 5 м основна маса шишок знаходиться на такій висоті, що дає змогу збирати без застосування спеціальних пристроїв 87 % урожаю шишок; у 15 років цей показник становить 30 %, а у 25 років, за висоти дерев близько 11 м, – лише 7 %. Таким чином, без проведення заходів зі зниження висоти дерев та формування крони збір шишок на КНП старшого віку неможливий без застосування спеціальних підіймачів (Shlonchak and Shlonchak, 2005).

Експлуатаційний вік лісонасінних плантацій сосни звичайної є коротким – 25–30 років (за умови проведення щорічних заходів із догляду за ними). В умовах Старопетрівського лісництва ДП «Клавдієвська ЛНДС» висота 25-річної плантації сягає 11,3 м, що унеможливує заготівлю шишок із поверхні ґрунту, а із застосуванням драбин і гаків можна заготовити лише 17,7 % шишок (Shlonchak and Shlonchak, 2009). На об'єктах, висота дерев на яких сягає понад 4 м, необхідно застосовувати спеціальні підіймачі (Duritis *et al.*, 1985).

Короткий термін експлуатації насінних плантацій сосни зумовлений не зменшенням урожайності та якості насіння, а нерентабельністю їхньої експлуатації внаслідок збільшення затрат на заготівлю шишок. Більшість досліджень урожайності та якості насіння на лісонасінних плантаціях проводили в період їхньої рентабельної експлуатації і дуже мало – на плантаціях старшого віку (Shlonchak and Shlonchak, 2005, 2009). Доведено, що у разі вегетативного розмноження щепи мають здатність зберігати специфічні для віку риси дерев-донорів: у 25-річних щеп сосни кедрової сибірської (*Pinus sibirica*), щеплених живцями з молодих генеративних дерев (20–25 років), переважають процеси, пов'язані з вегетативним розвитком крони, а у щеплених живцями зі зрілих генеративних дерев (180–200 років) – репродуктивні процеси (Velisevich *et al.*, 2017). Вік плюсових дерев сосни звичайної, з яких заготовляли живці для створення більшості КНП в Старопетрівському лісництві ДП «Клавдієвська ЛНДС», сягав 60–160 років (Shlonchak, 1986; 1988). За умови збереження щепами специфічних для віку рис дерев-донорів на КНП репродуктивна фаза щеп настане раніше, що є позитивним моментом, тоді як негативним наслідком може бути прискорене їхнє старіння. Багаторічні дані щодо частки виповненого насіння із шишок, які одержані на КНП сосни звичайної 1985–1992 рр. створення на Харківщині, свідчать про суттєве зменшення його кількості в шишках на насінних плантаціях 30-річного і старших віків (Tereshchenko, 2019), що є, на думку автора, проявом ефекту прискореного старіння щеп.

Метою наших досліджень було оцінювання залежності характеристик шишок і насіння сосни звичайної від віку плантацій та доцільності використання насіння з плантацій старшого віку для лісовідновлення.

Матеріали й методи. Дослідження здійснювали на 11 насінних плантаціях сосни звичайної (клонових – КНП, родинних – РНП, родинно-клонових – РКНП, популяційно-клонових – ПКНП) віком 12–47 років, які знаходяться в Старопетрівському та Першотравневому лісництвах ДП «Клавдієвська ЛНДС». Категорія лісокультурних площ, на яких створено плантації, – землі, виведені з-під сільгоспкористування, ґрунти – дерново-підзолисті супіщані, тип лісорослинних умов – В₂. Залежно від площ плантацій на них презентовано від 25 до 66 клонів. Схема змішування клонів, родин – регулярно-повторювана (спіральна). Окрім ПКНП 2008 р. створення, що знаходиться в Першотравневому лісництві (кв. 89), та КНП 1976 р. створення (Старопетрівське лісництво, кв. 158) решта насінних плантацій розміщені поряд на одній ділянці у Старопетрівському лісництві (кв. 170, 53). Рельєф ділянки – рівнинний, із незначними мікропідвищеннями. Приживленість дерев на насінних плантаціях є високою і сягає 80–85 %.

Характеристику насінних плантацій, на яких проводили дослідження, подано в таблиці 1.

Таблиця 1

Характеристика насінних плантацій сосни звичайної ДП «Клавдієвська ЛНДС»

Table 1

The characteristics of Sots pine seed orchards in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”

Насінна плантація – рік створення Seed orchard – year of establishment	Лісництво Forestry	Квартал Compartment	Вік дерев, років Age of trees, years	Площа, га Area, ha	Кількість клонів/родин, шт. Number of clones/families	Схема садіння, м Planting pattern, m	Густота садіння, шт.га ⁻¹ Planting density stems·ha ⁻¹
КНП-1976 CSO-1976	Старопетрівське Staropetrivske	158	47	7,6	39	10 × 5	200
КНП-1977 CSO-1977	Старопетрівське Staropetrivske	170	46	10,3	66	5 × 5	400
КНП-1978 CSO-1978	Старопетрівське Staropetrivske	170	45	15,5	56	5 × 5	400
КНП-1979 CSO-1979	Старопетрівське Staropetrivske	170	44	12,7	56	10 × 10	100
КНП-1980 CSO-1980	Старопетрівське Staropetrivske	170	43	4,0	29	10 × 10	100
КНП-1982 CSO-1982	Старопетрівське Staropetrivske	170	41	4,0	29	10 × 5	200
КНП-1990 CSO-1990	Старопетрівське Staropetrivske	53	33	4,5	30	7 × 5	286
КНП-1991 CSO-1991	Старопетрівське Staropetrivske	53	32	4,0	30	7 × 7	204
ПКНП-2008 PCSO-2008	Першотравневе Pershotravnve	89	15	3,9	50	7 × 7	204
РКНП-2010 FCSO-2010	Старопетрівське Staropetrivske	170	13	4,6	25	7 × 7	204
РНП-2011 FSO-2011	Старопетрівське Staropetrivske	170	12	5,0	25	7 × 7	204

Note. CSO – clonal seed orchard; PCSO – population clonal seed orchard; FCSO – family clonal seed orchard; FSO – family seed orchard.

На КНП 1976–1982 рр. створення проведено три прийоми декапітації, на КНП 1990–1991 рр. створення – два прийоми і на насінних плантаціях 2008–2011 рр. створення – один прийом. На КНП 1976 р. створення з початковим розміщенням дерев 5 × 5 м у 20-річному віці проведено зрідження: видалено кожен другий ряд.

На кожній насінній плантації у 20 дерев вимірювали висоту, висоту до першої живої гілки, діаметр проекції крони (у двох перпендикулярних напрямках). На насінних плантаціях,

де висоти дерев були меншими за 10 м, висоту дерев та висоту до першої живої гілки вимірювали мірною рейкою, а в дерев, вищих за 10 м, – електронним висотоміром. Протяжність живої крони, відносну протяжність крони у відсотках від загальної висоти дерева, діаметр та площу проекції крони визначали за загальноприйнятими в лісовій таксації методами (Hrom, 2010). Досліджені нами насінні плантації різняться за віком, схемами садіння та густотою садіння, що впливає на час і ступінь змикання крон дерев на окремих насінних плантаціях. За основу ми взяли один зі способів, що використовують у таксаційних дослідженнях, де зімкненість насадження визначають за відношенням суми проекцій крон усіх дерев у насадженні до площі, яку займає насадження (Hrom, 2010), але з деякими нашими поправками, що стосуються особливостей умов росту дерев на насінних плантаціях. Насінні плантації відрізняються від насаджень малою кількістю дерев та рівномірним розміщенням їх на площі, а кількість дерев та відстані між ними визначаються схемами та густотою садіння. За таких умов вирощування на насінних плантаціях практично відсутня диференціація дерев за висотою та діаметрами проекцій крон. Зокрема, на досліджених нами плантаціях 32–47-річного віку коефіцієнти варіації обох згаданих ознак не перевищують 10 %, а на плантаціях 12–15-річного віку – 11–13 %. Ми вважаємо, що за таких обставин реальний рівень зімкненості крон на досліджених насінних плантаціях з достатньою точністю відображатиме відношення показника середньої площі проекції крони до площі ділянки, яку займає кожне дерево згідно зі схемою садіння (наприклад, за схеми садіння 5×5 м площа ділянки становитиме 25 м^2). Запропонований нами показник зімкненості крон є дещо подібним за змістом до показника зімкненості насаджень, але не тотожний йому, тому для запобігання плутанини термінів ми умовно назвали його “проективне покриття кронами площі плантації” і визначили у відсотках.

У зимовий період 2022–2023 рр. на кожній насінній плантації заготовляли шишки з 20–30 довільно обраних дерев. Як контроль використано шишки, зібрані в лісових культурах Старопетрівського лісництва. Площа ділянки – 4,0 га, тип лісорослинних умов – В₂. Середня висота дерев становить 28,0 м, середній діаметр – 37,0 см, повнота – 0,7, бонітет – I^a.

Морфометричні ознаки шишок досліджували за методикою Л. Ф. Правдіна (Pravdin, 1964), а насіння – за шкалою В. А. Черепніна (Cherepnin, 1980). Для цього із загального збору шишок кожної насінної плантації довільно відбирали зразки по 60 шишок. Із усього комплексу якісних та кількісних ознак шишок і насіння ми зосередилися на оцінюванні кількісних ознак, оскільки саме вони є складовими формування урожаю насіння. Для кожної шишки зразка визначали довжину, ширину та масу. Шишки (кожну окремо) висушували в термостаті за температури 45–50 °С до повного розкриття, після чого з них виділяли насіння.

Визначали загальну кількість та кількість виповненого насіння в шишці, повнозерність (частку виповненого насіння від загальної його кількості в шишці, %). Після знекрилення насіння кожного зразка зважували на електронних вагах “Axis”. Для кожної плантації розраховували вихід насіння із шишок (частку маси виповненого насіння від маси шишок, %) та масу 1 000 шт. насінин. Для визначення схожості насіння у чашки Петрі на фільтрувальний папір висівали по 100 шт. насінин, змочували дистильованою водою і накривали кришкою. Пророщували зразки за температури +20 °С. Схожість насіння визначали через 14 діб після висівання.

Статистичний аналіз кількісних ознак здійснювали за допомогою пакету аналізу MS Excel. Достовірність різниці між контролем і дослідними варіантами визначали за *t*-критерієм Стьюдента (Lakin, 1990).

Результати. За результатами обстеження дерева на клонових насінних плантаціях віком 32–47 років мали середню висоту від 13,9 до 22,6 м (табл. 2). За розміщення дерев за схемами 10×5 та 10×10 м середня протяжність крони становила від 10,3 до 11,4 м, а максимальний середній діаметр проекції крони – 9,5 м. Дерев, розміщені за схемою 5×5 м, мали протяжність крони лише 7,3–8,3 м, а середній діаметр їхньої проекції крони сягав 6,7 м.

Таблиця 2

Основні таксаційні показники дерев на насінних плантаціях сосни звичайної ДП «Клавдієвська ЛНДС» станом на вересень 2022 р.

Table 2

The main forest assessment indicators of trees in Scots pine seed orchards in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station” as of September 2022

Насінна плантація – рік створення Seed orchard – year of establishment	Середня висота, м Average height, m	Середня висота до першої живої гілки, м Average height of first live branch, m	Середня протяжність крони, м Average crown length, m	Середня відносна протяжність крони, % Average relative crown length, %	Середній діаметр крони, м Average crown diameter, m	Середня площа проєкції крони, м ² Average crown projection area, m ²	Проективне покриття кронами площі плантації, % Projective crown cover, %
КНП-1976 CSO-1976	18,7	11,0	7,7	41	7,2	40,7	81
КНП-1977 CSO-1977	22,6	14,3	8,3	37	6,6	34,2	137
КНП-1978 CSO-1978	22,0	14,7	7,3	33	6,7	35,2	141
КНП-1979 CSO-1979	17,0	5,6	11,4	67	9,5	70,8	71
КНП-1980 CSO-1980	17,4	7,0	10,4	60	8,2	52,8	53
КНП-1982 CSO-1982	19,1	8,8	10,3	54	7,8	47,8	96
КНП-1990 CSO-1990	13,9	4,7	9,2	66	7,3	41,8	120
КНП-1991 CSO-1991	14,0	3,6	10,4	74	7,6	45,9	94
ПКНП-2008 PCSO-2008	5,1	0,7	4,4	86	5,1	20,4	42
РКНП-2010 FCSO-2010	4,5	0,5	4,0	89	4,9	19,2	39
РНП-2011 FSO-2011	4,0	0,5	3,5	88	4,8	18,1	37

Note. CSO – clonal seed orchard; PCSO – population clonal seed orchard; FCSO – family clonal seed orchard; FSO – family seed orchard.

Середня висота дерев сосни на насінних плантаціях, створених у 2008–2011 рр. (клоново-популяційна, родинно-клонова та родинна з розміщенням 7×7 м) становила від 4,0 до 5,1 м. Протяжність крони становила від 3,5 до 4,4 м, а середній діаметр проєкції крони був у межах від 4,8 до 5,1 м, ці розміри є оптимальними для розвитку та заготівлі шишок.

Відносна протяжність живих крон на насінних плантаціях змінюється від 33 % (КНП-1978) до 89 % (РКНП-2010) і тісно корелює зі значенням показника проективного покриття кронами площі плантації – $r = -0,793$. На насінних плантаціях із проективним покриттям кронами площі плантації 37–71 % крони дерев не є зімкненими, а на плантаціях із проективним покриттям 94–141 % крони зімкнулися (див. табл. 2). Значення показника проективного покриття кронами площі плантації, більше за 100 %, свідчить про перекриття крон сусідніх дерев.

Згідно з результатами досліджень шишки, зібрані у 2022 р. з усіх насінних плантацій, за довжиною, шириною та масою суттєво перевершували шишки масового збору в насадженні (контроль) (табл. 3).

Показники шишок сосни звичайної з насінних плантацій ДП «Клавдієвська ЛНДС»

Table 3

Characteristics of Scots pine cones from the seed orchards in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”

Насінна плантація The seed orchard	Середні розміри шишок Average size of cones				Середня маса шишок Average weight of cones	
	Довжина Length		Ширина Width		$M \pm m$, г	t_{ϕ}
	$M \pm m$, см	t_{ϕ}	$M \pm m$, см	t_{ϕ}		
КНП-1976 CSO-1976	4,9 ± 0,07	12,27**	2,4 ± 0,03	15,53**	12,1 ± 0,30	16,66**
КНП 1977 CSO-1977	4,9 ± 0,06	14,01**	2,4 ± 0,02	19,09**	11,9 ± 0,33	14,87**
КНП-1978 CSO-1978	5,4 ± 0,11	12,22**	2,4 ± 0,04	11,85	13,5 ± 0,69	10,12**
КНП-1979 CSO-1979	4,6 ± 0,04	11,31**	2,2 ± 0,03	10,82**	10,1 ± 0,26	11,95**
КНП-1980 CSO-1980	4,3 ± 0,10	3,53**	2,0 ± 0,05	2,78*	8,1 ± 0,55	3,16*
КНП-1982 CSO-1982	4,9 ± 0,10	8,35**	2,3 ± 0,04	10,51**	10,6 ± 0,51	8,04**
КНП-1990 CSO-1990	4,5 ± 0,06	8,04**	2,1 ± 0,02	10,25**	9,5 ± 0,24	10,73**
КНП-1991 CSO-1991	5,1 ± 0,06	15,25**	2,3 ± 0,03	13,59**	12,6 ± 0,32	17,24**
ПКНП-2008 PCSO-2008	5,6 ± 0,04	29,87**	2,5 ± 0,03	21,92**	13,3 ± 0,28	21,21**
РКНП-2010 FCSO-2010	5,5 ± 0,07	19,84**	2,4 ± 0,06	15,81**	13,8 ± 0,45	15,47**
РНП-2011 FSO-2011	5,2 ± 0,08	14,42**	2,4 ± 0,02	8,06**	12,8 ± 0,53	11,64**
Контроль Control	3,9 ± 0,04	–	1,8 ± 0,02	–	6,3 ± 0,18	–

Note. CSO – clonal seed orchard; PCSO – population clonal seed orchard; FCSO – family clonal seed orchard; FSO – family seed orchard.

*Достовірно на 5 % рівні значущості.

Significant at 5%.

**Достовірно на 1 % рівні значущості.

Significant at 1%.

Найбільші розміри шишок виявлено для дерев сосни з популяційної плантації (ПКНП-2008). Їхня середня довжина становила 5,6 см, ширина – 2,5 см. Несуттєво їм поступалися за розмірами шишки з родинно-клонової плантації (РКНП-2010), маючи середні довжину 5,6 см і ширину 2,4 см. Результати аналізу свідчать, що маса шишок корелює з їхніми розмірами ($r = 0,915-0,962$). Найважчими виявилися шишки з родинно-клонової плантації РКНП-2010 (із середньою масою 13,8 г), а також з КНП 1978 (13,5 г) та популяційної плантації ПКНП-2008 (13,3 г). Найменші шишки зібрано на КНП-1980 – їхня довжина становила 4,3 см, ширина – 2,0 см, маса – 8,1 г (див. табл. 3).

Найвищий показник середньої кількості насіння в шишці визначено для дерев з КНП 1978 року створення (32,9 шт.), а найнижчий – з КНП 1980 року створення (18,3 шт.) (табл. 4).

Насіннєва продуктивність шишок та кількісна характеристика насіння сосни звичайної з насінних плантацій у ДП «Клавдієвська ЛНДС»

Table 4

Seed productivity of cones and the quantitative characteristic of Scots pine seeds from the seed orchards in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”

Насінна плантація The seed orchard	Середня кількість насіння в шишці Average seed number per cone				Повнозерність Proportion of full-grain seeds		Маса 1 000 шт. насіння, г 1,000 seeds weight, g	Вихід насіння з шишки, % Seed yield per cone, %	Схожість насіння, % Seed germination, %
	виповненого filled		всього total						
	$M \pm m$, шт.	t_{ϕ}	$M \pm m$, шт.	t_{ϕ}	$M \pm m$, %	t_{ϕ}			
КНП-1976 CSO-1976	23,5 ± 0,78	10,06**	27,4 ± 0,72	11,45**	86,0 ± 0,90	-0,87	8,5	1,7	98
КНП-1977 CSO-1977	23,3 ± 0,59	12,73**	26,4 ± 0,61	13,51**	88,6 ± 0,75	0,69	8,6	1,6	98
КНП-1978 CSO-1978	28,3 ± 0,90	13,25**	32,9 ± 0,92	14,94**	86,1 ± 0,86	-0,57	7,7	1,5	96
КНП-1979 CSO-1979	18,9 ± 0,79	6,58**	20,8 ± 0,86	6,28**	91,0 ± 0,85	2,00*	7,6	1,4	99
КНП-1980 CSO-1980	16,6 ± 1,28	3,16**	18,3 ± 1,32	3,13**	90,5 ± 1,07	1,20	6,0	0,5	–
КНП-1982 CSO-1982	20,2 ± 1,16	5,75**	22,2 ± 1,16	5,89**	91,2 ± 0,91	1,74	7,5	1,5	96
КНП-1990 CSO-1990	24,3 ± 0,93	9,94**	26,0 ± 0,96	9,52**	93,5 ± 0,83	3,23*	6,6	1,8	100
КНП-1991 CSO-1991	26,0 ± 0,78	12,79**	28,1 ± 0,80	12,54**	92,7 ± 0,68	3,05*	8,6	1,7	98
ПКНП-2008 PCSO-2008	27,2 ± 0,90	12,40**	30,9 ± 0,81	14,78**	88,1 ± 1,43	0,16	7,9	2,0	99
РКНП-2010 FCSO-2010	25,9 ± 1,04	10,25**	30,3 ± 1,06	11,59**	85,7 ± 1,58	-0,43	8,1	1,5	100
РНП-2011 FSO-2011	28,5 ± 1,15	11,10**	31,3 ± 1,16	11,58**	90,9 ± 0,56	1,64	8,4	1,9	99
Контроль Control	11,4 ± 0,94	–	13,1 ± 1,05	–	87,1 ± 1,79	–	6,6	1,2	96

Note. CSO – clonal seed orchard; PCSO – population clonal seed orchard; FCSO – family clonal seed orchard; FSO – family seed orchard.

*Достовірно на 5 % рівні значущості.
Significant at 5%.

**Достовірно на 1 % рівні значущості.
Significant at 1%.

Найменше виповненого насіння (16,6 шт.) виявилось в шишках з КНП 1980 року створення, а найбільше – в шишках з РНП 2011 року створення (28,4 шт.). За цим показником всі плантації вірогідно перевершували контроль за t -критерієм Стьюдента.

Показник повнозерності знаходився в межах від 85,7% на РКНП-2010 до 93,5% на КНП-1990. Лише на трьох плантаціях значення показників виявилися суттєво більшими, ніж у контрольного варіанта (див. табл. 4).

Вихід насіння з шишок варіював у межах від 0,5 до 2,0 %. Найнижчий показник виявився на КНП 1980 року створення, а максимальний – на ПКНП 2008 року створення.

Показник маси 1 000 насіння з усіх плантацій перебував у межах від 6,0г до 8,6 г. Найлегше насіння отримали з КНП-1980 – 6,0 г, та з КНП-1990 та контролю – 6,6 г. Найважче

насіння (8,6 г) отримали з КНП 1977 та 1991 років створення, дещо поступалося за цим показником насіння з КНП 1976 року створення – 8,5 г, а також з РНП 2011 року створення – 8,4 г.

Звертають на себе увагу суттєво менші значення кількісних характеристик шишок та насіння з КНП 1979 та 1980 років створення (див. табл. 3, 4), що важко пояснити впливом віку плантацій або схеми розміщення щеп на них. На наш погляд, причина полягає в тому, що обидві плантації знаходяться поруч на певному мікропідвищенні рельєфу і більше потерпають від дефіциту вологи в ґрунті в посушливі роки.

Показники схожості насіння з насінних плантацій та контролю є високими – 96–100 % (див. табл. 4). Схожість насіння із КНП 1980 року створення через недостатню його кількість не визначали.

Кореляційний аналіз виявив значущий від’ємний зв’язок між довжиною шишок на плантаціях та їхнім віком. Показники маси шишок, загальної кількості насіння в них, кількості виповненого насіння та схожості насіння також продемонстрували тенденцію до зменшення з віком. Між відносною протяжністю крон щеп, проєктивним покриттям площі кронами на плантаціях і дослідженими ознаками шишок і насіння значущого зв’язку не виявлено, тоді як схожість насіння пов’язана з відносною протяжністю крон щеп прямим середньої сили значущим зв’язком (табл. 5).

Таблиця 5

Кореляційні зв’язки між кількісними показниками шишок, насіння та віком насінних плантацій, відносною протяжністю крон і проєктивним покриттям кронами площі плантацій

Table 5

Correlations between quantitative traits of cones and seeds and seed orchard age, relative crown length and projective crown cover

Кількісна ознака шишок, насіння (середнє значення) Quantitative characteristic of cones or seeds (mean)	Вік, Age	Відносна протяжність крони, % Relative crown length, %	Проєктивне покриття кронами площі плантації, % Projective crown cover, %
Довжина шишки, см Cone length, cm	-0,625*	-0,351	0,315
Ширина шишки, см Cone width, cm	-0,347	0,065	-0,020
Маса шишки, г Cone weight, g	-0,563	0,277	-0,168
Кількість виповненого насіння в шишці, шт. Number of full-grain seeds per cone	-0,577	0,246	0,043
Загальна кількість насіння в шишці, шт. Total seed quantity per cone, pcs.	-0,538	0,180	0,031
Повнозерність, % Proportion of full-grain seeds, %	0,016	0,257	0,067
Маса 1 000 шт. насінин, г 1,000 seeds weight, g	-0,204	0,023	0,032
Вихід насіння з шишки, % Seed yield per cone, %	-0,304	0,114	0,210
Схожість насіння, % Seed germination, %	-0,585	0,683*	-0,528

*Достовірно на 5 % рівні значущості.
Significant at 5%.

Обговорення. Як свідчать результати дослідження, показники кількісних морфологічних ознак шишок і насіння навіть для плантацій найстаршого віку (46–47 років) залишаються доволі високими та суттєво перевершують аналогічні показники контрольного соснового

насадження (табл. 3, 4). Існує зворотній середньої сили значущий зв'язок між віком плантацій і довжиною шишок (див. табл. 5), що підтверджено також результатами досліджень Л. І. Терещенко (Tereshchenko, 2019) на клонових насінних плантаціях сосни звичайної в Харківській області. Незважаючи на те, що загальна кількість насіння та кількість виповненого насіння в шишках тісно корелюють із їхньою довжиною ($r = 0,920-0,887$), залежність цих показників від віку щеп статистично не підтверджено. Ймовірно, кількість насіння в шишках залежить також від інших факторів, але, з огляду на величину коефіцієнтів кореляції між кількістю насіння в шишках та віком щеп (див. табл. 5), тенденція до зворотного зв'язку між ними є доволі помітною. Певним доказом цього є одержані у 2007 р. (неопубліковані дані) значення середніх показників окремих кількісних ознак шишок і насіння, зібраних на шести КНП 1977–1990 років створення, що перевершують відповідні показники шишок і насіння, зібраних на цих же плантаціях у 2022 р. Різниця становить: для довжини шишок – 13 %, кількості виповненого насіння в шишці – 15 %, загальної кількості насіння в шишках – 25 %.

Оскільки плантації, на яких ми проводили дослідження, різняться не тільки за віком, але й за схемою розміщення щеп (густотою), можна припустити, що густина певним чином впливає на значення показників досліджуваних ознак шишок та насіння. Загалом, частіше досліджували, як залежить від схеми розміщення дерев на плантаціях або повноти насаджень урожайність шишок, ніж розміри шишок та кількість насіння в них (Reshetnyk, 2010; Lazar, 2023). Л. І. Терещенко (Tereshchenko, 2019) звертає увагу на те, що щільне розміщення щеп на КНП не є основною причиною зниження насінної продуктивності клонів. З огляду на відсутність значущого зв'язку між відносною протяжністю крон, проективним покриттям площі кронами на насінних плантаціях і значеннями показників кількісних ознак шишок і насіння (табл. 5), можна припустити, що густина розміщення щеп на плантаціях безпосередньо не впливає на досліджені ознаки.

Коефіцієнти кореляції між середніми показниками кількісних ознак шишок і насіння з насінних плантацій та їхнім віком є найбільшими, як порівняти з коефіцієнтами кореляції між тими ж ознаками шишок та насіння й відносною протяжністю крон та проективним покриттям площі кронами на тих же насінних плантаціях (див. табл. 5). Виняток становить повнозерність, для якої коефіцієнт кореляції з відносною протяжністю крон є найбільшим ($r = 0,257$) за повної відсутності зв'язку з віком ($r = 0,016$) та проективним покриттям площі плантацій кронами ($r = 0,067$). Цікавим є цей факт, тому що відносна протяжність крон на плантаціях зворотно тісно корелює з їхнім віком ($r = -0,893$). Отже, відносна протяжність крон, динаміка формування якої є результатом взаємодії факторів віку та густоти розміщення садивних місць на плантаціях, хоч і слабко, але впливає на повнозерність. Своєрідний характер зв'язку повнозерності з відносною протяжністю крон демонструють результати розрахунку середніх показників повнозерності за градаціями відносної протяжності крон на плантаціях (див. табл. 2). Так, за відносної протяжності крон 86–89 % середня повнозерність на цих насінних плантаціях становила $87,9 \pm 0,74$ %, за протяжності 54–74 % – відповідно $91,9 \pm 0,39$ %, за відносної протяжності крон 33–41 % – $86,7 \pm 0,51$ %. Середнє значення показника повнозерності на молодих, незімкнених, з великою відносною протяжністю крон дерев (86–89 %) плантаціях не відрізнялося від такого на найстарших плантаціях з високо піднятими, щільно зімкненими, з найменшою відносною протяжністю кронами (33–41 %) і знаходилося на рівні значення показника повнозерності контрольного високоповнотного, зімкненого насадження ($87,1 \pm 1,79$ %). На плантаціях з відносною протяжністю крон 54–74 %, крони дерев на яких ще не зімкнулися чи щойно зімкнулися, середня повнозерність була суттєво більшою ($t_{st} = 2,18$, $t_{\phi} = 4,78$ та $8,10$ відповідно). Ми вважаємо, що відносна протяжність крон і повнозерність безпосередньо між собою не пов'язані. Як ми зазначали, на протяжність крон на насінних плантаціях впливає густина розміщення садивних місць і вік та, ймовірно, одночасно з відносною протяжністю крон

змінюється певний чинник, від якого безпосередньо залежить частка повнозерного насіння в шишках на плантаціях. Одним із таких чинників може бути режим запилення.

На молодих КНП з низько опущеними, незімкненими кронами існує висока ймовірність нестачі власного пилку, оскільки чоловіча генеративна система формується дещо пізніше жіночої (Mazhula, 1993). Відомо (Mazhula, 1993), що дальність розповсюдження пилку залежить від висоти дерева. Ми припускаємо, що вона залежить не від висоти дерева, а, власне, від висоти розташування чоловічого генеративного ярусу, який, наприклад, на РКНП 2010 року створення розташований в середньому на висоті від 0,5 до 2 м. Це створює умови, за яких значна кількість пилку від окремого дерева осідає в кроні самого дерева та на малій відстані від нього, особливо в безвітряну погоду. За високої температури повітря під час льоту пилку на молодих, із незімкненими кронами плантаціях може збільшуватися роль конвекційних потоків повітря від нагрівання ґрунту, що зменшує щільність пилкової хмари на плантації, необхідну для ефективного перехресного запилення. Всі ці особливості режиму запилення збільшують частоту самозапилення, яке є однією із причин утворення порожнього насіння в шишках (Koski, 1971).

На старших насінних плантаціях зі щільно зімкненими, високо піднятими кронами як урожайність шишок, так і пилкова продуктивність є меншими. Щільно зімкнені крони є бар'єром для розповсюдження пилку, оскільки погано продуваються вітром. Через значну висоту дерев та високо підняті, зімкнені крони режим запилення на цих КНП є подібним до такого у контрольному високоповнотному зімкненому насадженні, де також доволі значну роль у розповсюдженні пилку відіграють конвекційні потоки повітря від нагрітого ґрунту та стовбурів дерев. Все це сприяє збільшенню частоти самозапилення та утворенню порожнього насіння в шишках.

На плантаціях із відносною протяжністю крон 54–74 %, які ще не зімкнулися чи щойно зімкнулися, пилкова продуктивність є високою, крони достатньо продуваються вітром, і режим запилення є сприятливим для перехресного запилення, завдяки чому частка повнозерного насіння в шишках є великою.

Слід зазначити, що значення показників повнозерності може щорічно змінюватися, оскільки режим запилення залежить від температури повітря, опадів та швидкості вітру під час льоту пилку, проте проблема меншої повнозерності на молодших насінних плантаціях залишається. Наприклад, на 13-річній КНП сосни звичайної (схема розміщення щеп 6 × 6 м) у Туреччині середня кількість виповненого насіння в шишках становила 11,6 шт., порожнього насіння – 15 шт., а повнозерність становила лише 43,6 % (Sivacıoğlu and Ayan, 2008). Низький рівень повнозерності автори пояснюють особливістю режиму запилення на молодих КНП і вважають, що з віком цей показник буде збільшуватися.

Щодо значущого середньої сили додатного зв'язку схожості насіння з відносною протяжністю крон щеп на насінних плантаціях ($r = 0,683$) ми вважаємо, що схожість насіння певним чином залежить від стану та розміру крон щеп.

Висновки. Показники шишок, зібраних на 11 насінних плантаціях у 2022 р., значуще перевершують контрольні (з місцевого насадження) як за розмірами, так і за масою.

Насіння з 10 насінних плантацій виявилось кращим також за середньою кількістю виповненого та загальною кількістю насіння в шишці, масою 1 000 шт. насінин, виходом насіння з шишок, порівнюючи з контролем, окрім показників виходу насіння з шишок (0,5 %) та маси 1 000 шт. насінин (6 г) з КНП 1980 року створення. Насіння з плантацій та контролю мало високу якість, а його схожість знаходилася в межах 96–100 %.

Статистично підтверджено зменшення розмірів шишок і, частково, кількості насіння в них, у міру збільшення віку плантацій.

Між відносною протяжністю і зімкненістю крон на насінних плантаціях та показниками шишок та насіння зв'язок відсутній.

Зімкненість крон на насінних плантаціях впливає на характер розповсюдження пилку та режим запилення, що є однією з причин мінливості показників повнозерності:

повнозерність є меншою на молодших КНП з низько опущеними, не зімкненими кронами та на старших насінних плантаціях зі щільно зімкненими, високо піднятими кронами.

Підтвердження високої якості насіння сосни, одержаного на клонових насінних плантаціях 12–47-річного віку свідчить про доцільність використання насіння з них для лісовідновлення в умовах Українського Полісся.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Bilous, V.I. (1994) *Oak selection and seed production*. Cherkasy: NDITEKHIM (in Ukrainian)
- Cherepnin, V.L. (1980) *The variability of Scots pine seeds*. Novosibirsk: Nauka (in Russian).
- Duritis, J.K., Pirags, D.M. and Ronis, E.J. (1985) 'Possibilities of labor mechanization in seed orchards' in *Seed orchards in forest seed production*. Riga: Zonathy, pp.43–46.
- Gardner, Y.J. (1981) 'A new method of planting trees and shrubs', *Arboric Journal*, 5, pp. 45–48.
- Golovchansky, I.N. and Savich, E.I. (1978) 'Determination of the deadline for planting bare-rooted seedlings of the Crimean pine in Crimea', *Lesokhoziajstvennaya Informatsiya*, 1, pp.15–16 (in Russian).
- Hrom, M.M. (2010) *Forest mensuration*. 3rd edn. Lviv: RVV NLTU (in Ukrainian).
- Koski, V. (1971) 'Embryonic lethals of *Picea abies* and *Pinus sylvestris*', *Communications Institute Forestalia Fennica*, 7, pp. 1–30.
- Kostkin, B.P. and Shlonchak, G.V. (1980) 'Establishment of clonal seed orchards', *Forestry, forest, paper and woodworking industry*, 3, pp.8–9 (in Ukrainian).
- Lakin, H.F. (1990) *Biometrics*. Moscow: Vysshaya Shkola (in Russian).
- Lazar, O.D. (2023) *Ingeritance of growth and reproduction traits by the offsprings of Scots pine superior trees in the Rivne region*. Extended abstract of PhD thesis. Lviv: UNFU (in Ukrainian).
- Mazhula, O.S. (1993) *Growth and seed productivity of Scots pine clones on the seed orshards in Left bank Forest-Steppe*. Extended abstract of PhD thesis. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Molchenko, L.N. and Zatsiha, Y.V. (1980) *Technology for creating of clone seed coniferous orchards in the Carpathians. Guidelines*. Ivano-Frankivsk (in Russian).
- Molotkov, P.I., Patlay, I.M. and Davydova, N.I. (1989) *Seeding of forest trees species*. Kyiv: Urozhai (in Ukrainian).
- Pirags, D.M. (1985) 'Forest seeds of orchards: their present and future', in *Seed orchards in forest seed production*. Riga: Zinatne, pp.3–11.
- Pravdin, L.F. (1964) *Scots pine*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Reshetnyk, L.L. (2010) *Seed productivity of Scots pine*. Zhytomyr: Polissya (in Ukrainian).
- Romanauskas, V., Andryushkyavichene, I.S. and Polkhauskene, V.I. (1978) 'Features of flowering and seedlings of pine on forest seed orchard' in *Selection of trees species in the Latvian SSR*. Moscow: Nauka, pp. 103–111.
- Shlonchak, G.A. (1981) 'Establishing of pine clonal seed orchards with containerized seedlings', *Forestry, forest paper and woodworking industry*, 1, pp. 12–13 (in Ukrainian).
- Shlonchak, G.A. (1986) *Establishment of pine clonal seed orchards with containerized seedlings in the central Polesie of the Ukrainian SSR*. Extended abstract of PhD thesis. Kharkiv: URIFFM (in Russian).
- Shlonchak, G.A. (1988) 'The experience of the Staropetrovskaya LOS in the creation of seed orchards', *Express Information*, 4, pp. 5–11 (in Russian).
- Shlonchak, G.A. and Shlonchak, G.V. (2005) 'Distribution of cones in the crown of grafted trees of Scots pine depending on age', in *Forest, Science, Society. Proceedings of the International Anniversary Conference*. Kharkiv: URIFFM, pp. 136. (in Ukrainian).
- Shlonchak, G.A. and Shlonchak, G.V. (2009) 'The efficiency of use of Scots pine clonal orchards for afforestation', *Forestry and Forest Melioration*, 115, pp. 65–70 (in Ukrainian).
- Sivacioglu, A. and Ayan, S. (2008) 'Evaluation of seed production of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) clonal seed orshard with cone analysis method', *African Journal of Biotechnology*, 7(24), pp. 4393–4399. Available at: <http://www.academicjournals.org/AJB> (Accessed: 11 December 2023).
- Tereshchenko, L.I. (2019) 'The issue of reproduction of Scots pine trees on clonal seed orchards at the age over 25 years', in *Pine Forest: Current Status, Existing Challenges and Ways Forward. Proceedings of International Scientific and Practical Conference*. Kyiv: Planeta-Print, pp. 170–173. (in Ukrainian).
- Velisevich, S.N., Zhuk, E.A., Vasilyeva, G.V., Bender, O.G., Kabilov, M.R., Tupikin, A.E. and Goroshkevich, S.N. (2017) 'The nature of forest woody plant ontogenesis: correlation of physiological and epigenetic factors (case study on Siberian stone pine)', in *Conservation of Forest Resources. Proceedings of the 5-th International Conference*. Homel: LLC Kolordruk, pp. 30–32. ISBN 978-985-6768-29-6.

CHARACTERISTICS OF SCOTS PINE (*PINUS SYLVESTRIS* L.) SEEDS FROM SEED ORCHARDS OF DIFFERENT AGES IN THE STATE ENTERPRISE “KLAVDIIEVO FOREST RESEARCH STATION”

Shlonchak G.A.^{1*}, Yashchuk I.V.², Mytrotchenko V.V.³, Lavrenyuk O.A.⁴

The article reports results on the investigation of Scots pine cones and seeds originated from 12-47-year-old seed orchards in Staropetrivske forestry and Pershotravneve forestry in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”. The orchards were comprehensively evaluated, with determining the average height of seed trees, average height of the first live branch, length and projection diameter of the crowns, and crown projection area. Quantitative characteristics of cones and seeds have been determined: the average length of cones at orchards was 5.0 cm, the average weight of cone was 11.8 g, the average number of full seeds in a cone was 24.3, the full-grain cones comprised 89.3%, the average weight of 1,000 seeds was 7.8 g, the percent yield of seeds from cones was 1.5%. The samples of cones and seeds from seed orchards significantly exceeded the control sample from Scots pine stand by all indicators. The germination of seeds from all seed orchards in the lab conditions was 96–100%. It was established A statistically significant moderate negative correlation have been found between the age of seed orchards and the length of cones ($r = -0,626$). Tree crown closure at seed orchards had an impact on the nature of pollen distribution and the pollination pattern. It is one of the reasons for changing full-grain percentage.

К е у w o r d s : clonal seed orchards, family seed orchards, cones, pine seeds, germination.

Одержано редколегією 19.12.2023

¹ Shlonchak Grygory, PhD (Agricultural Science), Senior Researcher, State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”, Verbna Street 4, Klavdiievo-Tarasove, 07850, Bucha district, Kyiv region, Ukraine. E-mail: shlonchakga@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-0980-9619>

² Yashchuk Irena, State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”, Verbna Street 4, Klavdiievo-Tarasove, 07850, Bucha district, Kyiv region, Ukraine. E-mail: irenya16@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0009-4443-8753>

³ Mytrochenko Valentina, State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”, Verbna Street 4, Klavdiievo-Tarasove, 07850, Bucha district, Kyiv region, Ukraine. E-mail: mitrocenkovalentina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-3742-5086>

⁴ Lavrenyuk Oleksandr, State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”, Verbna Street 4, Klavdiievo-Tarasove, 07850, Bucha district, Kyiv region, Ukraine. E-mail: dogma_klnds@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-9738-8982>

* Correspondence: shlonchakga@ukr.net

ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ,
ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ

УДК 630 [232.32 + 232.4 + 235.1] : 633.872.1



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.38>

**ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ЛІСОВИХ КУЛЬТУР ДУБА ЗВИЧАЙНОГО,
СТВОРЕНИХ РІЗНИМ САДИВНИМ МАТЕРІАЛОМ, У ДП «ХАРКІВСЬКА ЛНДС»**

О. М. Даниленко^{1*}, М. Г. Румянцев², П. Б. Тарнопільський³, В. А. Лук'янець⁴

Наведено показники росту п'ятирічних культур дуба звичайного (*Quercus robur* L.), створених сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними на різних субстратах у контейнерах із агроволокна, та сіянцями з відкритою кореневою системою. Виявлено, що склад субстрату в контейнерах, на якому вирощували сіянці дуба, суттєво вплинув на їхні біометричні показники. З'ясовано, що найбільшими висотою та діаметром кореневої шийки характеризувалися сіянці у варіанті «Ґрунт + торф (2 : 1)». Культури, створені сіянцями із закритою кореневою системою, відзначалися вищими приживлюваністю (91–98 % проти 85 %) і збережуваністю (83–89 % проти 78 %), порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із відкритою кореневою системою. Визначено, що дуб у культурах віком п'ять років, створених сіянцями із закритою кореневою системою, характеризувався вищими висотою (до 32 %), діаметром (до 53 %) та приростом у висоту (до 33 %), ніж у культурах, створених сіянцями із відкритою кореневою системою.

Ключові слова: *Quercus robur* L., контейнер з агроволокна, субстрат, торф, приживлюваність.

Вступ. Розроблення нових підходів до вирощування садивного матеріалу головних лісоутворювальних видів, зокрема дуба звичайного (*Quercus robur* L.), для створення стійких до зміни клімату та антропогенного навантаження лісів є надзвичайно актуальним питанням.

Штучне лісовідновлення, не зважаючи навіть на регулювання всіх технологічних процесів, не завжди сприяє якісному та успішному відтворенню біологічно стійких і продуктивних лісових екосистем, які за складом і структурою найкраще відповідають оптимальним деревостанам у корінних типах лісу. Одним зі шляхів вирішення цієї проблеми є вирощування лісових культур, створених сіянцями із закритою кореневою системою (ЗКС). Такі сіянці мають переваги над сіянцями з відкритою кореневою системою (ВКС), серед яких зменшене травмування рослин під час транспортування та пересаджування на лісокультурну площу, можливість суттєвого подовження періоду створення лісових культур навесні, відсутність потреби в доповненні лісових культур завдяки високій їхній приживлюваності (Lialin, 2014; Danylenko *et al.*, 2023). З огляду на це збільшуються обсяги використання садивного матеріалу із ЗКС у лісокультурному виробництві (Yavorovskiy and Segeda, 2016).

Велике значення для забезпечення кращого росту сіянців із ЗКС має склад субстрату в контейнері (Gural, 2016). Низку наукових праць присвячено особливостям вирощування сіянців дуба із ЗКС на різних субстратах у регіоні досліджень (південно-східна частина

¹ Даниленко Олег Миколайович, державне підприємство «Харківська лісова науково-дослідна станція», с. Черкаська Лозова, 62300, Харківський р-н, Харківська обл., Україна. E-mail: dandik86@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7817-4299>

² Румянцев Максим Григорович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: maxrum-89@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2245-2441>

³ Тарнопільський Петро Богданович, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: tarnopilsky@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8547-4843>

⁴ Лук'янець Володимир Антонович, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: lukyanets52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

* Адреса для кореспонденції: dandik86@gmail.com

Лівобережного Лісостепу) (Lialin, 2014; 2016; Gupal, 2016; Reho *et al.*, 2022). Водночас відомості щодо особливостей росту таких рослин на лісокультурній площі є фрагментарними (Lialin, 2015, Gupal, 2016) та обмежені лише одним роком вирощування культур. Тому дослідження подальшого їхнього росту та збережуваності у складі п'ятирічних лісових культур є надзвичайно актуальними.

Мета досліджень – оцінити показники збережуваності та росту культур дуба звичайного віком п'ять років, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними на різних за складом субстратах, та сіянцями із відкритою кореневою системою (ВКС).

Матеріали й методи. Дослідження проводили на стаціонарному дослідному об'єкті, закладеному науковцями лабораторії лісових культур та агролісомеліорації (нині – відділ лісовідновлення та захисного лісорозведення) УкрНДЛГА ім. Г. М. Висоцького, у Південному лісництві (кв. 77, вид. 1.1) ДП «Харківська ЛНДС» в умовах свіжої кленово-липової діброви. Культурі створено в липні 2016 р. сіянцями із ЗКС, вирощеними на різних за складом субстратах (Gupal, 2016). Субстратами були суміші середньосуглинкового ґрунту, торфу та свіжої тирси в різних співвідношеннях.

Сіянці вирощували в контейнерах із агроволокна об'ємом 1 407 см³ на відкритій площі з поливом. На момент створення дослідних лісових культур вік сіянців становив майже 4 місяці. Дослідні культури закладено шістьма рядами, кожен з яких був окремим варіантом досліді, створеного сіянцями із ЗКС, вирощеними на різних за складом субстратах. Перед садінням сіянці оброблювали антитранспірантами для посилення їхньої стійкості до посухи.

Категорія лісокультурної площі – свіжий зруб, утворений після проведення чергового прийому лісовідновної рубки смугово-поступовим способом ослабленого стиглого порослевого дубового деревостану. Спосіб обробітку ґрунту – частковий (нарізання борозен плугом комбінованим лісовим (ПКЛ-70) на базі трактора МТЗ-82). Сіянці садили під мотобур (вручну). Схема розміщення садивних місць – 4,0 × 1,0 м (початкова густина – 2 500 шт.·га⁻¹).

У перший, другий і третій роки вирощування культур було проведено по два ручні догляди шляхом прополювання сапкою в рядах і по одному механізованому догляду – шляхом видалення у міжряддях порослі чагарників і другорядних деревних видів ручним кушорізом Stihl, на четвертий та п'ятий роки – по одному ручному та механізованому догляду.

Залежно від варіанту було висаджено від 87 (у варіанті «Ґрунт + тирса (2 : 1)») до 114 сіянців (у варіанті «Ґрунт»).

Приживлюваність, збережуваність і показники росту дослідних культур дуба звичайного порівнювали з відповідними показниками культур дуба, створених сіянцями із ВКС, (кв. 77, вид. 1.2) у середині жовтня 2016 р. На момент садіння вік сіянців становив 6 місяців. Схема розміщення садивних місць – 4,0 × 0,7 м (початкова густина – 3 571 шт.·га⁻¹).

Показники росту (висоту, приріст за висотою та діаметр) і збережуваність дуба в дослідних п'ятирічних культурах вивчали восени 2021 р. Висоту та приріст за висотою (за останній рік) рослин вимірювали дерев'яною рейкою, діаметр – електронним штангенциркулем. Збережуваність визначали як частку життєздатних рослин на момент їх обліку від висаджених на момент створення культур, виражену у відсотках. Відпад оцінювали за останні чотири роки як відношення кількості рослин, що збереглися у п'ятирічних культурах, до кількості рослин в однорічних культурах, виражене у відсотках. Проведено обміри всіх збережених дубків за варіантами культур, створених сіянцями із ЗКС і ВКС.

Обчислення й аналіз даних обмірів та обліків дослідних культур проведено з використанням методів варіаційної статистики за допомогою пакету програм MS Excel. Достовірність різниці між контролем і дослідними варіантами оцінювали на 5 %-му рівні значущості (Larash *et al.*, 2001)

Результати. Результати проведених досліджень свідчать, що склад субстрату суттєво вплинув на біометричні показники вирощених однорічних сіянців дуба звичайного із ЗКС. Серед дослідних варіантів найбільшими висотою (17,9 см) та діаметром кореневої шийки (3,6 мм) характеризувалися сіянці у варіанті «Ґрунт + торф (2 : 1)». Найменшою висотою

(14,1 см) характеризувалися сіянці у варіанті «Ґрунт + тирса (2 : 1)», а найменшим діаметром кореневої шийки (3,0 мм) – сіянці у варіантах «Ґрунт» і «Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)» (табл. 1).

Таблиця 1

Біометричні показники сіянців дуба звичайного, вирощених у контейнерах з агроволокна на різних субстратах

Table 1

Biometric characteristics of English oak seedlings grown in agrofibre containers on different substrates

Дослідний варіант (співвідношення компонентів субстрату) Experimental variant (substrate components ratio)	Висота Height			Діаметр кореневої шийки Root collar diameter		
	$M \pm m$, cm	t_f	% до контролю % to control	$M \pm m$, mm	t_f	% до контролю % to control
«ВКС» (контроль)	15,2 ± 0,33	–	100	3,3 ± 0,09	–	100
«Ґрунт»	14,3 ± 0,32	1,96	94	3,0 ± 0,10	2,23	91
«Ґрунт + торф» (2 : 1)	17,9 ± 0,41	5,13	118	3,6 ± 0,06	2,77	109
«Ґрунт + торф» (3 : 1)	16,7 ± 0,38	2,98	110	3,2 ± 0,07	0,88	97
«Ґрунт + торф + тирса» (1 : 1 : 1)	15,1 ± 0,37	0,20	99	3,0 ± 0,07	2,63	91
«Ґрунт + тирса» (2 : 1)	14,1 ± 0,39	2,15	93	3,1 ± 0,07	1,75	94
«Ґрунт + тирса» (3 : 1)	14,7 ± 0,37	1,01	97	3,1 ± 0,08	1,66	94

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$); «ВКС» – сіянці із відкритою кореневою системою, вирощені в теплиці.

Note. $M \pm m$ is the mean value of indicators and its standard error; t_f is actual value of Student's t -test ($t_{0,05} = 2.01$); «ВКС» is bare-root seedlings grown in a greenhouse.

За висотою сіянці у варіантах «Ґрунт + торф (2 : 1)» і «Ґрунт + торф (3 : 1)» значуще при $p = 0,05$ перевершували контроль (сіянці із ВКС). Натомість сіянці у варіанті «Ґрунт + тирса (2 : 1)» за висотою значуще поступалися контролю, а у варіантах «Ґрунт», «Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)» і «Ґрунт + тирса (3 : 1)» – різниці були незначущими.

За діаметром кореневої шийки сіянці лише у варіанті «Ґрунт + торф (2 : 1)» значуще при $p = 0,05$ перевершували контроль. Натомість сіянці у варіанті «Ґрунт», «Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)» за діаметром кореневої шийки значуще поступалися контролю, а у варіантах «Ґрунт + торф (3 : 1)», «Ґрунт + тирса (2 : 1)» і «Ґрунт + тирса (3 : 1)» – різниці були незначущими (див. табл. 1).

За результатами проведених обстежень та обліків визначено доволі високу збережаність дуба звичайного (у межах 83–89 %) у дослідних культурах п'ятирічного віку, створених сіянцями із ЗКС. Найбільшу збережаність дуба відзначено у варіанті «Ґрунт + торф (3 : 1)», а найменшу – у варіанті «Ґрунт + тирса (2 : 1)». На контролі цей показник становив 78 % (рис. 1).

У порівнянні з приживлюваністю дуба у перший рік створення лісових культур їхня збереженість у п'ятирічному віці за варіантами знизилася на 6–11 %. Найбільший відпад відзначено у варіантах «Ґрунт + торф (2 : 1)» та «Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)» – 11 та 10 % відповідно. У варіантах «Ґрунт + тирса (2 : 1)» та «Ґрунт + тирса (3 : 1)» відпад становив 8 %, а найменші значення цього показника відзначено у варіантах «Ґрунт» та «Ґрунт + торф (3 : 1)» – 6 %. На контролі відпад становив 7 %.

Результати проведених досліджень свідчать, що дуб у всіх дослідних варіантах культур, створених сіянцями із ЗКС, за показниками росту (висотою, приростом у висоту та діаметром) перевершував контроль. Так, різниця за висотою становила 13–32 %, за діаметром – 18–53 % та приростом у висоту – 7–33 % (табл. 2).

Найвищими показниками росту у віці 5 років відзначався дуб із ЗКС у варіанті «Ґрунт + торф (3 : 1)», а найнижчими – у варіанті «Ґрунт + тирса (2 : 1)».

Значуще при $p = 0,05$ дуб у варіантах «Ґрунт + торф (2 : 1)», «Ґрунт + торф (3 : 1)» і «Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)» за висотою, приростом у висоту та діаметром перевершував

контрольний варіант. У варіантах «Ґрунт + тирса (2 : 1)» і «Ґрунт + тирса (3 : 1)» різниці за всіма показниками росту виявилися незначущими (див. табл. 2).

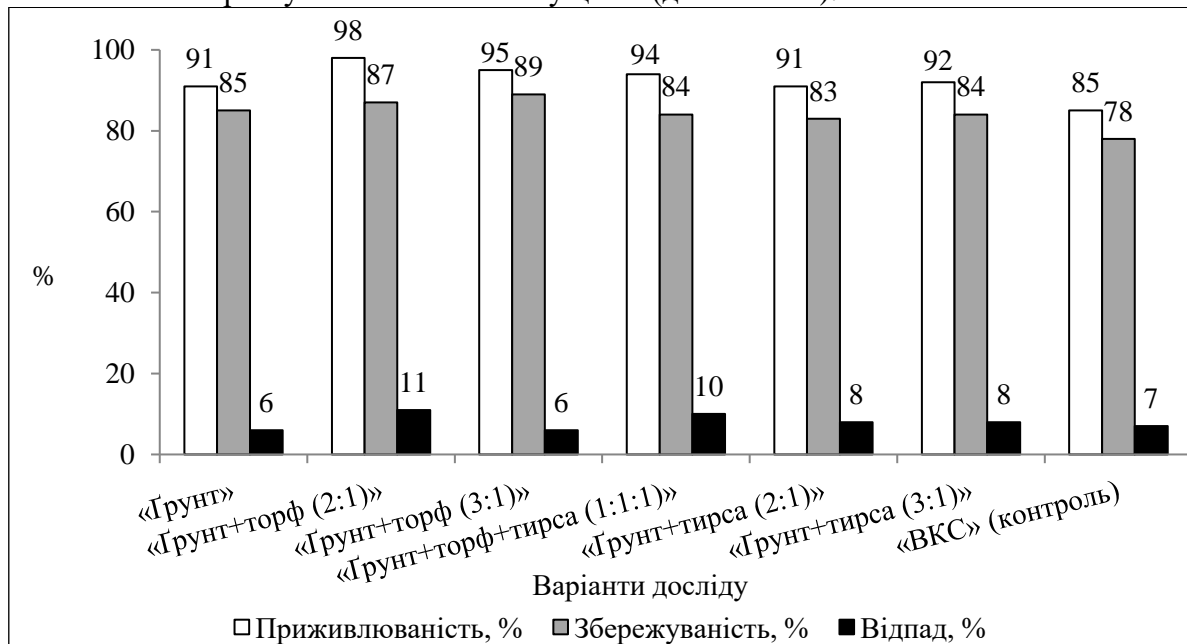


Рис. 1 – Приживлюваність (за Gural (2016)), збережуваність і відпад дуба звичайного в п'ятирічних культурах, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними на різних субстратах, та сіянцями із ВКС
Fig. 1 –Survivability, preservation and mortality of English oak in five-year-old plantations established with containerised seedlings grown on different substrates, and bare-root seedlings

Таблиця 2

Показники росту дуба звичайного в п'ятирічних культурах, створених сіянцями із ЗКС і ВКС

Table 2

Growth parameters of English oak in five-year-old plantations established with containerised and bare-root seedlings

Дослідний варіант Experimental variant	Висота Height			Діаметр Diameter			Приріст за висотою за останній рік Height increment for the last year		
	$M + m, m$	t_f	% до контролю % to control	$M + m, cm$	t_f	% до контролю % to control	$M + m, cm$	t_f	% до контролю % to control
«ВКС» (контроль)	1,26 ± 0,09	–	100	1,7 ± 0,12	–	100	25,9 ± 0,95	–	100
«Ґрунт»	1,45 ± 0,05	1,85	115	2,1 ± 0,06	2,98	124	28,1 ± 0,86	1,72	108
«Ґрунт + торф (2 : 1)»	1,61 ± 0,05	3,40	128	2,5 ± 0,08	5,55	147	33,9 ± 1,17	5,31	131
«Ґрунт + торф (3 : 1)»	1,66 ± 0,06	3,70	132	2,6 ± 0,07	6,48	153	34,4 ± 1,03	6,07	133
«Ґрунт + торф + тирса (1 : 1 : 1)»	1,49 ± 0,05	2,23	118	2,2 ± 0,06	3,73	129	29,1 ± 1,24	2,05	112
«Ґрунт + тирса (2 : 1)»	1,43 ± 0,06	1,57	113	2,0 ± 0,09	1,99	118	27,6 ± 0,98	1,25	107
«Ґрунт + тирса (3 : 1)»	1,47 ± 0,06	1,94	117	2,0 ± 0,11	1,84	118	28,4 ± 0,85	1,96	110

Примітка. $M + m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$); «ВКС» – лісові культури, створені сіянцями із відкритою кореневою системою.

Note: $M + m$ is mean value of indicators and its standard error; t_f is actual value of Student's t -test ($t_{0,05} = 2.01$); «ВКС» is forest plantations established with bare-root seedlings.

Не виявлено значущої різниці між ростовими показниками дуба у варіантах «Ґрунт + торф (2 : 1)» і «Ґрунт + торф (3 : 1)», а також «Ґрунт + тирса (3 : 1)» і «Ґрунт + тирса (2 : 1)».

Натомість виявлено значущу різницю за висотою, приростом у висоту й діаметром дуба між варіантами «Ґрунт + торф (2 : 1)» і «Ґрунт + тирса (2 : 1)», а також між варіантами «Ґрунт + торф (3 : 1)» і «Ґрунт + тирса (3 : 1)».

Величина відпаду рослин не виходила за межі природного рівня. Відповідно до Інструкції з проєктування, технічного приймання, обліку та оцінювання якості лісокультурних об'єктів нормативна приживлюваність лісових культур для Харківської області становить 76 % для одно- та дворічних культур і 73 % для трирічних культур (*About approval of the Instruction on design*, 2010). Зазначено, що збережуваність дуба із ЗКС у п'ятирічних культурах перевищує нормативну приживлюваність трирічних культур на 10–13 %. За висотою дослідні культури оцінено 2-м класом якості за нормативними показниками семирічних культур у відповідних лісорослинних умовах (D₂). Кращі характеристики лісових культур дуба є результатом використання садивного матеріалу із ЗКС (рис. 2). Лісові культури дуба, створені сіянцями із ВКС, у п'ятирічному віці не відповідали навіть 3-му класу якості за висотою (*About approval of the Instruction on design*, 2010).



Рис. 2 – Дуб звичайний у п'ятирічних культурах, створених сіянцями із закритою кореневою системою, у ДП «Харківська ЛНДС» (ліворуч – варіант «Ґрунт + торф (3 : 1)», праворуч – варіант «Ґрунт + торф (2 : 1)»)
Fig. 2 – English oak in five-year-old plantations, established with containerised seedlings, in Kharkiv Forest Research Station (left: Soil + peat (3 : 1) variant, right: Soil + peat (2 : 1) variant)

За густотою через розміщення садивних місць (4,0 × 1,0 м, або кількість садивних місць – 2 500 шт.·га⁻¹) культури за нормативами не належать навіть до 3 класу якості, в якому густота дуба в семирічних культурах має бути 2,6 тис. шт.·га⁻¹. Густота ж дослідних культур, створених сіянцями із ЗКС, у варіантах становить від 2 100 до 2 225 шт.·га⁻¹, а із ВКС – 2 785 шт.·га⁻¹. Однак за іншими характеристиками (*About approval of the Instruction on design*, 2010) вони відповідають нормативу переведення ділянок у вкриті лісовою рослинністю землі за 2-м класом якості, тобто можливе їхнє переведення на 2 роки раніше визначеного нормативу за віком для умов свіжих і вологих дібров лісостепової зони України. Тому актуальним питанням лісокультурного виробництва нині є внесення змін до Інструкції з проєктування, технічного приймання, обліку та оцінювання якості лісокультурних об'єктів у частині показників нормативної приживлюваності, а також показників якості культур,

створених садивним матеріалом із ЗКС, для переведення ділянок у вкриті лісовою рослинністю землі, зокрема густоти дуба.

Обговорення. У перший рік вирощування культур показники приживлюваності були доволі високими – в межах 91–98 % залежно від варіанту. Найменше значення показника приживлюваності відзначено у варіантах «Ґрунт» і «Ґрунт + тирса (2 : 1)», а найбільше – у варіанті «Ґрунт + торф (2 : 1)». За даними однофакторного дисперсійного аналізу виявлено, що субстрат, в якому вирощували садивний матеріал, мав значущий вплив на приживлюваність лісових культур. Сила впливу субстрату на приживлюваність становила 16 % (Gural, 2016).

За результатами проведених обстежень та обліків лісових культур, створених різним садивним матеріалом, визначено, що культури, створені сіянцями із ВКС, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із ЗКС, характеризувалися нижчими приживлюваністю (85 % проти 91–98 %) та збережуваністю (78 % проти 83–89 %). Доволі висока приживлюваність культур, створених сіянцями із ЗКС, може бути пов'язана з передсадивним обробітком сіянців антитранспірантами та тим, що під час садіння їхня коренева система не травмувалася.

Загалом про доволі високу приживлюваність культур дуба, створених сіянцями із ЗКС, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями з ВКС, свідчать результати досліджень інших науковців (Lialin, 2014; Tovstukha *et al.*, 2017). Зокрема, О. І. Ляліним (Lialin, 2014) відзначено, що приживлюваність (збережуваність) дуба в культурах віком 1–4 роки, створених сіянцями із ЗКС, була на 14–20 % вищою проти культур, створених сіянцями з ВКС. У віці культур 5–9 років за даними О. В. Товстухи зі співавторами (Tovstukha *et al.*, 2017) збережуваність дуба із ЗКС, порівнюючи із культурами, створеними сіянцями з ВКС, була вищою на 17–20 %. Також про вищу збережуваність п'ятирічних лісових культур дуба, створених сіянцями із ЗКС у порівнянні з ВКС (87 % проти 79 %) свідчать і результати попередніх досліджень (Rumiantsev *et al.*, 2023).

Склад субстрату суттєво вплинув на біометричні показники однорічних сіянців, як було визначено раніше (Gural, 2016). Найвищими висотою та діаметром кореневої шийки характеризувалися сіянці у варіантах субстрату, що містив у складі ґрунт і торф у співвідношенні за об'ємом 3 : 1 і 2 : 1. Подібні результати в регіоні досліджень були отримані О. І. Ляліним (Lialin, 2016) та М. З. Реґо зі співавторами (Reho *et al.*, 2022).

Вищі показники росту дуба зареєстровано у варіантах п'ятирічних культур, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними на субстратах, що містили у складі ґрунт і торф у співвідношенні за об'ємом 3 : 1 і 2 : 1. Це певною мірою пов'язано з дещо вищими біометричними показниками висаджених сіянців, як порівняти з іншими варіантами, а також кращою енергією росту сіянців після пересаджування на лісокультурну площу в перший рік вирощування культур, поки коренева система ще перебувала в межах контейнеру. Згідно з проведеними дослідженнями визначено, що склад субстрату на основі середньосуглинкового ґрунту й торфу у співвідношенні за об'ємом 3 : 1 і 2 : 1 є оптимальним для вирощування сіянців дуба із ЗКС (у контейнерах із агроволокна) в регіоні досліджень (Харківська область).

Висновки. Склад субстрату, на якому вирощували сіянці дуба із закритою кореневою системою, суттєво вплинув на їхні біометричні показники. Найвищими висотою й діаметром кореневої шийки характеризувалися сіянці дуба, вирощені на субстраті, що містив у складі середньосуглинковий ґрунт і торф у співвідношенні за об'ємом 3 : 1 і 2 : 1. Саме такий склад субстрату доцільно використовувати для вирощування сіянців дуба звичайного в контейнерах із агроволокна у ДП «Харківська ЛНДС».

Культури дуба звичайного, створені сіянцями із закритою кореневою системою, відзначалися також вищими приживлюваністю (91–98 % проти 85 %), збережуваністю (83–89 % проти 78 %) та ростовими показниками, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із відкритою кореневою системою. Так, перевищення за висотою становило до 32 %,

за діаметром – до 53 %, приростом у висоту – до 33 %. Найвищими показниками росту у віці 5 років відзначався дуб у варіанті «Грунт + торф (3 : 1)», а найнижчими – у варіанті «Грунт + тирса (2 : 1)».

Результати досліджень доцільно в майбутньому використати для внесення відповідних змін до Інструкції з проєктування, технічного приймання, обліку та оцінювання якості лісокультурних об'єктів у частині показників нормативної приживлюваності, а також показників якості культур, створених сіянцями із закритою кореневою системою, під час переведення їх у вкриті лісовою рослинністю землі, зокрема густоти дуба.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання тем досліджень УкрНДЛГА (тема № 11 – «Дослідити ріст і розвиток лісових культур, створених садивним матеріалом із закритою кореневою системою, та розробити рекомендації щодо удосконалення технології їх створення», № держреєстрації 0120U101897), замовником якої є Державне агентство лісових ресурсів України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- About approval of the Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of forestry objects.* (2010). Approved by the order of the State Forest Management Committee of Ukraine dated 19 August 2010. No 260. Kyiv: State Forestry Committee (in Ukrainian).
- Danylenko, O.M., Rumiantsev, M.H., Tarnopil'skyi, P.B., Yushchuk, V.S. and Mostepaniuk, A.A. (2023) 'Features of the growth of planted young oak stands established with containerized seedlings in Kharkiv Forest Research Station', *Forestry and Forest Melioration*, 142, pp. 79–88 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.79>
- Gupal, V.V. (2016) 'Growing of containerized oak seedlings using substrates of different composition', *Forestry and Forest Melioration*, 128, pp. 100–103 (in Ukrainian).
- Lapach, S.N., Chubenco, A.V. and Babych, P.N. (2001) *Statistical methods in biomedical research using Excel*. Kyiv: Morion (in Russian).
- Lialin, O.I. (2014) 'The survival and preservation ability of saplings in the forest plantations of English oak', *Scientific Bulletin of NULES of Ukraine*, 198, pp. 98–102 (in Ukrainian).
- Lialin, O.I. (2015) 'The research of the growth of one year old oak seedlings grown in containers with different substrate composition', *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(2), pp. 69–74 (in Ukrainian).
- Lialin, O.I. (2016) 'Growth and weight annuals oak seedlings grown in containers with different composition of substrates', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(1), pp. 145–151 (in Ukrainian).
- Reho, M., Vilček, J., Torma, S., Koco, Š., Lisnyak, A. and Klamár, R. (2022) 'Growing of the containerized seedlings of English oak (*Quercus robur* L.) to establish sustainable plantations in Forest-Steppe Ukraine', *Forests*, 13(9), pp. 1359. <https://doi.org/10.3390/f13091359>
- Rumiantsev, M.H., Danylenko, O.M., Tarnopil'skyi, P.B., Yushchuk, V.S. and Mostepaniuk, A.A. (2023) 'Some features of the growth of English oak in experimental plantations planted in different dates in Kharkiv Forest Research Station with the containerized seedlings fertilized with different types of fertilizers', *Forestry and Forest Melioration*, 143, pp. 85–93. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.143.2023.85> (in Ukrainian).
- Tovstukha, O.V., Ignatenko, V.A., Tarnopil'skyi, P.B. and Sotnikova, A.V. (2017) 'Experience of renewal of oak forests of Sumy region using various plating material of English oak (*Quercus robur* L.)', *Bulletin of Sumy National Agrarian University. The series: Agronomy and Biology*, 9(34), pp. 92–101 (in Ukrainian).
- Yavorovskiy, P.P. and Segeda, Yu.Yu. (2016) 'The future use of container planting-stock of English oak (*Quercus robur* L.) for the creation of forest plantations', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(3), pp. 222–226 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260336>

FEATURES OF THE GROWTH OF ENGLISH OAK FOREST PLANTATIONS ESTABLISHED WITH DIFFERENT PLANTING MATERIALS IN KHARKIV FOREST RESEARCH STATION

Danylenko O. M.^{1*}, Rumiantsev M. H.², Tarnopil'skyi P. B.³, Lukianets V. A.⁴

The growth indicators of five-year-old English oak (*Quercus robur* L.) plantations established with containerised seedlings grown on different substrates in agrofibre containers and bare-root seedlings are presented. It was found that the composition of the container substrate significantly affected the biometric parameters. Seedlings in Soil + peat (2 : 1) variant had the highest height and diameter of the root collar. The plantations established with containerised seedlings also had higher survivability (91–98% vs. 85%) and preservation (83–89 vs. 78%) compared to plantations established with bare-root seedlings. It was found that oak plants in five-year-old plantations established with containerised seedlings had higher height (up to 32%), diameter (up to 53%) and height increment (up to 33%) compared to those in plantations established with bare-root seedlings.

Key words: *Quercus robur* L., agrofibre container, substrate, peat, survivability.

Одержано редколегією 23.07.2024

¹ Danylenko Oleh, State Enterprise “Kharkiv Forest Research Station”, Cherkaska Lozova, 62300, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: dandik86@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-7817-4299>

² Rumiantsev Maksym, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: maxrum-89@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2245-2441>

³ Tarnopil'skyi Petro, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: tarnopil'skyi@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8547-4843>

⁴ Lukianets Volodymyr, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: lukyanets52@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3427-4240>

* Correspondence: dandik86@gmail.com



РІЗНОМАНІТТЯ ТРАВ'ЯНОЇ РОСЛИННОСТІ ПОЛЕЗАХИСНИХ ЛІСОВИХ СМУГ, ТРАНСФОРМОВАНИХ У НАСАДЖЕННЯ ОРНО-ПОЛЬОВОГО АГРОЛІСІВНИЦТВА, У ПРАВОБЕРЕЖНОМУ ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

О. М. Тупчій^{1*}

Під час трансформації полезахисних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва відбуваються суцесійні зміни фіторізноманіття, прояв яких є найпомітнішим у структурі живого надгрунтового покриву. Видове фіторізноманіття трав'яного ярусу оцінювали за допомогою індексів різноманіття, вирівняності та домінантності. Відзначено, що в лісових смугах непродувної конструкції проєктивне покриття зменшується, змінюється видовий склад – зникають світлолюбні лучні й степові види. Виявлено домінування сільвантів і рудерантів у ценотичній структурі трав'яного покриву як у класичних, так і в трансформованих лісових смугах. Водночас у класичних полезахисних насадженнях частка сільвантів (39,0–49,4 %) перевершує частку рудерантів (20,3–42,0 %), а у трансформованих смугах чітко виявляється переважання рудеральної рослинності (22,1–41,3 %) над лісовою (17,3–31,7 %). Це є наслідком більшого освітлення вузьких лісових смуг, видування лісової підстилки, порушення лісового середовища й формування ажурної та продувної конструкції. Таким чином, унаслідок трансформації лісових смуг інтенсифікуються суцесійні зміни трав'яного покриву з трендом до десильватизації та зменшення видового багатства, що посилює процеси синантропізації з появою й пристосуванням рудеральної та лучної рослинності.

Ключові слова: десильватизація, проєктивне покриття, синантропізація, трав'яний ярус, ценотична структура.

Вступ. Для захисту сільськогосподарських угідь від дефляції аграрії зарубіжжя починаючи з 80-х років минулого століття широко використовують інноваційний спосіб господарювання – агролісівництво (Nair, 1985; Mosquera-Losada *et al.*, 2012; Nair and Garrity, 2012). На відміну від традиційного землеробства агролісівничі системи розвивають так зване змішане землеробство, у якому значну роль відіграє деревна рослинність, що в результаті надає економічні вигоди, сприяє диверсифікації виробництва, поліпшенню стану навколишнього середовища та виконанню різноманітних соціальних та екосистемних послуг (Hladun and Hladun, 2013). Під час вирощування сільськогосподарських культур у світі застосовують системи орно-польового (silvo-arable) та полезахисного (windbreaks) агролісівництва, які певною мірою відповідають вітчизняному полезахисному лісорозведенню, але не тотожні.

Орно-польове агролісівництво передбачає вирощування агрокультур у широких міжряддях алейних одно- та дворядних посадок швидкорослих, фруктових та інших технічно цінних видів дерев. Зазвичай ширина міжрядь становить від 15 до 120 м. І хоча такі насадження не мають всіх елементів лісової екосистеми (через відсутність нижніх ярусів деревної рослинності та лісової підстилки), вони здійснюють ефективний меліоративний вплив на агроландшафт, додатково надають екосистемні послуги, а також є джерелом деревини й продукції побічного користування.

Більше ніж половину агролісомеліоративного фонду України становлять лісові смуги з переважанням дуба звичайного (*Quercus robur* L.), які створювали переважно у 50–60-ті роки минулого століття, тобто нині ці насадження перебувають у віці стиглості (Hladun *et al.*, 2019, Sydorenko *et al.*, 2019). Із віком дерева стають уразливішими до патогенів та стовбурових шкідників, стан насаджень погіршується, а за відсутності лісівничого догляду відбувається захаращення та розростання узлісь на поля, що призводить до збільшення ширини лісових смуг. Такі смуги набувають непродувної конструкції, що призводить до погіршення

¹ Тупчій Ольга Миколаївна, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. Аспірант НУБіП України. Науковий керівник – доктор сільськогосподарських наук, професор В. Ю. Юхновський. E-mail: olgatypnikola@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0545-1877>

* Адреса для кореспонденції: olgatypnikola@ukr.net

аеродинамічних властивостей насаджень у зв'язку зі збільшенням турбулентності у присмуговій зоні та, як наслідок, зі втратою меліоративної ефективності.

У наявних, або так званих класичних лісових смугах потрібні значні витрати на лісівничі догляди та формування продувної конструкції цих насаджень. Ефективного вітрорегулювання та оптимального снігорозподілу, а також поліпшення захисних властивостей лісових смуг досягають зменшенням їхньої ширини шляхом розчищення узлісних рядів, а в деяких випадках – їхнім повним видаленням, і, таким чином, переведенням до насаджень орно-польового агролісівництва. Більше того, вивільняється площа для агровиробництва та стає можливим ефективне використання присмугових зон. Ідею створення одно- або дворядних лісових смуг із їхнім розміщенням через 100–200 м, що компенсує захист полів широкими смугами, висували вітчизняні агролісомеліоратори ще у 90-х роках минулого століття (Нладун *et al.*, 2019). Нині актуальність цього питання збільшується, оскільки в умовах фермерського господарювання створення нових лісових смуг є проблематичним, а догляд за широкими полезахисними насадженнями для фермерів ускладнює законодавча невизначеність прав власності на них. Тому одним зі шляхів розв'язання цієї проблеми є трансформація наявних лісових смуг у насадження орно-польового агролісівництва.

Таку трансформацію можна здійснювати реконструктивними рубками або рубками догляду (Yukhnovsky and Yosurenko, 2012). Також існують численні приклади зменшення ширини лісових смуг під впливом сільськогосподарських палів узлісних рядів, природного відмирання дерев, а також унаслідок розширення дорожнього полотна та створення дворядних лінійних насаджень. У трансформованих лісових смугах відбуваються зміни конструкції, компонентів і параметрів. Найбільш визначними вони є в живому надґрунтовому покриві (ЖНП).

Лісові фітоценози, порівнюючи з іншими рослинними угрупованнями, мають складну багатоярусну структуру. Хоча наявність основного компонента лісу, яким є деревостан, характеризує тип лісу та флористичне багатство з найбільшою кількістю функціональних взаємодій, проте фіторізноманіття тісно пов'язане з ЖНП. До нього належить «сукупність мохів, лишайників, трав'яних рослин і напівчагарничків, що вкривають ґрунт під наметом лісу» (Hensiruk, 1999).

Полезахисні лісові смуги є штучно створеними фітоценозами, які відзначаються рівномірністю просторового розміщення деревно-чагарникових рослин на відміну від природних лісостанів. У вертикальній структурі в лісових смугах виділяють такі основні яруси: верхній деревний, підлісковий (чагарники й низькорослі деревні види), трав'яний і приземний ярус, сформований мохами й лишайниками (Lobchenko, 2014, Kovalenko, 2015).

Мета дослідження – оцінити зміни видового й кількісного складу, а також поширеності трав'яного фіторізноманіття в полезахисних лісових смугах, створених за інструктивними вказівками та трансформованих у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва.

Матеріали й методи. Дослідження здійснювали в північній частині Правобережного Лісостепу в агролісомеліоративному фонді державного підприємства «Спеціалізоване лісогосподарське підприємство «Київоблагроліс», загальна площа якого становить 36 663 га.

Пробні площі (ПП) закладали впродовж 2023–2024 рр. на території Білоцерківського, Фастівського та Обухівського районів Київської області за загальноприйнятими в лісовій таксації і лісівництві методами (*Forest inventory sample plots*, 2007). Проективне покриття – показник, який визначає відносну площу проєкції окремих видів рослин на поверхню ґрунту і є одним із основних показників рясності у фітоценології (Porovych *et al.*, 2017; Yakubenko *et al.*, 2019). Проективне покриття ЖНП під наметом лісових смуг оцінювали з використанням нерівно дистанційної шкали з логарифмічно збільшуваними інтервалами, згідно з якою певному ступеню покриття надано відповідний бал (Mirkin *et al.*, 1989). Отже, за цією шкалою проєктивне покриття відсутнє – 0 балів (до 1 %), дуже слабке – 1 бал (до 5 %), слабке –

2 бали (5–15 %), середнє – 3 бали (15–25 %), високе – 4 бали (25–50 %), дуже високе – 5 балів (50–100 %).

ЖНП оцінювали за видовим складом і ступенем проєктивного покриття для кожної ПП на облікових площадках розміром $1 \times 1 \text{ м}^2$ у 10-разовій повторюваності. Одержані дані опрацьовували статистичними методами з обчисленням середнього значення та його похибки (Paianok and Zadorozhnia, 2020).

Видове фіторізноманіття ЖНП оцінювали за допомогою низки показників, так званих індексів, а саме індексу видового різноманіття Шеннона, індексу вирівняності Пієлу, індексу різноманіття Сімпсона (Prydatko *et al.*, 2008; Grod and Shevchyk, 2022).

Провідним показником взято індекс Шеннона, який дає змогу оцінити різноманіття випадкових вибірок і є найбільш прийнятним для дослідження структури угруповань. Індекс Шеннона (I_{SH}) розраховували за формулою (1):

$$I_{SH} = -\sum_{i=1}^n p_i \cdot \ln p_i, \quad (1)$$

де p_i – частка кожного i -го виду у вибірці (за проєктивним покриттям);

n – кількість зафіксованих видів у фітоценозі.

Видове фіторізноманіття за індексом Шеннона оцінюють за такими критеріями (Soroka, 2012): низька видова фіторізноманітність – $I_{SH} < 1,8$; достатньо висока видова фіторізноманітність – $1,8 \leq I_{SH} \leq 2,0$; дуже висока видова фіторізноманітність характерна для стійких природних фітоценозів, – $I_{SH} > 2,0$.

Суттєвою перевагою застосування індексу Шеннона є його незалежність від площі ПП. Водночас одночасна залежність цього індексу від чинників багатства фіторізноманіття та його рівномірності розподілу визначає переваги (комплексність) та недоліки, які полягають у неможливості оцінювання за значенням переважання одного з чинників фіторізноманіття, що ускладнює застосування індексу Шеннона. У цьому сенсі для визначення впливу кількості видів рослин Пієлу запропонував використання так званого індексу вирівняності угруповань (I_{II}), який розраховують за формулою (2). Індекс вирівняності Пієлу є по суті нормуванням індексу Шеннона між 0 та 1:

$$I_{II} = \frac{I_{SH}}{\log_2(1/S)}, \quad (2)$$

де I_{SH} – індекс Шеннона;

S – кількість видів, що характеризує видове багатство.

Кількісну характеристику співвідношення між чисельністю різних видів надає індекс домінування Сімпсона, який розраховують за формулою (3):

$$I_c = \sum (p_i / N)^2, \quad (3)$$

де p_i – чисельність особин кожного з видів;

N – сумарна чисельність особин усіх аналізованих видів.

Ценотичну структуру живого надґрунтового покриву визначали з використанням системи життєвих форм (екоморф), яка охоплює такі групи: лісові види – сільванти (Sil); степові види – степанти (St); лучні види – пратанти (Pr); бур'яни – рудеранти (Ru) (Hryhora and Solomakha, 2000).

У кожному досліджуваному лінійному насадженні картографували горизонтальну проєкцію крон деревостану. За отриманими результатами визначали зімкненість деревостану як відношення суми площ проєкцій крон до площі досліджуваної ділянки. Ажурність

поздовжньо-вертикального профілю полезахисних насаджень оцінювали фотометричним методом у нижній частині (між стовбурами на висоті до 2 м) і в кронах. На основі фотоматеріалів за часткою просвітів профілю визначали тип конструкції лісових смуг (Yukhnovskiy *et al.*, 2024).

Результати. Результати лісомеліоративних, таксаційних, фітоценологічних досліджень наведено в характеристиці пробних площ (табл. 1). Всі досліджені полезахисні лісові смуги ростуть на сірих лісових ґрунтах суглинистого механічного складу. Тип лісорослинних умов – свіжа діброва (D₂), тип лісу – свіжа грабова діброва (D₂-гД).

Таблиця 1

Лісомеліоративні показники полезахисних лісових смуг на пробних площах

Table 1

Forest melioration indicators of field shelterbelts in the sample plots (SP)

Номер ПП Sample plot number	Координати широта/ довгота Coordinates latitude/ longitude	Склад Composition	Вік, років Age, years	Ширина смуги (м) з урахуванням Shelterbelt width (m) taking into account			Кількість рядів number of rows	Конструкція Design	Відносна повнота Relative density of stocking	Бонітет Pro- ductivity index
				крайні рядів outer rows	закраїн outer rows plus one inter row	про- екцій крон crown projec- tions				
Полезахисні лісові смуги, створені за інструктивними вказівками (<i>Instructions for the design and cultivation of protective forest plantations, 1979</i>) Field shelterbelts being planted according to instructions (<i>Instructions for the design and cultivation of protective forest plantations, 1979</i>)										
1	49.744670; 30.055882	4Дчр 6КЛГ	70	12,5	15,0	25,0	5	Щільна	0,72	I
2	49.766635; 30.051431	10Дз+ Язл+Кля	67	10,0	15,0	24,0	3	Ажурна	0,74	I ^a
3	50.190241; 30.114139	10Дз	73	10,0	15,0	26,0	3	Щільна	0,87	II
Полезахисні лісові смуги, трансформовані в лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва Field shelterbelts transformed into linear plantings of silvoarable agroforestry system										
4	49.777578; 30.062666	8Дз2Язл	63	10,0	12,5	21,0	4	Продувна	0,51	I
5	49.646715; 30.228320	10Дз+Язл+ Брс	62	7,5	10,0	16,0	4	Продувна	0,62	II
6	50.122429; 30.152891	5КЛГ2Т 2Яв1ВБ	55	3,0	6,0	8,4	2	Продувна	0,57	II

Пробна площа № 1 віком 70 років презентована деревостаном, що має склад 4Дчр6КЛГ. Щільну конструкцію лісової смуги забезпечують підріст дуба червоного (*Quercus rubra* L.) та клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), а також підлісок із бузини чорної (*Sambucus nigra* L.), бруслини європейської (*Euonymus europaeus* L.) та свидини білої (*Swida alba* (L.) Opiz.) Густота природного поновлення дуба червоного та клена ясенелистого (*Acer negundo* L.) становить 28–52 і 4–16 шт.·м⁻² відповідно. Загальне проективне покриття ґрунту ЖНП із переважанням тонконога лучного (*Poa pratensis* L.) (35 %) і пирію середнього (*Elytrigia intermedia* (Host) Nevski) (20 %) становить 62 %. Частково трапляються кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), гравілат міський (*Geum urbanum* L.), герань Роберта (*Geranium robertianum* L.), розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* L.), лобода біла (*Chenopodium album* L.), кульбаба лікарська (*Taraxacum officinale* L.), парило звичайне

(*Agrimonia eupatoria* L.), цикорій дикий (*Cichorium intybus* L.), м'яточник чорний (*Ballota nigra* L.) і щитник чоловічий (*Dryopteris filix-mas* (L.) Schott).

Пробну площу № 2 закладено в лісовій смузі ажурної конструкції. Вік – 67 років, склад деревостану – 10Дз+Язл+Кля. Підріст віком 3–15 років і заввишки 1,5–3,0 м презентований головною і супутніми породами в кількості до 300 шт.·га⁻¹. У підліску трапляються бузина чорна (*Sambucus nigra* L.), бруслина європейська (*Euonymus europaeus* L.), черемха звичайна (*Prunus padus* L.). Загальне проєктивне покриття ґрунту живим надґрунтовим покривом становить 79 %. Домінантними видами є кропива дводомна (*Urtica dioica* L.) та тонконіг лучний (*Poa pratensis* L.), які вкривають 22 і 18 % ґрунтового покриву відповідно. Решту рослин становлять пирій середній (*Thinopyrum intermedium* L.), м'яточник чорний (*Ballota nigra* L.), підмаренник чіпкий (*Galium aparine* L.), кропива собача (*Leonurus cardiaca* L.).

Пробну площу № 3 закладено в трирядній гніздовій лісовій смузі Боярської ОТГ зі складом насадження 10Дз. Полезахисна лісова смуга продувної конструкції з шириною між крайніми рядами 10 м, а за проєкціями крон – 26 м. У віці 73 років підріст у насадженні відсутній, а в підліску росте бузина червона (*Sambucus racemosa* L.), слива розлога (*Prunus cerasifera* L.), бузина чорна (*Sambucus nigra* L.) у кількості 5 тис. шт.·га⁻¹. Проєктивне покриття трав'яного покриву становить 81 % із доміантними злаковими рослинами, які становлять 55 %. Серед інших видів трапляються молочай звичайний (*Euphorbia agraria* L.), кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), медунка темна (*Pulmonaria obscura* L.), розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* L.), герань Роберта (*Geranium robertianum* L.).

Деревостан на ПП 4 має склад 8Дз2Ясз (рис. 1). Вік насадження – 63 роки. Проєктна ширина лісової смуги з урахуванням закраїн 15,0 м, а за проєкціями крон – 25,0 м. За період функціонування лісової смуги її ширина між узлісними рядами зменшилася місцями до 6–8 м. Це пов'язане з проведенням рубок і санітарних заходів, загибеллю узлісних дерев від впливу ґрунтообробних знарядь тощо. Густина природного поновлення ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.), клена ясенелистого (*Acer negundo* L.) та дуба звичайного (*Quercus robur* L.) становила 4–6, 6–12 і 0–2 шт.·м⁻² відповідно. У підліску переважає аморфа чагарникова (*Amorpha fruticosa* L.), а бузина чорна (*Sambucus nigra* L.) і бруслина європейська (*Euonymus europaeus* L.) трапляються зрідка.

Загальне проєктивне покриття ґрунту живим надґрунтовим покривом становить 96 %, що є ознакою сильно освітленого деревостану. Загалом лісова смуга відповідає європейським стандартам орно-польового агролісівництва. Домінантним трав'яним видом є тонконіг лучний (25 %). Інші рослини, частка яких становить від 1 до 12 %, презентовані такими видами, як кропива дводомна (*Urtica dioica* L.), гравілат міський (*Geum urbanum* L.), герань Роберта (*Geranium robertianum* L.), пирій середній (*Thinopyrum intermedium* L.), розрив-трава дрібноквіткова (*Impatiens parviflora* L.), чистотіл звичайний (*Chelidonium majus* L.), звіробій звичайний (*Hypericum perforatum* L.), самосил звичайний (*Teucrium chamaedrys* L.), полин звичайний (*Artemisia vulgaris* L.), м'яточник чорний (*Ballota nigra* L.) і підмаренник чіпкий (*Galium aparine* L.).

Пробна площа № 5 характеризує рядову чотирирядну дубову лісову смугу, пройдену рубкою третьої черги, в результаті якої сформовано продувну конструкцію (рис. 2). Насадження 62-річного віку має склад 10Дз+Язл+Брс. У підліску росте бузина чорна, а трав'яна рослинність із проєктивним покриттям 87 % презентована тонконогом лучним (*Poa pratensis* L.), подорожником великим (*Plantago major* L.), буркуном лікарським (*Melilotus officinalis* L.), пирієм звичайним (*Elytrigia repens* L.), кропивою дводомною (*Urtica dioica* L.).

Пробну площу № 6 закладено в рядовій 55-річній лісовій смузі продувної конструкції. Смуга складається з двох рядів і створена за схемою змішування Клг-Яв,Тч,Вб із розміщенням садивних місць 3,0 × 3,0 м. Фактично це – насадження системи орно-польового агролісівництва, оскільки його ширина за проєкціями крон становить 8,4 м. У підрослі трапляються клен гостролистий (*Acer platanoides* L.) і клен явір (*Acer pseudoplatanus* L.) заввишки 0,5–1,0 м у кількості 0,2 тис. шт.·га⁻¹. Підлісок презентований бузиною чорною

у кількості 0,2 тис. шт.·га⁻¹. Лісова підстилка майже відсутня. Її потужність в окремих осередках становить 0,5–1 см. У живому надґрунтовому покриві з проєктним покриттям 54 % домінує тонконіг лучний з осередками пирію звичайного (*Elymus repens* L.) та кропиви дводомної.



Рис. 1 – ПП 4. Смуга продувної конструкції
 Fig. 1 – Sample plot 4. Shelterbelt of dense design



Рис. 2 – ПП 5. Смуга, трансформована в насадження орно-польового агролісівництва
 Fig. 2 – Sample plot 5. Shelterbelt transformed into planting of silvoarable agroforestry

Результати аналізу даних у таблиці 2 доводять, що найбільше видове різноманіття ЖНП виявляється на ПП 4 у лісовій смузі продувної конструкції, трансформованій у лінійне насадження системи орно-польового агролісівництва.

Таблиця 2

Оцінка фіторізноманіття живого надґрунтового покриву

Table 2

Assessment of phytodiversity of living aboveground cover

Номер ПП Sample plot number	Проективне покриття трав'яного покриву, % Projective grass cover, %	Індекс Шеннона Shannon's index	Індекс Симпсона Simpson's index	Індекс Пієлу Pielu's index
	$X \pm m_x$	$X \pm m_x$	$X \pm m_x$	$X \pm m_x$
1	62 ± 3,2	1,70 ± 0,362	0,12 ± 0,017	0,47 ± 0,054
2	96 ± 5,8	1,62 ± 0,414	0,14 ± 0,012	0,53 ± 0,062
3	79 ± 4,8	1,36 ± 0,296	0,36 ± 0,034	0,50 ± 0,055
4	81 ± 5,0	2,55 ± 0,561	0,09 ± 0,021	0,62 ± 0,071
5	87 ± 6,3	2,29 ± 0,220	0,50 ± 0,012	0,65 ± 0,069
6	54 ± 29	0,79 ± 0,147	0,27 ± 0,034	0,50 ± 0,048

Про це свідчить індекс Шеннона, значення якого становить 2,55. Підтвердженням того, що зі зменшенням ширини лісової смуги і набуттям продувної конструкції видове різноманіття ЖНП збільшується, є також високий індекс Шеннона на ПП 5, який становить 2,29. Про це свідчить також високе значення проєктивного покриття ЖНП, яке на ПП 4 і 5 становить 81 і 87 % відповідно. У лісових смугах алейного типу із одного або двох рядів (ПП 6) видове різноманіття ЖНП є збідненим, про що свідчить низький

індекс Шеннона – 0,79. Висока освітленість лінійних насаджень сприяла появі степових і рудеральних видів рослин і зменшенню або зникненню сільвантів (рис. 3)

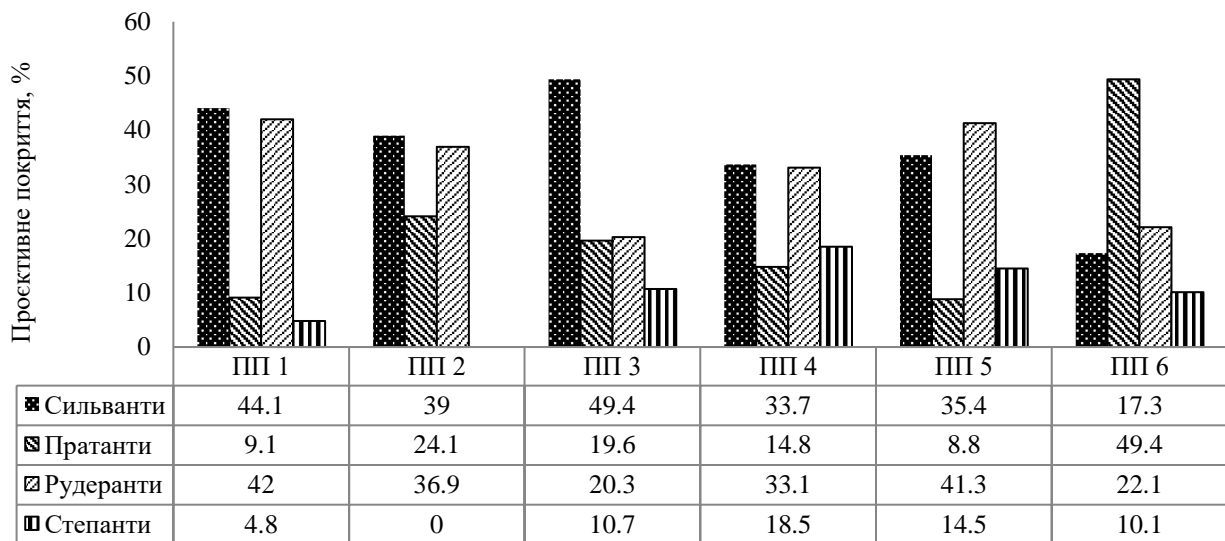


Рис. 3 – Ценотична структура трав'яного покриву у полезахисних лісових смугах (ПП1–ПП3 – класичні лісові смуги; ПП4–ПП6 – Трансформовані лісові смуги)

Fig. 3 – Coenotic structure of the grass cover in shelterbelts (SP1–SP3 – classical shelterbelts; SP4–SP6 – transformed shelterbelts)

У лісових смугах, створених за інструктивними вказівками (*Instructions for the design and cultivation of protective forest plantations*, 1979), видове різноманіття залежало від освітленості та конструктивних особливостей лісових смуг. Проте в усіх випадках воно було значно нижчим, ніж у насадженнях, трансформованих у насадження системи орно-польового агролісівництва. Індекс Шеннона на ПП 1–3 набував стабільних значень у межах 1,36–1,70.

Індекс Симпсона в класичних лісових смугах становив 0,12–0,36, що свідчить про домінування сільвантів над іншими видами угруповань у трав'яному фітоценозі. Водночас індекс Симпсона у трансформованих лісових смугах (0,09–0,27) свідчить про значну домінантність рудеральної рослинності й тим самим – про зменшення частки сільвантів.

Індекс вирівняності Піелу становив 0,47–0,53, що характеризує більш рівномірний розподіл частки різних видів у проективному покритті класичних лісових смуг. У трансформованих лісових смугах розподіл рослинних ценотипів є нерівномірним, а індекс Піелу набуває значень від 0,50 до 0,65.

Обговорення. Трансформація лісових смуг у лінійні насадження вузької ширини (до 7,5 м) призводить до зміни фіторізноманіття, мінливість якого найбільше виявляється в живому надґрунтовому покритті (трав'яному ярусі).

Верхній деревний ярус практично не змінюється у разі трансформації, оскільки він презентований одним домінантним видом і зазвичай розміщується всередині смуги, тоді як зменшення ширини лісових смуг відбувається зазвичай унаслідок вирубування узлісних рядів.

Сукцесійні зміни відбуваються в підліску та живому надґрунтовому покритті, на різноманіття якого впливає склад насадження, повнота, ажурність і мікрокліматичні умови, які сформувалися за весь період життєдіяльності самого насадження (Yukhnovskiy *et al.*, 2013; Krasnov *et al.*, 2014). Оскільки вищеперераховані показники є різними, видове фіторізноманіття живого надґрунтового покриття, підліску та підросту розглядаємо за конструктивними особливостями лісових смуг.

Архівні дані свідчать, що лісові смуги створювали зазвичай із головних деревних видів, без уведення підліску. Тому наявність підліску, особливо з плодових видів, свідчить про їхнє зоохорне походження. Доречно зазначити наявність природного поновлення як головних, так і супутніх видів під наметом полезахисних насаджень.

Аналіз ценотичної структури ЖНП досліджуваних полезахисних насаджень свідчить про домінування сільвантів і рудерантів як у класичних, так і в трансформованих лісових смугах. Водночас якщо в класичних полезахисних насадженнях частка сільвантів переважає частку рудерантів, то в трансформованих лісових смугах вже чітко простежуємо тенденцію до переважання рудеральної рослинності. Це є наслідком збільшення освітленості вузьких лісових смуг, видування лісової підстилки, втрати лісового середовища і сформованої ажурної та продувної конструкції трансформованих насаджень.

За результатами досліджень виявлено, що під наметом класичних лісових смуг переважання сільвантів за наявності високого проєктивного покриття створює стабільне мікрокліматичне середовище, високе різноманіття, що є результатом наближеного до лісових фітоценозів середовища.

Водночас у трансформованих лісових смугах лучні та рудеральні види посідають місце лісових рослин і утворюють агробіоценотичні угруповання. Таким чином, у лісових смугах старших вікових груп різного видового складу відбувається процес антропогенної сукцесії лісового біоценозу до агролісового, що супроводжується відповідними ценотичними змінами.

Досліджуючи ценотичну структуру живого надґрунтового покриву полезахисних лісових смуг агроландшафтів Київщини, Г.О. Лобченко (Lobchenko, 2015) виявила, що поширення сільвантів у лінійних насадженнях IV–V класів віку варіювало в межах 50,6–100 %. У досліджуваних насадженнях на ценотип сільвантів припадало 39,0–49,4 % загальної кількості рослин у класичних лісових смугах і 17,3–35,4 % – у трансформованих насадженнях. У зв'язку із тим, що досліджувані лісові смуги VI–VII класів віку характеризувалися високою освітлюваністю ЖНП, відбувалося зменшення поширення сільвантів і збільшення поширення рудеральної та лучної рослинності. Особливо помітним це є в трансформованих лісових смугах, де частка рудерантів і пратантів становила 35,1 і 49,4 відповідно. У цих же насадженнях збільшувалася частка степових трав'яних видів, яка становила 10,1–14,5 %, чого не виявлено в середньовікових лісових смугах Київщини (Lobchenko, 2015).

Про вплив освітлення на флористичний склад ЖНП після проведення суцільних рубок головного користування в дубових насадженнях Українського Полісся повідомляють І.Д. Іванюк і Я.Д. Фучило (Ivanyuk and Fuchylo, 2020). Зокрема, дослідники зазначають, що повне освітлення поверхні ґрунту сприяло розвитку світлолюбних узлісних видів, частка яких становила 8,6 %. Унаслідок цього частка сільвантів зменшилася до 26,4 %, а частка світлолюбних рудеральних і лучних видів збільшилася до 32,1 і 24,5 % відповідно. Саме таку тенденцію відмічено під час трансформації полезахисних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва. Аналогічну закономірність переважання рудеральних видів на освітлених лісових ділянках відзначають також деякі зарубіжні дослідники (McCarthy, 2003; Gilliam, 2007).

Унаслідок набуття лісовими смугами непродувної конструкції проєктивне покриття ЖНП зменшується, змінюється також видовий склад зі зникненням світлолюбних лучних і степових видів, що простежується на ПП 1. Аналогічну тенденцію виявлено в мішаних дубово-соснових молодняках, де після змикання лісових культур проєктивне покриття трав'яно-чагарникового ярусу зменшується до 60 % (Ivanyuk *et al.*, 2022). Водночас у цьому випадку в масивних насадженнях зникають рудеральні види, чого не зафіксовано в лінійних насадженнях. Тут рудеранти конкурують із сільвантами, а їхні частки становлять 42,0 і 44,1 % відповідно.

Зазначимо, що вікова структура насаджень також впливає на фіторізноманіття ЖНП, його чисельність і поширеність. Якщо в перестійних 130–140-річних дубняках проєктивний покрив становить 70–80 %, то у середньовікових 50–60-річних культурах – 65–70 % (Ivanyuk *et al.*, 2024). Під час наших досліджень проєктивне покриття в насадженнях старших вікових груп (ПП 2–4) становило 81–96 %, а в 55-річній лісовій смузі (ПП 6) – 4 %. Подібну тенденцію виявлено також у лісових смугах Вінниччини IV–V класів віку, досліджуваних Г.О. Лобченко (Lobchenko, 2015).

Фіторізноманіття ЖНП також залежить від повноти насаджень. Так, збільшення відносної повноти насаджень сприяє зменшенню освітлюваності ґрунтової поверхні та підтриманню високої зімкненості намету, що стримує розвиток живого надґрунтового покриву. Зокрема, під наметом насаджень 20–50-річного віку в стадії жердняку знизилося проєктивне покриття трав на 27 % (до 155 шт.·м⁻²) через зменшення освітленості та вологозабезпеченості рослин (Andrushchenko *et al.*, 2018), що узгоджується з нашими даними у трансформованих полезахисних лісових смугах на ПП 4–6.

Отже, полезахисні лісові екосистеми в результаті трансформації в насадження системи орно-польового агролісівництва реагують на зміну світлового режиму збільшенням у складі ЖНП часток рудеральної та лучної рослинності, а також появою степових видів. Для виявлення особливостей росту та продуктивності трансформованих лісових смуг необхідні подальші дослідження, оскільки за високої освітленості деревостану може уповільнюватися ріст головних деревних видів, що призведе до втрати продуктивності насаджень.

Висновки. Трансформація класичних лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва призводить до зміни фіторізноманіття, мінливість якого найбільшою мірою виявляється в живому надґрунтовому покриві (трав'яному ярусі). У класичних лісових смугах видове різноманіття залежить від їхніх конструктивних особливостей та освітлення, причому в усіх випадках видове різноманіття є значно нижчим, ніж у насадженнях, трансформованих у систему орно-польового агролісівництва.

Аналіз ценотичної структури живого надґрунтового покриву виявив переважання сільвантів і рудерантів як у класичних, так і в трансформованих лісових смугах. Водночас у класичних полезахисних насадженнях частка сільвантів є більшою за частку рудерантів, а в трансформованих лісових смугах переважає рудеральна рослинність. Це є наслідком збільшення освітленості вузьких лісових смуг, видування лісової підстилки, втрати лісового середовища та сформованої ажурної й продувної конструкції трансформованих насаджень.

У результаті трансформації лісових смуг у лінійні насадження системи орно-польового агролісівництва інтенсифіковано сукцесійні зміни живого надґрунтового покриву з ознаками десильватизації трав'яної рослинності та зменшенням видового різноманіття. Таким чином, у трансформованих лісових смугах посилюються процеси синантропізації з появою та пристосуванням більшості частки рудеральної й лучної рослинності.

Подяка. Авторка вдячна співробітникам кафедри лісового господарства Білоцерківського національного аграрного університету за допомогу в проведенні польових досліджень у лісових смугах навчально-дослідного господарства Білоцерківського національного аграрного університету.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено автором у межах виконання дисертаційних досліджень на тему «Трансформація систем полезахисних лісових смуг Північно-Західного Степу в контексті адаптації до змін клімату» за власні кошти.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Andrushchenko, O.P., Rumiantsev, M.H. and Bondar, O.B. (2018) 'Living aboveground cover in natural oak stands of the Southeastern Forest-Steppe of Ukraine', *Forestry and Forest Melioration*, 133, pp. 3–9 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.3>
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006.* (2007). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian).

- Gilliam, F.S. (2007) 'The ecological significance of the herbaceous layer in temperate forest ecosystems', *BioScience*, 57, pp. 845–856. <https://doi.org/10.1093/acprof:osobl/9780199837656.001.0001>
- Grod, I.M. and Shevchyk, L.O. (2022) 'Application of informative indices for assessing ecosystem biodiversity', *Ternopil National University of Science and Technology*, 5, pp. 112–114 (in Ukrainian).
- Hensiruk, S.A. (ed.) (1999) *Ukrainian Forestry Encyclopedia*. Lviv: UNFU, Vol. 1 (in Ukrainian).
- Hladun, H.B. and Hladun, Yu.H. (2013) 'Prospects for the development of agroforestry in Ukraine', *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University named after V. V. Dokuchayev Seria "Soil science, agrochemistry, farming, forestry, ecology of soil"*, 2, 165–170 (in Ukrainian)
- Hladun, H.B., Yukhnovskyi, V.Yu., Suska, A.A., Horoshko, V.V. and Sydorenko, S.V. (2019) 'Forest amelioration in Ukraine: origins, current state, challenges and prospects' in *Forest restoration and forest amelioration in Ukraine: origins, current state, challenges and prospects in anthropogenic conditions*. Kyiv: Publ. Centre of NULES of Ukraine, pp. 249–268 (in Ukrainian).
- Hryhora, I.M. and Solomakha, V.A. (2000) *Fundamentals of phytocoenology*. Kyiv: Phytosociocenter (in Ukrainian).
- Instruction for the design and cultivation of protective forest plantations on the lands of agricultural enterprises of the Ukrainian SSR* (1979). Kyiv: Ministry of Agriculture (in Ukrainian)
- Ivanyuk, I. and Fuchylo, Y. (2020) 'Vegetation succession after clear cutting in oak forest stands in the conditions of the Western and Central Polissya of Ukraine', *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 21, pp. 39–49 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/412024>
- Ivanyuk, I.D., Fuchylo, Ya.D. and Landin, V.P. (2022) 'Dynamics of the species composition of the living aboveground cover of unclosed forest cultures of common oak in fresh conglomerates of Zhytomyr Polissya', *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(2), pp. 19–26 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40320203>
- Ivanyuk, I.D., Ivanyuk, T.M., Krasnov, V.P. and Zhukovskyi, O.V. (2024) 'Plant composition of the herbaceous-shrub layer of perennial stands and middle-aged cultures of common oak in fresh conglomerates of Zhytomyr Polissya', *Scientific Bulletin of UNFU*, 34(4), pp. 13–19 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40340402>
- Kovalenko, I.M. (2015) 'Grass and subshrub layer as a structural component of forest communities in the North-East of Ukraine', *Chornomorskyi Botanical Journal*, 11 (2), pp. 146–155 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.14255/2308-9628/15.112/2>
- Krasnov, V.P., Shelest, Z.M. and Davydova, I.V. (2014) *Phytoecology with the basics of forestry*. Kherson: OLDI-PLUS (in Ukrainian)
- Lobchenko, G. (2014) 'Windbreaks strips as a forest biocenosis', *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(10), pp. 59–65 (in Ukrainian).
- Lobchenko, G. (2015) 'Coenotic structure of the herbaceous layer of the phytocenosis of windbreaks', *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(1), pp. 130–136. Available at: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/804> (Accessed: 22 October 2024) (in Ukrainian).
- McCarthy, B.C. (2003) 'The Herbaceous Layer of Eastern Old-Growth Deciduous. The Herbaceous Layer in forests of Eastern North America' in Gilliam, F.S. and Roberts, M.R. (eds) *The Herbaceous Layer in Forests of Eastern North America* (New York, NY, 2003; online edn, Oxford Academic, 31 Oct. 2023), pp. 163–176. <https://doi.org/10.1093/oso/9780195140880.003.0006>
- Mirkin, B.M., Rosenberg G.S. and Naumova, L.G. (1989) *A comprehensive dictionary of modern phytocenology terms*. Moscow: Nauka (in Russian).
- Mosquera-Losada, M.R., Moreno, G., Pardini, A., McAdam, J.H., Papanastris, V. and Burgess, P.J. (2012) 'Past, Present and Future of Agroforestry Systems in Europe' in Nair, P. and Garrity, D. (eds) *Agroforestry – The Future of Global Land Use*. Advances in Agroforestry, vol. 9. Dordrecht: Springer, pp. 285–312. https://doi.org/10.1007/978-94-007-4676-3_16
- Nair, P.R. and Garrity, D. (2012) *Agroforestry – The Future of Global Land Use*. Dordrecht: Springer.
- Nair, P.K.R. (1985) 'Classification of agroforestry systems', *Agroforestry Systems*, 3, pp. 97–128 <http://dx.doi.org/10.1007/BF00122638>
- Paianok, T. and Zadorozhnia, T. (2020) *Statistical data analysis*. Irpın: University of the State Fiscal Service of Ukraine (in Ukrainian).
- Popovych, S., Yakubenko, B., Ustymenko, P., Dubyna, D. and Churilov, A. (2017) *Geobotany: methodological aspects of research*. Kyiv: Lira-K (in Ukrainian).
- Prydatko, V.I., Kolomytsev, R.I., Burda, R.I. and Chumachenko, S.M. (2008) *Landscape Ecology: A teaching and methodological guide to biodiversity modeling and consideration of impacts on it* Kyiv: Publ. House of the National Agrarian University (in Ukrainian).
- Soroka, M.I. (2012) 'Ecological prerequisites for the formation and differentiation of Roztochia's vegetation', *Scientific Bulletin of UNFU*, 22.6, pp. 8–13 (in Ukrainian).
- Sydorenko, S.V., Pasternak, V.P., Sydorenko, S.H. and Hladun, H.B. (2019) 'Peculiarities of the formation of phytomass and deadmass reserves in oak windbreaks of the Forest-Steppe part of the Kharkiv region', *Forestry and Forest Melioration*, 134, pp. 104–116. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.134.2019.104>
- Yakubenko, B.E., Popovych, S.Yu. and Ustymenko, P.M. (2019) *Geobotany*. 2nd edn. Kyiv: Lira-K (in Ukrainian).

- Yukhnovskiy, V.Yu., Dudarets, S.M., Maliuha, V.M. and Sovakov, O.V. (2024) *Agroforestry*. Kyiv: Publ. Centre of NUBIP (in Ukrainian).
- Yukhnovskiy, V.Yu., Levandovska, S.M. and Khryk, V.M. (2013) *Atlas of phytoindicators of forest-vegetation condition types of the Forest-Steppe of Ukraine*. Bila Tserkva: Bila Tserkva Publ. House (in Ukrainian).
- Yukhnovsky, V. and Yosypenko, V. (eds.) (2012) *Guidelines on forest reclamation and arrangement of protective forest plantations of linear type*. Kyiv: Komprint (in Ukrainian).

DIVERSITY OF GRASS VEGETATION IN FIELD SHELTERBELTS TRANSFORMED INTO SILVOARABLE AGROFORESTRY PLANTINGS IN THE RIGHT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Tupchii O.M.^{1*}

During the transformation of field shelterbelts into linear plantings of the silvoarable agroforestry system, successional changes in phytodiversity occur, the manifestation of which is most noticeable in the structure of the aboveground cover. Therefore, the aim of the research was to analyse the dynamics of the coenotic structure of grass phytodiversity. The species phytodiversity of the grass layer was assessed using the following indices: diversity, evenness, and dominance. The projective cover of the grass layer decreases, the species composition changes with the loss of light-loving meadow and steppe species in the shelterbelts of dense design. In the coenotic structure of the aboveground cover, the dominance of sylvans and ruderals was revealed both in classical and transformed shelterbelts. However, in classical shelterbelts, the proportion of sylvans (39.0–49.4%) prevails over the percentage of ruderals (20.3–42.0%), and in transformed windbreaks, the predominance of ruderal vegetation (22.1–41.3%) over sylvans (17.3–31.7%) is clearly observed. This is a consequence of the illumination of narrow shelterbelts, blowing of forest litter, loss of the forest environment and the formed sieve-looked and blown designs. Transformation of shelterbelts intensifies successional changes in the grass cover with a trend of desilvatization and a decrease in species richness, which intensifies the processes of synanthropization with the appearance and adaptation of a larger proportion of ruderal and meadow vegetation.

Key words: desilvatization, projective cover, synanthropization, grass layer, coenotic structure.

Одержано редколегією 01.11.2024

¹ Tupchii Olga, State Biotechnology University, Alchevskikh Street 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. Postgraduate Student, NULES of Ukraine. Scientific supervisor – Professor V. Yu. Yukhnovsky, Dr. habil. (Agricultural Sciences). E-mail: olgatypnikola@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0545-1877>

* Correspondence: olgatypnikola@ukr.net

УДК 630.232.4:630.232.42:630.235:633.877.3

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.57>

ПРИЖИВЛЮВАНІСТЬ І ПОКАЗНИКИ РОСТУ КУЛЬТУР СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ, СТОВРЕНИХ РІЗНИМИ ВИДАМИ САДИВНОГО МАТЕРІАЛУ У ПІВДЕННО-СХІДНІЙ ЧАСТИНІ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ

В. С. Ющик^{1*}

Наведено результати порівняльного аналізу показників росту та приживлюваності дво- і трирічних культур сосни звичайної, створених різними способами та видами садивного матеріалу, а також різних за складом, в умовах свіжого бору та свіжого субору у філії «Жовтневе ЛГ» та ДП «Харківська ЛНДС». Між показниками росту дво- і трирічних культур, створених різними способами та різними за складом, не виявлено значущої різниці. Виявлено, що дво- і трирічні культури в умовах свіжого субору значуще перевершують культури в умовах свіжого бору: за висотою – на 12 і 10 %, приростом за висотою – на 8 і 15 %, діаметром кореневої шийки – на 16 і 11 %. Культури, створені сіянцями із закритою кореневою системою, за показниками росту значуще перевершують культури, створені сіянцями із відкритою кореневою системою, зокрема за середньою висотою – на 13 і 28 %, середнім приростом у висоту – на 15 і 21 %, середнім діаметром кореневої шийки – на 15 і 16 % відповідно.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., сіянці, технологія створення лісових культур, тип лісорослинних умов.

Вступ. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із найпоширеніших деревних видів у лісах України (Tkach and Meshkova, 2019). Деревостани з її участю займають 42 % (близько 2,2 млн га) від загальної площі лісів, що перебувають у постійному користуванні Державного агентства лісових ресурсів України (Tkach *et al.*, 2018). Загалом у лісах України соснові деревостани ростуть на площі майже 3,2 млн га (33 % від загальної площі) (Danylenko *et al.*, 2021). У Харківській області соснові деревостани станом на 2017 р. займають 33 % від загальної площі лісів (близько 95 тис. га) (Rumiantsev *et al.*, 2021). Вони виконують важливі кліматорегульовальні, середовищезахисні, рекреаційно-оздоровчі та інші функції, а також задовольняють потреби економіки країни та населення в деревині та інших продуктах лісу (Harmash, 2019; Tkach and Meshkova, 2019).

Досвід створення лісових культур сосни звичайної в Лісостепу України охоплює вже понад два століття, з початком відтоді, коли з 1804 до 1817 р. В. Г. Данилевським і С. А. Легкоступом на пісках по берегах Сіверського Дінця в Зміївському уїзді Харківської губернії було створено соснові насадження на площі понад 1 000 га (Hordyenko *et al.*, 1995).

Серед способів відновлення соснових лісів країни і наразі переважає штучний, тобто створення лісових культур. За останні роки в середньому (за звітними матеріалами Державного агентства лісових ресурсів України) на соснові культури припадає до 2/3 обсягу лісокультурного виробництва в країні загалом і близько 40 % в Харківській області.

Технологія створення та вирощування штучних соснових молодняків регіону (Харківська область) є різною. В одних випадках культури створюють чисті за складом, а в інших – мішані, ручним способом або механізованим, сіянцями із відкритою (ВКС) або закритою (ЗКС) кореневою системою тощо. Зокрема у ДП «Харківська ЛНДС» останніми роками широко практикують штучне лісовідновлення, зокрема соснових насаджень, із використанням садивного матеріалу із ЗКС.

Виявлено, що в Харківській області дослідження особливостей росту лісових культур сосни звичайної, створених за різною технологією, в останні роки не проводили. Таким чином, результати проведених досліджень являтимуть значний науковий і виробничий інтерес.

Мета досліджень – оцінити показники росту та приживлюваності дво- і трирічних культур сосни звичайної, створених різними способами та видами садивного матеріалу

¹ Ющик Віта Сергіївна, аспірант, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. Науковий керівник – кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник М. Г. Румянцев. E-mail: vitay2715@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-3882>

* Адреса для кореспонденції: vitay2715@gmail.com

в умовах свіжого бору та свіжого субору, для визначення оптимальної технології створення соснових молодняків у південно-східній частині Лівобережного Лісостепу України.

Матеріали й методи. Обстеження та обліки показників росту (висоти, приросту за висотою та діаметра кореневої шийки) і приживлюваності дво- й трирічних лісових культур сосни звичайної, що ростуть у свіжому бору (A₂) та свіжому суборі (B₂), та дво- й трирічних культур, створених різними способами (ручне й механізоване садіння) і різними за складом (чисті й мішані), що ростуть в умовах свіжого субору, проведено у Мереф'янському лісництві філії «Жовтневе лісове господарство» державного спеціалізованого господарського підприємства «Ліси України» у 2023 р. (табл. 1).

Таблиця 1

Технологія створення досліджуваних лісових культур сосни звичайної

Table 1

The planting technology for studied Scots pine forest plantations

Пробна площа Research plot	Квартал/ виділ Compartment/ subcompartment	Тип лісорослинних умов Type of forest site condition	Вік культур, років Age of plantations, years	Схема змішування Mixing pattern	Схема розміщення садивних місць Planting pattern	Вид садивного матеріалу Type of planting stock	Спосіб створення лісових культур Planting method
Мереф'янське лісництво Merefianske forestry							
1	47/4	A ₂	2	C3-C3-C3-C3	2,5 × 0,7 м	ВКС	Ручне садіння
2	42/3	B ₂		C3-C3-C3-C3			Ручне садіння
3	103/11.3			C3-C3-C3-C3			Механізоване садіння
4	68/9	4pC31pДз		Ручне садіння			
5	112/1.2	A ₂	3	C3-C3-C3-C3			Ручне садіння
6	112/5.5	B ₂		C3-C3-C3-C3			Ручне садіння
7	103/11.2			C3-C3-C3-C3			Механізоване садіння
8	68/4	4pC31pДз		Ручне садіння			
Дергачівське лісництво Derhachivske forestry							
9	166/7	B ₂	2	C3-C3-C3-C3	2,5 × 0,7 м	ВКС	Ручне садіння
10				C3-C3-C3-C3	2,5 × 1,0 м	ЗКС	Ручне садіння
Липецьке лісництво Lypetske forestry							
11	125/26	B ₂	3	C3-C3-C3-C3	2,5 × 0,7 м	ВКС	Ручне садіння
12				C3-C3-C3-C3	2,5 × 1,0 м	ЗКС	Ручне садіння

Примітка. «ВКС» – лісові культури, створені сіянцями із відкритою кореневою системою, вирощеними у теплиці; «ЗКС» – лісові культури, створені сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними в контейнерах з агроволокна об'ємом 700 см³.

Note. «ВКС» – forest plantations planted by bare-root seedlings grown in a greenhouse; «ЗКС» – forest plantations planted by containerized seedlings, grown in containers made of agrotexile with a volume of 700 cm³.

Обстеження та обліки показників росту і приживлюваності дво- і трирічних лісових культур сосни звичайної, створених різним садивним матеріалом (сіянцями із відкритою (ВКС) і закритою (ЗКС) кореневою системою), що ростуть в умовах свіжого субору, проведено у Дергачівському і Липецькому лісництвах державного підприємства «Харківська лісова науково-дослідна станція» у 2014 і 2020 р. (див. табл. 1).

Культури висаджено на зрубках, утворених після проведення суцільних вузьколісосічних рубок головного користування (Мереф'янське лісництво) та суцільних санітарних рубок (Дергачівське і Липецьке лісництва).

Попередньо на всіх ділянках проведено частковий обробіток ґрунту – прокладання борозен плугом комбінованим лісовим (ПКЛ-70) в агрегативанні з трактором МТЗ-892. Доповнення проведено на всіх ділянках лісових культур, створених сіянцями із ВКС, обсягом 10 % від початкової густоти на другий рік вирощування і обсягом 10–20 % – на третій рік вирощування. Доповнення лісових культур, створених сіянцями із ЗКС, проведено обсягом 10 % від початкової густоти на другий рік вирощування.

На всіх ділянках кількість доглядів за культурами була однаковою кожного року. У перший і другий роки вирощування культур проводили три ручні догляди в рядах (видалення небажаної трав'янистої рослинності сапкою) і два механізовані догляди в міжряддях (видалення небажаної трав'янистої і чагарникової рослинності ручним кушорізом), на третій рік – по одному ручному і механізованому догляду.

Обліки соснових культур проводили переліком на тимчасово закладених пробних площах (ПП). На кожній ПП було не менше ніж 100 садивних місць головної породи, а загальна довжина облікових рядів була не меншою за 100 погонних метрів. При цьому ПП охоплювала повну схему змішування порід на лісокультурній площі (*Forest inventory sample plots*, 2007).

Приживлюваність культур на другий і третій роки вирощування визначали як відношення кількості життєздатних рослин на момент їхнього обліку до початкової кількості садивних місць, у відсотках.

Висоту рослин вимірювали рулеткою з точністю до 0,5 см, діаметр кореневої шийки – штангенциркулем із точністю до 0,1 мм.

Одержані дані обробляли методами математичної статистики за допомогою пакету програм MS Excel. Значущість різниці між контролем і дослідними варіантами оцінювали з використанням *t*-критерію Стьюдента на 5 % рівні. Дані були нормально розподілені і таким чином не порушували вимоги застосування тесту Стьюдента (Romakin, 2006).

Результати. Результати аналізу матеріалів лісовпорядкування свідчать, що в лісовому фонді філії «Жовтневе лісове господарство» ДП «Ліси України» частка штучно створених соснових деревостанів становить 85 % від загальної площі. Результати аналізу звітних матеріалів лісокультурного виробництва за період 2014–2023 рр. свідчать, що штучне відновлення соснових насаджень проводили здебільшого навесні шляхом ручного садіння однорічних стандартних сіянців із ВКС на свіжих зрубках після часткового обробітку ґрунту.

Дворічні лісові культури у Мереф'янському лісництві. Виявлено, що чисті за складом культури в умовах свіжого субору, створені ручним садінням (ПП 2), мали вищі показники росту, порівнюючи з чистими культурами, створеними механізованим садінням (ПП 3), мішаними культурами (ПП 4), а також із чистими культурами в умовах свіжого бору (ПП 1). Ця різниця за висотою становила 1, 4 і 12 %, за приростом у висоту – 4, 5 і 8 %, за діаметром кореневої шийки – 7, 9 і 16 % відповідно (табл. 2).

Значуще при $p = 0,05$ поступалися контролю за висотою, приростом у висоту й діаметром кореневої шийки культури сосни на ПП 1, а незначущою була різниця між контролем і культурами на ПП 3 і 4 (див. табл. 2).

Найвищою приживлюваністю (85 %) характеризувалися чисті культури в умовах свіжого субору, створені ручним садінням (ПП 2), а найнижчою (80 %) – культури в умовах свіжого бору, створені ручним садінням (ПП 1).

Таблиця 2

Показники росту та приживлюваність дворічних лісових культур сосни звичайної у Мереш'янському лісництві філії «Жовтневе лісове господарство» ДП «Ліси України»

Table 2

Growth characteristics and survival of two-year-old Scots pine forest plantations in the Merefianske forestry in the Branch “Zhovtneve Forestry” of the State Specialized Forest Enterprise “Forests of Ukraine”

Пробна площа Research plot	Середня висота Average height			Середній приріст у висоту Average height increment			Середній діаметр кореневої шийки Average diameter of the root collar			Приживлюваність, % Survival, %
	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, mm	t_f	%	
1	32,1 ± 1,17	2,55	88	18,5 ± 0,58	2,04	92	9,0 ± 0,29	4,15	84	80
2*	36,5 ± 1,27	–	100	20,1 ± 0,53	–	100	10,7 ± 0,34	–	100	85
3	36,1 ± 1,08	0,24	99	19,3 ± 0,60	1,00	96	9,9 ± 0,32	1,71	93	84
4	35,2 ± 1,12	0,77	96	19,0 ± 0,56	1,37	95	9,8 ± 0,36	1,92	91	83

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$).

*ПП 2 – контроль.

Note. $M \pm m$ – mean value of a variable and its standard error; t_f – actual value of Student's t -test ($t_{0,05} = 2.01$).

*Research plot 2 was a control.

Трирічні лісові культури у Мереш'янському лісництві. Результати досліджень свідчать, що чисті за складом культури в умовах свіжого субору, створені ручним садінням (ПП 6), мали вищі показники росту, як порівняти з чистими культурами, створеними механізованим садінням (ПП 7), мішаними культурами (ПП 8), а також із чистими культурами в умовах свіжого бору (ПП 5). Ця різниця за висотою становила 4, 3 і 10 %, за приростом у висоту – 6, 8 і 15 %, за діаметром кореневої шийки – 4, 6 і 11 % відповідно (табл. 3).

Таблиця 3

Показники росту та приживлюваність трирічних лісових культур сосни звичайної у Мереш'янському лісництві філії «Жовтневе лісове господарство» ДП «Ліси України»

Table 3

Growth characteristics and survivability of three-year-old Scots pine forest plantations in the Merefianske forestry in the Branch “Zhovtneve Forestry” of the State Specialized Forest Enterprise “Forests of Ukraine”

Пробна площа Research plot	Середня висота Average height			Середній приріст у висоту Average height increment			Середній діаметр кореневої шийки Average diameter of the root collar			Приживлюваність, % Survivability, %
	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, mm	t_f	%	
5	60,1 ± 1,56	2,99	90	29,2 ± 0,88	4,06	85	13,9 ± 0,39	3,37	89	77
6*	66,5 ± 1,47	–	100	34,4 ± 0,93	–	100	15,6 ± 0,32	–	100	80
7	63,7 ± 1,58	1,30	96	32,2 ± 0,96	1,65	94	14,9 ± 0,38	1,41	96	78
8	64,2 ± 1,52	1,09	97	31,8 ± 0,99	1,91	92	14,6 ± 0,40	1,95	94	78

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$).

*ПП 6 – контроль.

Note. $M \pm m$ – mean value of a variable and its standard error; t_f – actual value of Student's t -test ($t_{0,05} = 2.01$).

*Research plot 6 was a control.

Значуще при $p = 0,05$ поступалися контролю за висотою, приростом у висоту й діаметром кореневої шийки культури сосни на ПП 5, а незначущою була різниця між контролем і культурами на ПП 7 і 8 (див. табл. 3).

Найвищою приживлюваністю (80 %) відзначалися чисті культури в умовах свіжого субору, створені ручним садінням (ПП 6), а найнижчою (77 %) – культури в умовах свіжого бору, створені ручним садінням (ПП 5).

Дворічні лісові культури у Дергачівському лісництві. Результати досліджень свідчать, що культури в умовах свіжого дубово-соснового субору, створені сіянцями із ЗКС, характеризувалися вищими показниками росту, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із ВКС. Ця різниця становила: за висотою – 13 %, приростом у висоту та діаметром кореневої шийки – 15 % (табл. 4).

Таблиця 4

Показники росту та приживлюваність дворічних лісових культур сосни звичайної, створених сіянцями із ВКС і ЗКС, у Дергачівському лісництві ДП «Харківська ЛНДС» (URIFFM, 2014)

Table 4

Growth characteristics and survivability of two-year-old Scots pine forest plantations established with bare-root and containerized seedlings in the Derhachivske forestry in Kharkiv Forest Research Station (URIFFM, 2014)

Пробна площа Research plot	Середня висота Average height			Середній приріст у висоту Average height increment			Середній діаметр кореневої шийки Average diameter of the root neck			Приживлюваність, % Survivability, %
	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, mm	t_f	%	
9*	33,7 ± 1,41	–	100	16,7 ± 0,68	–	100	9,3 ± 0,34	–	100	82
10	38,2 ± 1,57	2,13	113	19,2 ± 0,64	2,68	115	10,7 ± 0,37	2,79	115	88

Примітка: $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$). *ПП 9 – контроль.

Note. $M \pm m$ – mean value of a variable and its standard error; t_f – actual value of Student’s t -test ($t_{0,05} = 2.01$). *Research plot 9 was a control.

Значуще при $p = 0,05$ перевершували контроль (культури, створені сіянцями із ВКС) за висотою, приростом у висоту й діаметром кореневої шийки культури сосни, створені сіянцями із ЗКС (див. табл. 4). Вищою приживлюваністю (88 %) характеризувалися також культури, створені сіянцями із ЗКС, як порівняти з культурами, створеними сіянцями із ВКС (82 %).

Трирічні лісові культури у Липецькому лісництві. Результати досліджень свідчать, що культури в умовах свіжого субору, створені сіянцями із ЗКС, характеризувалися вищими показниками росту порівняно з культурами, створеними сіянцями із ВКС. Ця різниця за висотою становила 28 %, приростом у висоту – 21 %, діаметром кореневої шийки – 16 % (табл. 5).

Таблиця 5

Показники росту та приживлюваність трирічних лісових культур сосни звичайної, створених сіянцями із ВКС і ЗКС, у Липецькому лісництві ДП «Харківська ЛНДС»

Table 5

Growth characteristics and survivability of three-year-old Scots pine forest plantations established with bare-root and containerized seedlings in the Lypetske forestry in Kharkiv Forest Research Station

Пробна площа Research plot	Середня висота, см Average height			Середній приріст у висоту, см Average height increment			Середній діаметр кореневої шийки, мм Average diameter of the root collar			Приживлюваність, % Survivability, %
	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, cm	t_f	%	$M \pm m$, mm	t_f	%	
11*	60,6 ± 1,55	–	100	27,5 ± 0,88	–	100	12,6 ± 0,35	–	100	80
12	77,8 ± 1,65	7,60	128	33,2 ± 0,82	4,74	121	14,6 ± 0,31	4,28	116	85

Примітка: $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартна похибка; t_f – t -критерій Стьюдента ($t_{0,05} = 2,01$). *ПП 11 – контроль.

Note. $M \pm m$ – mean value of a variable and its standard error; t_f – actual value of Student’s t -test ($t_{0,05} = 2.01$). *Research plot 11 was a control.

Значуще при $p = 0,05$ перевершують контроль (культури, створені сіянцями із ВКС) за висотою, приростом у висоту та діаметром кореневої шийки культури сосни, створені сіянцями із ЗКС (див. табл. 5). Вищою приживлюваністю (85 %) характеризувалися також культури, створені сіянцями із ЗКС, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із ВКС (80 %).

Обговорення. Результати проведених обстежень та обліків показників росту й приживлюваності лісових культур сосни звичайної, що ростуть у свіжому бору (A_2) та свіжому суборі (B_2), та дво- й трирічних культур, створених різними способами (ручним й механізованим садінням) і різними за складом (чистими й мішаними), що ростуть в умовах свіжого субору, загалом свідчать про доволі успішний їхній ріст. Не виявлено значущої різниці показників росту й приживлюваності культур, створених різними способами та різними за складом. Зазначимо, що всі досліджувані культури відповідають вимогам нормативної приживленості культур, яка для Харківської області становить не менше 76 % для дворічних культур і 73 % для трирічних культур (*About approval of the Instruction*, 2010).

Водночас, враховуючи більшу собівартість (на 32 %) створення культур сосни ручним садінням, порівнюючи з механізованим (Rumiantsev *et al.*, 2024), ширше впровадження механізованого садіння може бути одним із основних заходів удосконалення лісокультурного виробництва в регіоні досліджень.

Також одним із основних заходів удосконалення лісокультурного виробництва в регіоні досліджень має стати збільшення площ мішаних культур, зокрема з участю листяних порід. Відомо (Pokhyton, 1958; Hordiienko *et al.*, 2002; 2005), що домішка листяних порід, зокрема дуба звичайного (*Quercus robur* L.) і берези повислої (*Betula pendula* Roth.), у насадженнях сосни звичайної сприяє підвищенню інтенсивності мінералізації органічного опаду, збільшенню вмісту гумусу, азоту та інших поживних речовин у верхніх шарах ґрунту й поліпшенню переведення талих і дощових вод у ґрунт. Природно, підвищення родючості ґрунту сприятливо впливає на стан та інтенсивність росту сосни звичайної, дуба звичайного, берези повислої та інших порід. Крім того, мішані культури відзначаються вищими біологічною стійкістю та продуктивністю, як порівнювати з чистими. Пояснюється це тим, що мішані насадження повніше використовують природні ресурси (сонячну енергію, родючість ґрунту, вологу тощо), і в них існує менша конкуренція за поживні речовини (Morozov, 1949; Hordiienko *et al.*, 2005). М. І. Гордієнко та ін. (Hordyenko *et al.*, 1995) вважали, що у свіжих суборах у культури сосни звичайної слід вводити дуб звичайний суборового еко типу одним чистим рядом через 3–5 рядів сосни. У наших дослідженнях через незначний вік досліджуваних культур зарано ще робити певні висновки щодо вищої стійкості й продуктивності сосново-дубових культур, порівнюючи з чистими сосновими. Але з урахуванням наведених вище даних можна прогнозувати доволі успішний ріст мішаних сосново-дубових культур в умовах свіжого субору.

Варто також зазначити, що останнім часом значну увагу науковців привертає створення лісових культур сосни звичайної сіянцями із ЗКС. Так, О. Ю. Андреевою та ін. (Andreeva *et al.*, 2016) на Поліссі (Житомирська область) та О. Г. Василевським та ін. (Vasylevskiy *et al.*, 2024) у Правобережному Лісостепу (Хмельницька область) відзначено кращий ріст до чотирирічного віку культур сосни, створених сіянцями із ЗКС, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із ВКС. У Лівобережному Лісостепу (Харківська область) О. М. Даниленком та ін. (Danylenko *et al.*, 2021) виявлено кращий ріст 1–5-річних культур сосни, створених сіянцями із ЗКС, як порівняти з культурами, створеними сіянцями із ВКС, а О. І. Ляліним (Lialin, 2008) – 1–4-річних культур у ДП «Чугуєво-Бабчанське ЛГ» і ДП «Вовчанське ЛГ». Результати власних досліджень також свідчать про переважання за показниками росту та приживлюваності дво- і трирічних культур сосни, створених сіянцями із ЗКС, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із ВКС. Таким чином, ще одним із заходів удосконалення лісокультурного виробництва в регіоні досліджень є ширше використання садивного матеріалу із ЗКС для відновлення соснових насаджень .

Отримані результати сприятимуть удосконаленню технології створення лісових культур сосни звичайної, зокрема із залученням садивного матеріалу із ЗКС, для умов Лівобережного Лісостепу України.

Висновки. Результати проведених досліджень не виявили значущої різниці між показниками росту культур, створених різними способами та різними за складом.

Дво- і трирічні культури в умовах свіжого субору статистично значуще вірогідно перевершують культури в умовах свіжого бору: за висотою – на 12 і 10 %, приростом за висотою – на 8 і 15 %, діаметром кореневої шийки – на 16 і 11 % відповідно.

Отримані дані підтверджують, що за показниками росту культури, створені сіянцями із закритою кореневою системою, мають перевагу, порівнюючи з культурами, створеними сіянцями із відкритою кореневою системою: за висотою – на 13 і 28 %, приростом за висотою – на 15 і 21 % і діаметром кореневої шийки – на 15 і 16 % відповідно. Завдяки високій приживлюваності та кращій енергії росту сіянців із закритою кореневою системою в перші після садіння роки можливо зменшити початкову густоту культур.

Заходами удосконалення технології створення лісових культур сосни звичайної в регіоні досліджень є ширше використання під час відновлення соснових насаджень садивного матеріалу із закритою кореневою системою, а також створення в більших обсягах мішаних культур, зокрема механізованим способом.

Подяки. Авторка надзвичайно вдячна науковому керівнику – завідувачу відділу лісовідновлення та захисного лісорозведення УкрНДЦЛГА, кандидату сільськогосподарських наук, старшому досліднику Румянцеву Максиму Григоровичу, а також заступнику директора з наукової роботи ДП «Харківська ЛНДС» Даниленку Олегу Миколайовичу за допомогу в зборі та аналізі матеріалу й наданні цінних порад під час написання статті.

Також авторка висловлює подяку працівникам філії «Жовтневе лісове господарство» ДП «Ліси України» за надання звітних матеріалів з лісокультурного виробництва та за допомогу в проведенні польових досліджень.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено в межах виконання тем досліджень УкрНДЦЛГА (тема № 11 – «Дослідити ріст і розвиток лісових культур, створених садивним матеріалом із закритою кореневою системою, та розробити рекомендації щодо удосконалення технології їх створення», № держреєстрації 0120U101897), замовником якої є Державне агентство лісових ресурсів України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- About approval of the Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of forestry objects* (2010). Approved by the order of the State Forest Management Committee of Ukraine dated 19 August 2010. No 260. Kyiv: State Forestry Committee (in Ukrainian).
- Andreeva, O.Yu., Huzii, A.I. and Karchevskiy, R.A. (2016) 'Some parameters of pine growth in plantations created with potted planting material', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(3), pp. 9–14 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260301>
- Danylenko, O.M., Yushchik, V.S., Rumiantsev, M.H. and Mostepaniuk, A. A. (2021) 'Some features of the growth and condition of pine plantations created by different planting material', *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), pp. 26–29 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40310104>
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006.* (2007). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine (in Ukrainian).
- Harmash, A.V. (2019) 'Pine stands of Forest-steppe zone of Kharkiv region: productivity and natural regeneration', *Forestry and Forest Melioration*, 135, pp. 14–23 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.135.2019.14>
- Hordiienko, M.I., Huz, M.M., Debryniuk, Yu.M. and Maurer, V.M. (2005) *Forest plantations*. Lviv: Kamula (in Ukrainian).
- Hordiienko, M.I., Shlapak, V.P., Hoichuk, A.F., Rybak, V.O., Maurer, V.M., Hordiienko, N.M. and Kovalevskiy, S.B. (2002) *Scots pine plantations in Ukraine*. Kyiv: Urozhai (in Ukrainian).
- Hordyenko, M.Y., Shablyi, Y.V. and Shlapak, V.P. (1995) *Scots pine, its features, creation of plantations, productivity*. Kyiv: Lybid (in Russian).
- Lialin, O.I. (2008) 'Condition and growth of pine plantations created with containerized planting material', *Forestry and Forest Melioration*, 113, pp. 93–100 (in Ukrainian).

- Morozov, G.F. (1949) *The Teaching of the Forest*. Moscow; Leningrad: Goslesbumizdat (in Russian).
- Pokhyton, P.P. (1958) 'The influence of different tree species on the soil', *Soil Science*, 6, pp. 49–55 (in Russian).
- Romakin, V.V. (2006) *Computer data analysis: Tutorial*. Mykolaiv: MDHU im. Petra Mohyly (in Ukrainian).
- Rumiantsev, M.H., Vysotska, N.Yu., Borysenko, O.I., Yushchik, V.S. and Khromuliak, O.I. (2021) 'Current state and productivity of pine stands in Kharkiv region', *Forestry and Forest Melioration*, 139, pp. 10–19 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.139.2021.10>
- Rumiantsev, M.H., Yushchik, V.S. and Danylenko, O.M. (2024). 'Survivability and mensuration indicators of two-year forest plantations of Scots pine, created by different methods, in the branch "Zhovtneve Forestry"', in *Scientific readings named after V.M. Vinogradov. Proceedings of the 6th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Graduates of Higher Education and Young Scientists*. Kherson: KhDAEU, pp. 55–57 (in Ukrainian).
- Tkach, V.P. and Meshkova, V.L. (2019) 'Modern problems of formation and reproduction of biologically stable pine forests of Ukraine in conditions of climate change', in *Pine forests: current status, existing challenges and ways forward. Proceedings of International Scientific and Practical Conference*. Kyiv, pp. 70–77 (in Ukrainian).
- Tkach, V.P., Kobets, O.V. and Rumiantsev, M.H. (2018) 'Use of forest site capacity by forests of Ukraine', *Forestry and Forest Melioration*, 132, pp. 3–12 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.132.2018.3>
- URIFFM (2014) *To improve technologies for creating forest plantations in large fires and growing planting material of major forest species*. Report on research work on the project No16 for 2014 (final). [Ugarov, V.M., Ed.]. Kharkiv, URIFFM (in Ukrainian).
- Vasylevskiy, O.H., Yelisavenko, Yu.A., Tarnopilskiy, P.B. and Rumiantsev, M.H. (2024) 'Growth of forest plantations of the Scots pine and English oak established by different types of planting material in the Right-Bank Forest-Steppe in Ukraine', *Forestry and Forest Melioration*, 144, pp. 59–68 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.144.2024.59>

SURVIVAL AND GROWTH CHARACTERISTICS OF FOREST PINE PLANTATIONS ESTABLISHED WITH DIFFERENT PLANTING STOCK TYPES IN THE SOUTH-EASTERN PART OF THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Yushchik V.S.^{1*}

The growth variables and survivability were compared for two- and three-year-old Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) plantations established using different methods, planting stock types, and compositions in fresh infertile pine site type and fresh fairly infertile pine site type in the Branch "Zhovtneve Forestry" of the State Specialized Forest Enterprise "Forests of Ukraine" and Kharkiv Forest Research Station. The data did not reveal a significant difference for different planting methods and different species compositions. However, it was found that two- and three-year-old plantations in fresh fairly infertile pine site type statistically significantly exceed the plantations in fresh infertile pine site type: by 12% and 10% in height, by 8% and 15% in height increment and by 16% and 11% in diameter of the root collar, respectively. There was a significant predominance in the growth rate of plantations planting by containerized seedlings compared to that planting by bare-root seedlings, in particular by 13% and 28% in average height, by 15% and 21% in average height increment, and by 15% and 16% in average diameter of the root neck, respectively.

Key words: *Pinus sylvestris* L., seedlings, technology of planting forest plantations, type of forest site condition.

Одержано редколегією 30.09.2024

¹Yushchik Vita, PhD Student, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. Scientific supervisor – Senior Researcher M.H. Rumiantsev, PhD (Agricultural Sciences). E-mail: vitay2715@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2472-3882>

* Correspondence: vitay2715@gmail.com

ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ

УДК 630.1:582.572.232:546.36.027.137/.32.027.40:(477.42)



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.65>

ІНТЕНСИВНІСТЬ АКУМУЛЮВАННЯ ¹³⁷Cs ТА ⁴⁰K КОНВАЛІЄЮ ЗВИЧАЙНОЮ (*CONVALLARIA MAJALIS* L.) У ЖИТОМИРСЬКОМУ ПОЛІССІ

О. О. Орлов^{1*}, О. В. Жуковський², Т. В. Курбет³, В. В. Шевчук⁴

Розглянуто особливості акумулювання ¹³⁷Cs та ⁴⁰K фітомасою конвалії звичайної у Житомирському Поліссі. Виявлено, що питома активність ¹³⁷Cs у ґрунтах на постійних пробних площах була значно більшою, ніж ⁴⁰K. Зворотну закономірність визначено для фітомаси конвалії – на всіх постійних пробних площах середні значення питомої активності ⁴⁰K у фітомасі цього виду значно перевищували відповідний показник ¹³⁷Cs. Продемонстровано логнормальний розподіл значень коефіцієнта переходу (КП) як ¹³⁷Cs, так і ⁴⁰K у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії» з ексцесом в області низьких значень. Виявлено зворотний лінійний зв'язок середньої тісноти ($r = -0,56$) питомої активності ¹³⁷Cs та ⁴⁰K у ґрунті з величиною КП ¹³⁷Cs. Його задовільно апроксимує лінійне рівняння $y = 2,50 - 0,021x$. Виявлено статистично достовірне зменшення інтенсивності акумуляції ¹³⁷Cs у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії» у міру збільшення співвідношення ¹³⁷Cs/⁴⁰K у ґрунті, який є носієм радіоцезію.

Ключові слова: цезій-137, калій-40, питома активність, коефіцієнт переходу (КП), ґрунт, фітомаса.

Вступ. Після Чорнобильської катастрофи найбільшу увагу науковців було прикуто до ¹³⁷Cs, натомість інші радіонукліди донині вивчено значно гірше, а часто – лише фрагментарно. Одним із таких радіонуклідів є природний радіоізотоп ⁴⁰K, який вважають аналогом ¹³⁷Cs (Prister *et al.*, 1991). Крім того, ⁴⁰K має константне співвідношення зі стабільним калієм (³⁹K+⁴¹K) (Prister *et al.*, 1991), що дає змогу використовувати ⁴⁰K для оцінювання забезпеченості ґрунтів валовим калієм. Загалом вважають, що в екосистемах калій конкурує з ¹³⁷Cs і є його антагоністом (Fredriksson, 1970), що зменшує акумуляцію ¹³⁷Cs рослинами з ґрунту за наявності значного вмісту валового калію.

Метою дослідження було кількісне оцінювання інтенсивності акумуляції ¹³⁷Cs та ⁴⁰K фітомасою конвалії звичайної (*Convallaria majalis* L.) з ґрунту.

Взаємовідносини ¹³⁷Cs та валового калію під час накопичення рослинами вивчають, починаючи із 70-х років ХХ століття (Fredriksson, 1970). Інтерес до цієї проблеми суттєво збільшився після Чорнобильської катастрофи, причому в різних природних екосистемах: болотних (Bunzl and Kracke, 1989; Vinichuk *et al.*, 2010), лучних (Coughtrey *et al.*, 1989; Heinrich and Remele, 1996; Bunzl *et al.*, 2000) і лісових (Ronneau *et al.*, 1991; Wyttenbach *et al.*, 1995; Yoshida and Muramatsu, 1998).

Радіоактивне забруднення конвалії звичайної після Чорнобильської катастрофи привернуло увагу дослідників (Orlov and Mazera, 1994; Krasnov *et al.*, 2019a; 2019b).

¹ Орлов Олександр Олександрович, кандидат біологічних наук, старший науковий співробітник, ДУ «Інститут геохімії навколишнього середовища НАН України», пр-т Академіка Палладіна, 34а, Київ, 02000, Україна; Поліський філіал УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького, вул. Нескорених, 2, Довжик, Житомирська обл., 10004, Україна. E-mail: orlov.botany@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2923-5324>

² Жуковський Поліський філіал УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького Олег Валерійович, кандидат сільськогосподарських наук, Поліський філіал УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького, вул. Нескорених, 2, Довжик, Житомирська обл., 10004, Україна. E-mail: zh_oleh2183@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-9856>

³ Курбет Тетяна Володимирівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Державний університет «Житомирська політехніка», вул. Чуднівська, 103, Житомир, 10005, Україна; Поліський філіал УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького, вул. Нескорених, 2, Довжик, Житомирська обл., 10004, Україна. E-mail: kpn_ktv@ztu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7820-4263>

⁴ Шевчук Віктор Васильович, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Поліський філіал УкрНДІЛГА ім. Г. М. Висоцького, вул. Нескорених, 2, Довжик, Житомирська обл., 10004, Україна. E-mail: polysskiy_branch@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9121-9881>

* Адреса для кореспонденції: orlov.botany@gmail.com

Продемонстровано, що в умовах свіжих і вологих сугрудів Українського Полісся вид є слабким накопичувачем ^{137}Cs , з коефіцієнтом переходу $1,0 < \text{КП} < 10,0 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$.

Досліджено основні закономірності поглинання іонів $^{137}\text{Cs}^+$ та K^+ рослинами з ґрунту (Marscher, 1995) та шляхи їхнього надходження до рослинного організму (Gassmann and Schroeder, 1994; Zhu and Smolders, 2000; Ehlken and Kirchner, 2002). Показано, що K^+ надходить до кореневих волосків через іонні канали або в комплексі зі специфічними транспортерами іншим шляхом, тоді як $^{137}\text{Cs}^+$ – лише через іонні канали. Зроблено висновок, що за всієї подібності поведінки іонів $^{137}\text{Cs}^+$ та K^+ у системі «ґрунт – рослини» вони не є прямими аналогами (Smolders *et al.*, 1996; del Carmen Ciuffo and Belli, 2006). Водночас виявлено наявність тісної додатної кореляції між концентраціями $^{137}\text{Cs}^+$ та K^+ у судинних рослин соснових лісів Японії (Yoshida and Muramatsu, 1998), зокрема показано подібність розподілу ^{137}Cs та валового калію у дереві сосни: максимальні концентрації виявлено у найбільш фізіологічно активних органах і тканинах – камбії, однорічній хвої, зовнішніх радіальних шарах деревини (Yoshida *et al.*, 2011). Подібні дослідження, проведені в Європі, продемонстрували однакові тренди сезонної динаміки стабільних ^{133}Cs та $^{39}\text{K}+^{41}\text{K}$ у хвої ялини європейської (*Picea abies* (L.) H. Karst.) (Myttenaere *et al.*, 1993). Це дало змогу зробити важливий методичний висновок про можливість використання даних стосовно поведінки стабільного калію для оцінювання поведінки ^{137}Cs у системі «ґрунт – рослини» у лісових біогеоценозах. Аналогічний висновок зроблено стосовно болотних екосистем Австрії (Bunzl and Kracke, 1989; Heinrich and Remele, 1996). Протилежний висновок щодо сезонної динаміки ^{137}Cs та валового калію на болотах Англії у пухівці піхвовій (*Eriophorum vaginatum* L.) зробили Jones *et al.* (1998). За їхніми даними, сезонна динаміка цих елементів значно різниться, що, з одного боку, свідчить про відмінності фізико-хімічних властивостей цих елементів, а з іншого – про різні шляхи їхньої транслокації в організмі рослини.

Лише поодинокі публікації присвячено взаємовідносинам ^{137}Cs та ^{40}K у системі «ґрунт – рослини». Зокрема, для альпійських луків Італії (del Carmen Ciuffo and Belli, 2006) зроблено висновок, що більші концентрації ^{40}K у ґрунті зумовлюють менше поглинання ^{137}Cs рослинами. Це добре узгоджується з раніше зробленим висновком про конкурентні відносини валового калію та ^{137}Cs у природних та антропогенних, зокрема сільськогосподарських, екосистемах (Prister *et al.*, 1991; Yoshida and Muramatsu, 1999) та важливість внесення калійних добрив для реабілітації сільськогосподарських угідь.

Матеріали й методи. Дослідження проведено в травні 2023 р. на постійних пробних площах (ППП), закладених у 1991 р. у Лугинському (ППП № 1 і 2) та Красноставському (ППП № 5 і 6) лісництвах філії «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України». Таксаційні показники насаджень наведено станом на 2018 р. (табл. 1).

На всіх пробних площах рослинний покрив був подібним. Підріст – дуб звичайний (*Quercus robur* L.) віком 8–15 років, 2,2–3,5 м заввишки. Підлісок – розріджений, рівномірний, із зімкненістю 0,1–0,3, з крушини ламкої (*Frangula alnus* Mill.) та горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.). Трав'яно-чагарничковий ярус густий, рівномірний, з проєктивним покриттям 70–80 % та домінуванням конвалії звичайної (*Convallaria majalis* L.) (50–55 %). Постійними видами були: орляк звичайний (*Pteridium aquilinum* (L.) Kuhn.) (5–15 %), купина запашна (*Polygonatum odoratum* (Mill.) Druce) (3–5 (10) %), суниця лісова (*Fragaria vesca* L.) (1–3 %), серпій фарбувальний (*Serratula tinctoria* L.) (1–3 %), перлівка поникла (*Melica nutans* L.) (3–5 %), дзвоники персиколісті (*Campanula persicifolia* L.) (до 1 %), конюшина альпійська (*Trifolium alpestre* L.) (1–5 %), смовдь оленьча (*Peucedanum cervaria* (L.) Lapeyr.) (3–5 %), вероніка дібровна (*Veronica chamaedrys* L.) та інші. Флористична насиченість ценозу становила 50–65 видів на 625 м².

Представлена флористична асоціація *Serratulo-Pinetum (sylvestris)* (Matuszkiewich 1981) J. Matuszkiewich 1988, союзу *Pino-Quercion* Medwecka-Kornaś *et al.* in Szafer 1959, порядку *Quercetalia roboris* Tx. 1931, класу *Quercetea robori-petraeae* Br.-Bl. ex Tx. ex Oberd. 1957.

Таксаційна характеристика деревостанів на пробних площах у філії «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України», станом на 2018 р.

Mensuration characteristics of permanent experimental plots (PEP) in the Branch “Luhyny Forestry” of the State Specialized Forest Enterprise “Forests of Ukraine”, as of 2018

№ ППП No. PEP	Місцезнаходження Location	Вік, років Age, years	Склад деревостану Composition of the stand	Відносна повнота Relative density of stocking	Клас бонітету Stand quality class
1	Лугинське л-во, квартал 86, виділ 14 Luhyny forestry, compartment 86, subcompartment 14	74	5Ос2Дз2Бп1Сз Aspen 50%, oak 20%, birch 20%, pine 10%	0,6	II
2	Лугинське л-во, квартал 86, виділ 11 Luhyny forestry, compartment 86, subcompartment 11	74	4Дз3Сз2Бп1Ос Oak 40%, pine 30%, birch 20%, aspen 10%	0,7	I
5	Красноставське л-во, квартал 14, виділ 1 Krasnostav forestry, compartment 14, subcompartment 1	78	6Дз2Бп2Сз Oak 60%, birch 20%, pine 20%	0,7	I
6	Красноставське л-во, квартал 14, виділ 2 Krasnostav forestry, compartment 14, subcompartment 2	73	6Сз3Бп1Дз Pine 60%, birch 30%, oak 10%	0,7	I

Ґрунт – багаті відміни дерново-слабопідзолистих супіщаних або глинисто-піщаних ґрунтів на водно-льодовикових відкладах. Лісова підстилка (H_0) потужністю 3–5 см складалася переважно з хвойного опаду та решток листя дерев, трав і чагарничків. Гумусово-елювіальний горизонт (HE) потужністю 15–20 см, темно-сірий, супіщаний, свіжий, густо пронизаний корінням сосни, коренями трав і чагарничків. Елювіальний горизонт (E) виражений фрагментарно. Щільно коренезаселений шар ґрунту мав товщину 30 см.

На кожній пробній площі за допомогою сітки Л. Г. Раменського закладали 6 облікових ділянок площею 1 м², з яких зрізали надземну фітомасу конвалії, а також відбирали комплементарні до неї зразки ґрунту (циліндричним буром діаметром 5 см, на глибину 10 см). Ці зразки ґрунту було об'єднано по 5 шт. у збірні зразки, які характеризували ділянки площею 1 м² та в яких надалі проводили всі вимірювання.

Показником інтенсивності акумуляції ¹³⁷Cs надземною фітомасою рослин із ґрунту слугував коефіцієнт переходу (КП), який розраховували як відношення питомої активності певного радіонукліда у фітомасі (Ам, Бк·кг⁻¹) до щільності забруднення ґрунту цим радіонуклідом (Ас, кБк·м⁻²), тому КП мав розмірність – м²·кг⁻¹·10⁻³ (Belli and Tikhomirov, 1996).

Усі зразки висушували в сушильних шафах до повітряно-сухого стану: фітомасу – за температури 70 °С протягом 72 год.; ґрунт – за 80°С протягом 96 год. та механічно гомогенізували на пробопідготовлювачах ПРП та ПРГ, уміщували в посудини Марінеллі об'ємом 1 000 см³ та 500 см³ та зважували. Питому активність ¹³⁷Cs та ⁴⁰K у зразках вимірювали на багатоканальному спектроаналізаторі СЕГ-001 «АКП-С» із сцинтиляційними детекторами БДЕГ-20Р2. Відносна похибка вимірювання цього показника стосовно обох радіонуклідів не перевищувала 15 %.

Українські назви рослин подано за Ю. Кобівим (Kobiv, 2004), латинські – за базою Plants of the World Online (POWO, 2024). Тип лісорослинних умов визначали за П. С. Погребняком (Pogrebnyak, 1955). Статистичний аналіз отриманих результатів здійснювали із застосуванням пакета MS Excel загальноприйнятими методами варіаційної статистики (Lakin, 1973).

Результати. Нами отримано значення питомої активності ^{137}Cs та ^{40}K у ґрунтах пробних площ, визначено щільність забруднення ґрунту цими радіонуклідами та обраховано середні значення (табл. 2).

Таблиця 2

Радіоекологічні параметри ^{137}Cs та ^{40}K у ґрунтах постійних пробних площ

Table 2

Radioecological parameters of ^{137}Cs and ^{40}K in the soils of permanent experimental plots (PEP)

№ ППП No. PEP	Статистичні показники Statistical indicators	^{137}Cs		^{40}K	
		Am у ґрунті, Бк·кг ⁻¹ Am in the soil, Bq·kg ⁻¹	As ґрунту, кБк·м ⁻² As of the soil, kBq·m ⁻²	Am у ґрунті, Бк·кг ⁻¹ Am in the soil, Bq·kg ⁻¹	As ґрунту, кБк·м ⁻² As of the soil, kBq·m ⁻²
1	<i>M</i>	4 109	345,1	69,0	6,0
	$\pm m$	612,3	45,35	6,1	0,74
	$\pm \text{Std}$	1 499,72	111,09	14,94	1,82
	<i>V</i> , %	36,50	32,19	21,81	30,35
	<i>p</i> , %	14,90	13,14	8,90	12,39
2	<i>M</i>	3 752	326,2	81	7,0
	$\pm m$	255,6	21,34	4,69	0,42
	$\pm \text{Std}$	626,00	52,26	11,48	1,03
	<i>V</i> , %	16,68	16,02	14,24	14,63
	<i>p</i> , %	6,81	6,54	5,81	5,97
5	<i>M</i>	576	46,0	108,5	8,8
	$\pm m$	50,5	2,87	8,7	0,9
	$\pm \text{Std}$	123,78	7,03	21,36	2,22
	<i>V</i> , %	21,48	15,29	19,69	25,14
	<i>p</i> , %	8,77	6,24	8,04	10,26
6	<i>M</i>	778	61,5	118,0	9,5
	$\pm m$	79,5	5,30	7,46	0,84
	$\pm \text{Std}$	210,34	14,01	19,75	2,23
	<i>V</i> , %	27,03	22,78	16,74	23,37
	<i>p</i> , %	10,22	8,61	6,33	8,83

Примітки:

1. Статистичні показники: *M* – середнє арифметичне значення; *m* – похибка середнього арифметичного значення; Std – середнє квадратичне відхилення; *V* – коефіцієнт варіювання; *p* – відносна похибка середнього значення.

2. Am – питома активність радіонукліда у фітомасі, Бк·кг⁻¹; As – щільність забруднення ґрунту радіонуклідом, кБк·м⁻².

Notes:

1. Statistical indicators: *M* – arithmetic mean; *m* – error of arithmetic mean; Std – standard deviation; *V* – coefficient of variation; *p* – relative error of arithmetic mean.

2. Am – activity concentration of radionuclide in phytomass, Bq·kg⁻¹; As – density of soil contamination by radionuclide, kBq·m⁻².

Експериментальне визначення питомої активності ^{137}Cs у надземній фітомасі конвалії звичайної та щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs та ^{40}K дало змогу розрахувати середні значення КП для кожного з цих радіонуклідів та відповідні статистичні показники (табл. 3).

Таблиця 3

Середні значення питомої активності ^{137}Cs та ^{40}K у зразках, щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs та ^{40}K та середні значення КП обох радіонуклідів у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії»

Table 3

The average values of activity concentration of ^{137}Cs and ^{40}K in the samples, density of soil contamination by ^{137}Cs and ^{40}K and the average values of transfer factor (TF) of both radionuclides in the chain «soil – lily-of-the-valley phytomass»

№ ППП No. PEP	Статистичні показники Statistical indicators	^{137}Cs			^{40}K		
		Am у фітомасі, Бк·кг ⁻¹ Am in phytomass, Bq·kg ⁻¹	As ґрунту, кБк·м ⁻² As of the soil, kBq·m ⁻²	КП, м ² ·кг ⁻¹ ·10 ⁻³ TF, m ² ·kg ⁻¹ ·10 ⁻³	Am у фітомасі, Бк·кг ⁻¹ Am in phytomass, Bq·kg ⁻¹	As ґрунту, кБк·м ⁻² As in the soil, kBq·m ⁻²	КП, м ² ·кг ⁻¹ ·10 ⁻³ TF, m ² ·kg ⁻¹ ·10 ⁻³
1	<i>M</i>	421	345,1	1,3	667	6,0	119,1
	$\pm m$	31,5	45,35	0,15	45,9	0,74	14,04
	$\pm \text{Std}$	77,18	111,09	0,38	112,54	1,82	34,39
	<i>V</i> , %	18,32	32,19	28,89	16,87	30,35	28,88
	<i>p</i> , %	7,48	13,14	11,80	6,89	12,39	11,79
2	<i>M</i>	398	326,2	1,2	693	7,0	103,0
	$\pm m$	52,35	21,34	0,16	48,3	0,42	15,13
	$\pm \text{Std}$	128,22	52,26	0,39	118,31	1,03	37,05
	<i>V</i> , %	32,20	16,02	31,43	17,08	14,63	35,96
	<i>p</i> , %	13,15	6,54	12,83	6,97	5,97	14,68
5	<i>M</i>	136	46,0	3,0	820	8,8	98,7
	$\pm m$	14,3	2,87	0,35	33,06	0,91	12,57
	$\pm \text{Std}$	35,05	7,03	0,86	80,98	2,22	30,78
	<i>V</i> , %	25,80	15,29	28,49	9,88	25,14	31,19
	<i>p</i> , %	10,53	6,24	11,63	4,03	10,26	12,73
6	<i>M</i>	112	61,5	2,0	932	9,5	104,5
	$\pm m$	20,2	5,30	0,48	44,8	0,84	13,34
	$\pm \text{Std}$	53,35	14,01	1,28	118,58	2,23	35,29
	<i>V</i> , %	47,69	22,78	65,21	12,72	23,37	33,78
	<i>p</i> , %	18,03	8,61	24,65	4,81	8,83	12,77

Примітки:

1. Статистичні показники: *M* – середнє арифметичне значення; *m* – похибка середнього арифметичного значення; Std – середнє квадратичне відхилення; *V* – коефіцієнт варіювання; *p* – відносна похибка середнього значення.

2. Am – питома активність радіонукліда у фітомасі, Бк·кг⁻¹; As – щільність забруднення ґрунту радіонуклідом, кБк·м⁻²; КП – коефіцієнт переходу радіонукліда з ґрунту до фітомаси конвалії, м²·кг⁻¹·10⁻³;

Notes:

1. Statistical indicators: *M* – arithmetic mean; *m* – error of arithmetic mean; Std – standard deviation; *V* – coefficient of variation; *p* – relative error of arithmetic mean.

2. Am – activity concentration of radionuclide in phytomass, Bq·kg⁻¹; As – density of soil contamination by radionuclide, kBq·m⁻²; TF – soil-to-plant transfer factor, m²·kg⁻¹·10⁻³.

Узагальнені дані щодо середніх значень КП ^{137}Cs у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії» наведено на рисунку 1, а для ^{40}K – на рисунку 2.

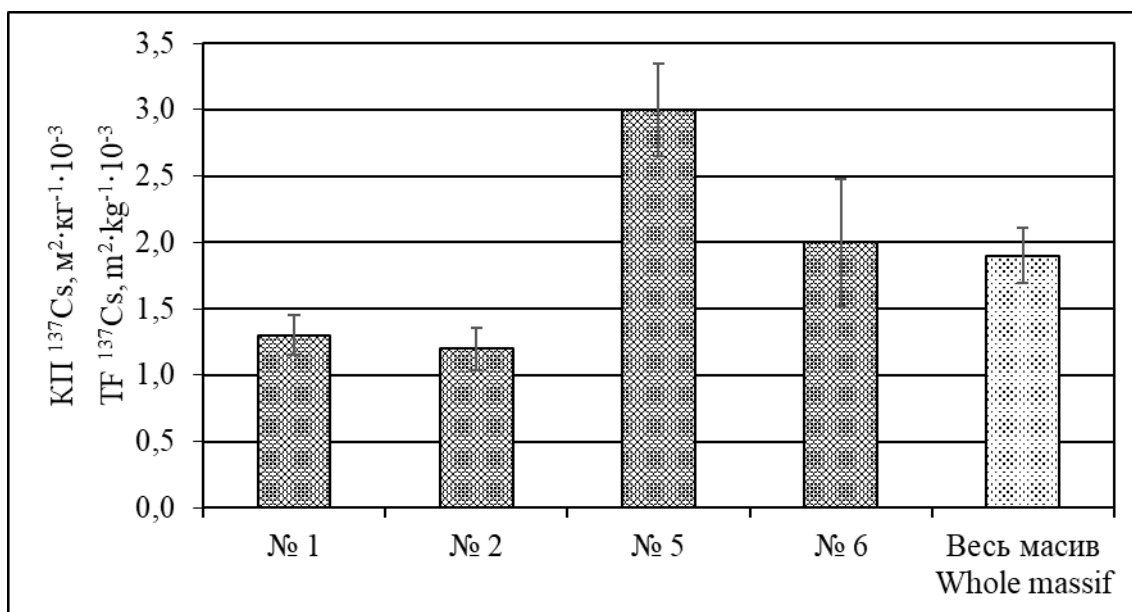


Рис. 1 – Середні значення КП ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» на постійних пробних площах

Fig. 1 – The average values of TF for ^{137}Cs in the chain “soil – lily-of-the-valley phytomass” on permanent experimental plots

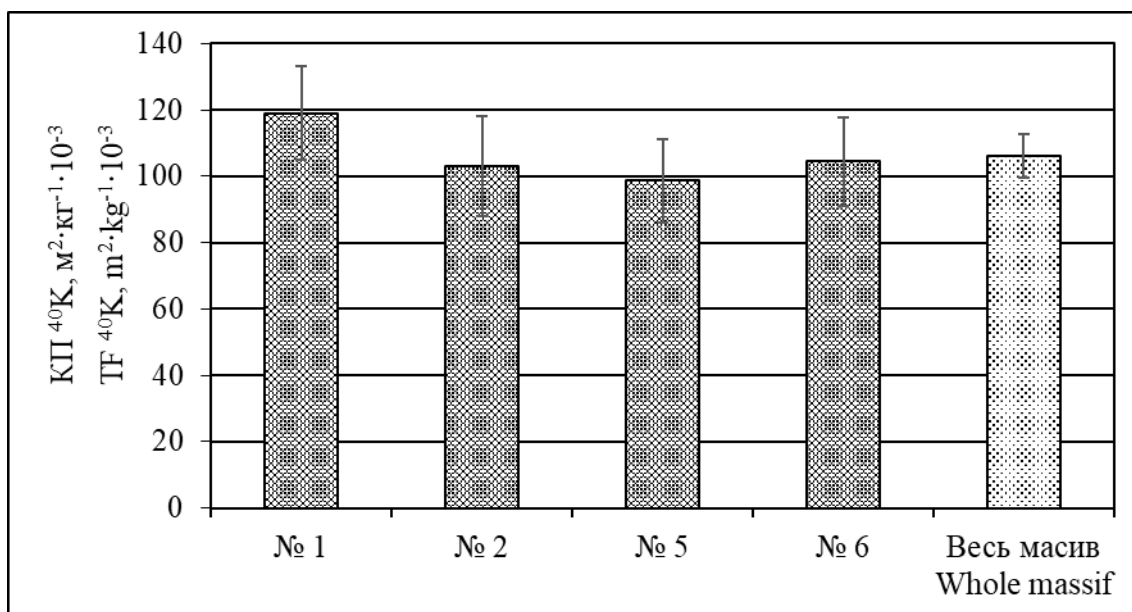


Рис. 2 – Середні значення КП ^{40}K у ланці «грунт – фітомаса конвалії» на постійних пробних площах

Fig. 2 – The average values of TF for ^{40}K in the chain “soil – lily-of-the-valley phytomass” on permanent experimental plots

Значний науковий інтерес становить аналіз статистичного розподілу фактичних значень КП ^{137}Cs (рис. 3) та ^{40}K (рис. 4) у всьому масиві даних.

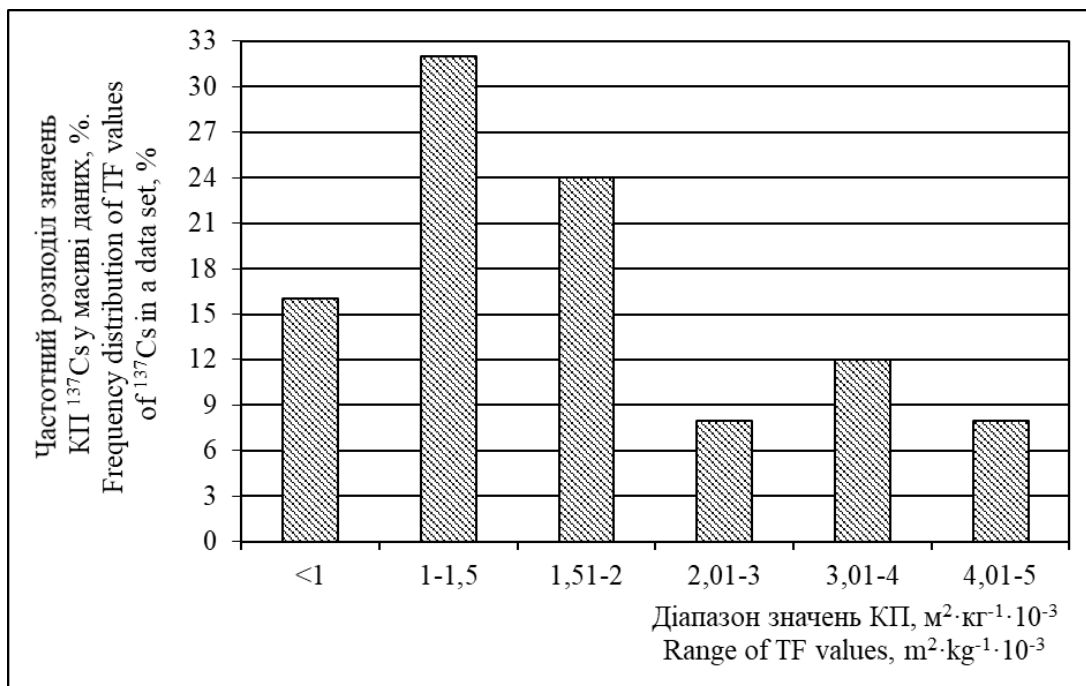


Рис. 3 – Частотний розподіл значень КП ¹³⁷Cs у масиві даних
Fig. 3 – Frequency distribution of TF values for ¹³⁷Cs in the data set

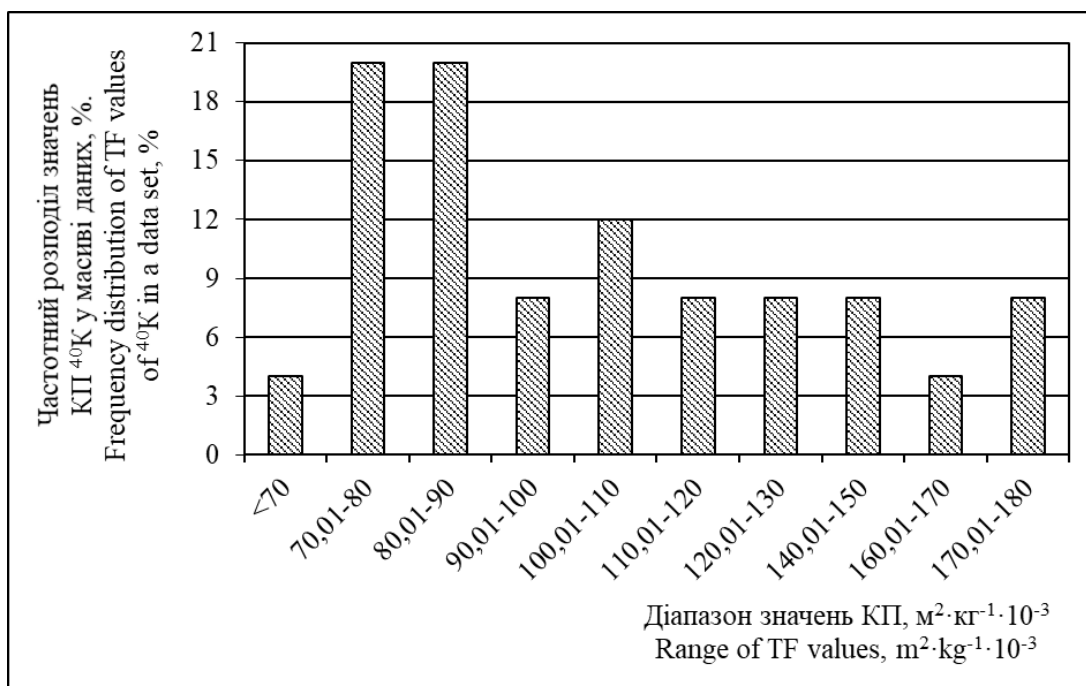


Рис. 4 – Частотний розподіл значень КП ⁴⁰K у масиві даних
Fig. 3 – Frequency distribution of TF values for ⁴⁰K in the data set

Для виявлення конкурентних взаємовідносин між ¹³⁷Cs та ⁴⁰K у системі «грунт – рослина» нами використано специфічний підхід – розрахунок кореляції співвідношення вмісту ¹³⁷Cs та ⁴⁰K у ґрунті зі значенням КП ¹³⁷Cs у конвалії звичайної (рис. 5).

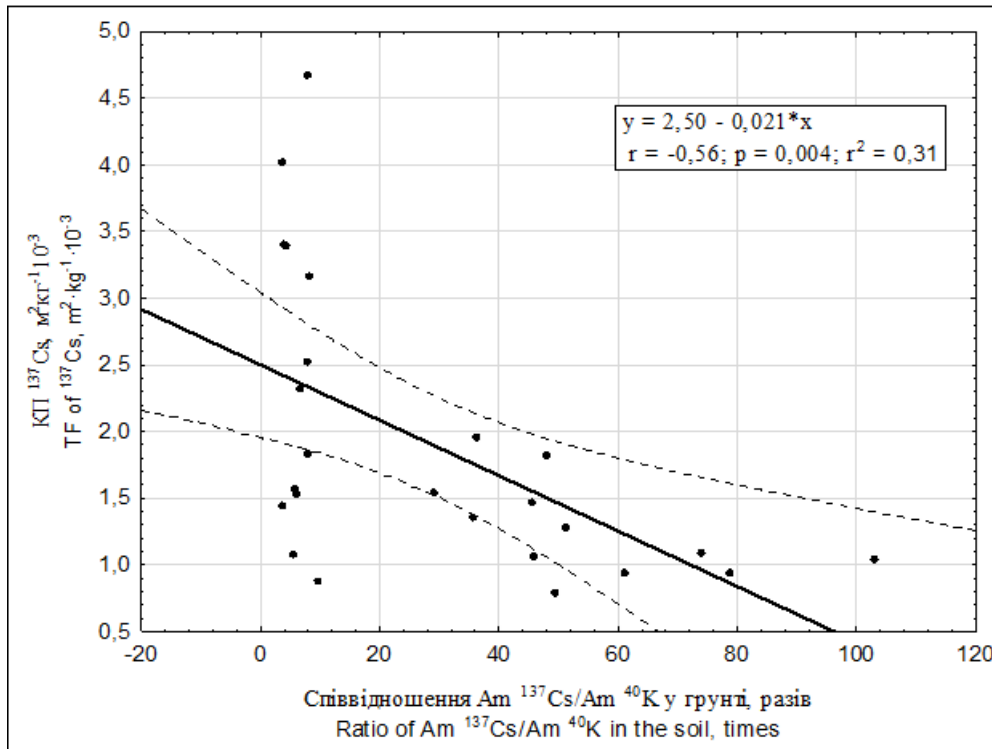


Рис. 5 – Кореляція співвідношення вмісту ^{137}Cs та ^{40}K у ґрунті з величиною КП ^{137}Cs у конвалії звичайної
 Fig. 5 – Correlation of ratio of ^{137}Cs and ^{40}K content in the soil with values of TF ^{137}Cs in lily-of-the-valley

Обговорення. Дані таблиці 2 свідчать, що в масиві даних пробних площ питома активність ^{137}Cs у ґрунті варіювала в широкому діапазоні – від $4\,109,0 \pm 612,3$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 1 до $576,0 \pm 50,5$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 5, різниця становила 7,13 разу. Розрахунки показали, що питома активність ^{40}K у ґрунті варіювала у значно вужчому діапазоні – від $69,0 \pm 6,1$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 1 до $118,0 \pm 7,5$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 6, різниця становила 1,71 разу. Середні значення щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs варіювали від $345,10 \pm 45,35$ кБк·м $^{-2}$ на ППП № 1 до $46,00 \pm 2,87$ кБк·м $^{-2}$ на ППП № 5. Аналогічний показник ^{40}K становив від $6,00 \pm 0,74$ кБк·м $^{-2}$ на ППП № 1 до $9,50 \pm 0,84$ кБк·м $^{-2}$ на ППП № 6.

Аналіз даних таблиці 3 демонструє, що вміст ^{137}Cs у фітомасі конвалії звичайної знаходився в діапазоні від $112,0 \pm 20,2$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 6 ($A_s = 61,50 \pm 5,30$ кБк·м $^{-2}$) до $4\,212,0 \pm 31,5$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 1 ($A_s = 345,10 \pm 45,35$ кБк·м $^{-2}$). Велике варіювання значень КП ^{137}Cs у фітомасі конвалії (20–25 %) на всіх пробних площах ми відзначали і раніше (Orlov and Mazera, 1994; Krasnov *et al.*, 2019b). Діапазон питомої активності ^{40}K у фітомасі конвалії звичайної був вужчим – від $667,0 \pm 45,9$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 1 ($A_s = 6,00 \pm 0,74$ кБк·м $^{-2}$) до $932,0 \pm 44,8$ Бк·кг $^{-1}$ на ППП № 6 ($A_s = 9,50 \pm 0,84$ кБк·м $^{-2}$). Дані таблиці 3 дають можливість зробити загальний висновок, що на всіх пробних площах середні значення питомої активності ^{40}K у фітомасі конвалії звичайної значно перевищували відповідний показник ^{137}Cs .

Порівняльний аналіз середніх значень КП ^{137}Cs у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії» на пробних площах (рис. 1) демонструє, що вони були незначними – від $1,20 \pm 0,16$ м 2 ·кг $^{-1}$ ·10 $^{-3}$ на ППП № 2 до $3,00 \pm 0,35$ м 2 ·кг $^{-1}$ ·10 $^{-3}$ на ППП № 5. Середнє значення КП ^{137}Cs у всьому масиві даних дорівнювало $1,90 \pm 0,41$ м 2 ·кг $^{-1}$ ·10 $^{-3}$. Наведені результати добре корелюють з раніше отриманими нами даними (2018 р.) на цих самих пробних площах (Krasnov *et al.*, 2019a; 2019b). Зокрема, у 2018 р. значення КП ^{137}Cs у ланці «ґрунт – фітомаса конвалії» були мінімальними на ППП № 1 та ППП № 2 – $2,00 \pm 0,14$ та $1,90 \pm 0,05$ м 2 ·кг $^{-1}$ ·10 $^{-3}$ відповідно. Приблизно вдвічі більшими були значення згаданого показника на ППП № 5 та ППП № 6 – $4,70 \pm 0,75$ та $4,00 \pm 0,56$ м 2 ·кг $^{-1}$ ·10 $^{-3}$ відповідно. Відзначимо також, що від початку досліджень (1991 р.) значення КП ^{137}Cs у цього виду зменшилися більш ніж у 10 разів і продовжують повільно зменшуватися (Krasnov *et al.*, 2019a).

Так, наприклад, у 1992 р. середнє значення КП ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» за даними всіх пробних площ дорівнювало $11,40 \pm 2,04 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ (Orlov and Mazera, 1994).

КП ^{40}K у ланці «грунт – фітомаса конвалії» на пробних площах (рис. 2) були значно вищими, ніж аналогічні показники ^{137}Cs , і становили від $98,70 \pm 12,57 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ на ППП № 5 до $119,10 \pm 14,04 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ на ППП № 1 за середнього значення у всьому масиві даних $106,30 \pm 4,43 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$. З даних рисунку 3 випливає, що розподіл значень КП ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» є логнормальним з ексцесом в області низьких значень. Найвищу частоту трапляння мають значення КП ^{137}Cs у діапазоні 1,0–1,5 (32,0 %) та 1,51–2,00 $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ (24,0 %). Мінімальною частотою трапляння характеризуються значення КП у діапазоні 4,01–5,0 $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ (8,0 %).

Аналіз даних рисунку 4, подібно до рисунку 3, також демонструє, що розподіл значень КП ^{40}K у ланці «грунт – фітомаса конвалії» є логнормальним з ексцесом в області низьких значень. Максимальну частоту трапляння значень КП ^{40}K виявлено в масиві даних у діапазонах 70,01–80,00 та 80,01–90,00 $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ (по 20,0 %), а мінімальну – у діапазоні 160,01–170,00 $\text{м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ (4,0 %). Наведені дані свідчать про необхідність відбору та аналізу статистично достовірних кількостей зразків як по ^{137}Cs , так і ^{40}K .

Взаємовідносини між ^{137}Cs та ^{40}K у системі «грунт – рослина» нами показані на рисунку 5 з використанням нового підходу – аналізу співвідношення питомих активностей ^{137}Cs та ^{40}K у ґрунті як конкурентних радіонуклідів із значенням КП ^{137}Cs у конвалії звичайної.

Одержані дані свідчать про зменшення інтенсивності акумулявання ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» у разі збільшення співвідношення $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ у ґрунті. Значущу залежність ($r = -0,56$; $p = 0,004$) КП ^{137}Cs у системі «грунт – конвалія» (y) від співвідношення ^{137}Cs та ^{40}K у ґрунті (x) апроксимує лінійне рівняння: $y = 2,50 - 0,021x$.

Висновки. Питома активність ^{40}K у ґрунті пробних площ є значно меншою, порівнюючи із ^{137}Cs . Натомість у фітомасі конвалії звичайної питома активність ^{40}K значно більша, ніж ^{137}Cs . Середні значення КП ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» є суттєво меншими за аналогічний показник ^{40}K – $1,9 \pm 0,41$ проти $106,3 \pm 4,43 \text{ м}^2 \cdot \text{кг}^{-1} \cdot 10^{-3}$ відповідно. Розподіл значень КП як ^{137}Cs , так і ^{40}K у ланці «грунт – фітомаса конвалії» є логнормальним з ексцесом в області низьких значень. Виявлено лінійний зворотний достовірний ($p = 0,004$) зв'язок середньої тисноти ($r = -0,56$) інтенсивністю акумулявання ^{137}Cs та співвідношенням $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ у ґрунті, який задовільно апроксимує лінійне рівняння. Виявлено статистично достовірне зменшення інтенсивності акумуляції ^{137}Cs у ланці «грунт – фітомаса конвалії» зі збільшенням співвідношення $^{137}\text{Cs}/^{40}\text{K}$ у ґрунті, який є носієм радіоцезію. Отриманий результат демонструє, що взаємодія іонів $^{137}\text{Cs}^+$ та $^{40}\text{K}^+$ у ґрунті є значно складнішою, ніж просто конкуренція.

Подяки. Автори щиро вдячні за допомогу у наданні інформації та проведенні науково-дослідних робіт спеціалістам філії «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України» – начальнику відділу лісового господарства Сергію Жубинському, головному лісничому Андрію Шевчуку й директору Валентину Угнівому та співробітникам Поліського філіалу УкрНДІЛГА – Неонілі Мороз та Олександрі Дмитренку.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами у межах виконання теми Поліського філіалу УкрНДІЛГА, замовником якої було Державне агентство лісових ресурсів України (№ держреєстрації 0120U101898).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Belli, M. and Tikhomirov, F. (eds.) (1996) *Behaviour of radionuclides in natural and semi-natural environments: Experimental Collaboration Project No. 5, Final Report*. Luxembourg: Office for Official Publications of the European Communities.
- Bunzl, K. and Kracke, W. (1989) 'Seasonal variation of soil-to-plant transfer of K and fallout $^{134}, ^{137}\text{Cs}$ in peatland vegetation', *Health Physics*, 57(4), pp. 593–600. <https://doi.org/10.1097/00004032-198910000-00011>

- Bunzl, K., Alberts, B., Schimmack, W., Belli, M., Ciuffo, L. and Menegon, S. (2000) 'Examination of a relationship between ^{137}Cs concentration in soils and plant from alpine pastures', *Journal of Environment Radioactivity*, 48(2), pp. 145–158. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(99\)00061-2](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(99)00061-2)
- Coughtrey, P. J., Kirton, J. A. Mitchell, N. G. and Morris, C. (1989) 'Transfer of radioactive cesium from soil to vegetation and comparison with potassium in upland grasslands', *Environmental Pollution*, 62, pp. 281–315. [https://doi.org/10.1016/0269-7491\(89\)90150-4](https://doi.org/10.1016/0269-7491(89)90150-4)
- del Carmen Ciuffo, L. E. and Belli, M. (2006) 'Radioactive trace in semi natural grassland. Effect of ^{40}K in soil and potential remediation', *Electronic Journal of Biotechnology*, 9(3), pp. 297–302. <http://dx.doi.org/10.2225/vol9-issue3-fulltext-5>
- Ehlken, S. and Kirchner, G. (2002) 'Environmental processes affecting plant root uptake of radioactive trace elements and variability of transfer factor data: a review', *Journal of Environmental Radioactivity*, 58, pp. 97–112. [https://doi.org/10.1016/S0265-931X\(01\)00060-1](https://doi.org/10.1016/S0265-931X(01)00060-1)
- Fredriksson, L. (1970) 'Plant uptake of fission products. III. Uptake of ^{137}Cs by *Trifolium pratense* as influenced by the potassium and calcium level in the soil', *Lantbrukshogsk. Ann*, 36, pp. 34–50.
- Gassmann, W. and Schroeder, J. I. (1994) 'Inward-rectifying K^+ channels in root hairs of wheat (A mechanism for aluminum-sensitive low-affinity K^+ uptake and membrane potential control)', *Plant Physiology*, 105(4), pp. 1399–1408. <https://doi.org/10.1104/pp.105.4.1399>
- Heinrich, G. and Remele, K. (1996) ' ^{137}Cs , ^{90}Sr , K^+ and Ca^{++} in lichens, mosses and vascular plants of mountain area in Styria, Austria', in *Ten years terrestrial radioecological research following the Chernobyl accident. Intern. Symposium on Radioecology 1996*. Austria: Berger, pp. 243–250.
- Jones, D. R., Eason, W. R. and Dighton, J. (1998) 'The partitioning of ^{137}Cs , in comparison to K, P, and Ca in the shoots of *Eriophorum vaginatum* L. plants', *Environmental Pollution*, 101(3), pp. 437–439. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(97\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(97)00170-X)
- Kobiv, Yu. V. (2004) *Dictionary of Ukrainian scientific and vernacular names for vascular plants*. Kyiv: Naukova Dumka. ISBN 966-00-0355-2 (in Ukrainian).
- Krasnov, V. P., Melnik, V. V., Kurbet, T. V., Zhukovsky, O. V., Zborovska, O. V. and Orlov, O. O. (2019a) 'Dynamics of ^{137}Cs activity concentration in *Convalaria majalis* L. in Polissia forests of Ukraine after the accident at Chornobyl Nuclear Power Plant', *Nuclear Physics and Atomic Energy*, 20(3), pp. 278–284 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15407/jnpae2019.03.278>
- Krasnov, V. P., Orlov, O. O., Zhukovsky, O. V., Zborovska, O. V., Kurbet, T. V., Melnyk, V. V. and Shelest, Z. M. (2019b) 'Radioactive contamination of lily-of-the valley (*Convallaria majalis* L.) in Zhytomyr Polissia forests', *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(9), pp. 60–64 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40290910>
- Lakin, G. F. (1973) *Biometrics*. Moscow: Vysshaya Shkola (in Russian).
- Marscher, H. (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants. Second edition*. London: Academic Press. ISBN 0-12-473542-8.
- Myttenaere, C., Schell, W. R., Thiry, Y., Sombre, L., Ronneau, C. and van der Stegen de Schrieck, J. (1993) 'Modelling of Cs-137 cycling in forests: recent developments and research needed', *Science of the Total Environment*, 136, pp. 77–91. [https://doi.org/10.1016/0048-9697\(93\)90298-K](https://doi.org/10.1016/0048-9697(93)90298-K)
- Orlov, O. O. and Mazepa, M. G. (1994) 'Radioactive cesium-137 contamination of lily-of-the-valley in Zhytomyr Polissya', *Radioecology*, 88, pp. 28–32 (in Ukrainian).
- Pogrebnyak, P. S. (1955) *Fundamentals of forest typology*. Kyiv: Publishing House of the AS of the Ukrainian SSR (in Russian).
- POWO (2024) *Plants of the World Online (2017–2024)*. Available at: <https://powo.science.kew.org/> (Accessed: 05 November 2024).
- Priester, B. S., Loshchilov, N. A., Nemets, O. F. and Poyarkov, V. A. (1991) *Fundamentals of Agricultural Radiology*. Kyiv: Urozhay. ISBN 5-337-00981-8 (in Russian).
- Ronneau, C., Sombre, L., Myttenaere, C., Andre, P., Vanhouche, M. and Cara, J. (1991) 'Radiocaesium and potassium behaviour in forest trees', *Journal of Environmental Radioactivity*, 14, pp. 259–268. [https://doi.org/10.1016/0265-931X\(91\)90032-B](https://doi.org/10.1016/0265-931X(91)90032-B)
- Smolders, E., Kiebooms, L., Buysse, J. and Merckx, R. (1996) ' ^{137}Cs uptake in spring wheat (*Triticum aestivum* L. cv. Tonic) at varying K supply', *Plant Soil*, 18(2), pp. 205–209. <https://doi.org/10.1007/BF00012054>
- Vinichuk, M., Johanson, K.J., Rydin, H. and Rosén, K. (2010) 'The distribution of ^{137}Cs , K, Rb and Cs in plants in a *Sphagnum*-dominated peatland in eastern central Sweden', *Journal of Environmental Radioactivity*, 101(2), pp. 170–176. <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2009.10.003>
- Wytenbach, A., Bajo, S., Bucher, J., Furrer, V., Schleppli, P. and Tobler, L. (1995) 'The concentrations of K, Rb and Cs in spruce needles (*Picea abies* Karst.) and in the associated soils', *Journal of Plant Nutrition and Soil Science*, 158, pp. 499–504. <https://doi.org/10.1002/jpln.19951580514>
- Yoshida, S. and Muramatsu, Y. (1998) 'Concentrations of alkali and alkaline earth elements in mushrooms and plants collected in a Japanese pine forest, and their relationship with ^{137}Cs ', *Journal of Environmental Radioactivity*, 41(2), pp. 183–205.

- Yoshida, S. and Muramatsu, Y. (1999) ‘Use of stable elements for predicting radionuclide transport’, in Linkov, I. and Schell, W. R. (eds.) *Contaminated Forests: Recent Developments in Risk Identification and Future Perspectives*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, pp. 41–49. ISBN 0-7923-5738-8 (HB). https://doi.org/10.1007/978-94-011-4694-4_4
- Yoshida, S., Watanabe, M. and Suzuki, A. (2011) ‘Distribution of radiocesium and stable elements within a pine tree’, *Radiation Protection Dosimetry*, 146(1–3), pp. 326–329. <https://doi.org/10.1093/rpd/ncr181>
- Zhu, Y-G. and Smolders, E. (2000) ‘Plant uptake of radiocaesium: a review of mechanisms, regulation and application’, *Journal of Experimental Botany*, 51(351), pp. 1635–1645. <https://doi.org/10.1093/jexbot/51.351.1635>

INTENSITY OF ¹³⁷CS AND ⁴⁰K ACCUMULATION BY LILY-OF-THE-VALLEY (*CONVALLARIA MAJALIS* L.) IN ZHYTOMYR POLISSIA

Orlov O.O.^{1*}, Zhukovskyi O.V.², Kurbet T.V.³, Shevchuk V.V.⁴

The features of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K accumulation by the phytomass of lily-of-the-valley in Zhytomyr Polissya were considered. It was found that ¹³⁷Cs activity concentration in the soils of permanent experimental plots was much higher than that of ⁴⁰K. The opposite pattern was observed in the lily-of-the-valley phytomass: in all permanent experimental plots, the average values of ⁴⁰K activity concentration in the phytomass of this species significantly exceeded the corresponding ¹³⁷Cs value. A lognormal distribution of both ¹³⁷Cs and ⁴⁰K transfer factors in the link “soil – phytomass” was demonstrated, with an excess in the low-value range. A moderate negative linear relationship between the specific activity of ¹³⁷Cs and ⁴⁰K in soil and the value of ¹³⁷Cs soil-to-plant transfer factor (TF) ($r = -0.56$) was found. It is satisfactorily approximated by the linear equation $y = 2.50 - 0.021x$. A statistically significant decrease in the intensity of ¹³⁷Cs accumulation in the link “soil – lily-of-the-valley phytomass” was found with an increase of ⁴⁰K content in the soil (as an indicator of the macroamounts of total potassium).

К е у о р д s: cesium-137, potassium-40, activity concentration, transfer factor (TF), soil, phytomass.

Одержано редколегією 20.11.2024

¹Orlov Oleksandr, PhD (Biology), Senior Researcher, SI “Institute of Environmental Geochemistry of the NAS of Ukraine”, Academician Palladin Avenue 34a, Kyiv, 02000, Ukraine; Poliskyi Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Neskorenykh Street 2, Dovzhyk, Zhytomyr region, 10004, Ukraine. E-mail: orlov.botany@gmail.com, ORCID Poliskyi Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky: <https://orcid.org/0000-0003-2923-5324>

²Zhukovskyi Oleh, PhD (Agricultural Sciences), Poliskyi Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Neskorenykh Street 2, Dovzhyk, Zhytomyr region, 10004, Ukraine. E-mail: zh_oleh2183@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3351-9856>

³Kurbet Tetyana, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Zhytomyr Polytechnic State University, Chudnivska Street 103, Zhytomyr, 10005, Ukraine; Poliskyi Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Neskorenykh Street 2, Dovzhyk, Zhytomyr region, 10004, Ukraine. E-mail: kpn_ktv@ztu.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7820-4263>

⁴Shevchuk Viktor, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Poliskyi Branch of the Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Neskorenykh Street 2, Dovzhyk, Zhytomyr region, 10004, Ukraine. E-mail: polysskiy_branch@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-9121-9881>

*Correspondence: orlov.botany@gmail.com



ОЦІНЮВАННЯ ЙМОВІРНИХ ЗМІН ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ У ЛІСАХ УКРАЇНИ В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

С. Г. Сидоренко^{1*}, В. О. Балабух², Є. Є. Мельник³, В. П. Ворон⁴, І. М. Коваль⁵,
С. В. Сидоренко⁶

Наведено результати оцінювання ймовірних змін пожежної небезпеки в лісах України в умовах зміни клімату. Необхідною умовою оцінювання майбутніх змін горимості та щільності лісових пожеж було визначення режимів пожеж та особливостей їхнього просторового розподілу у попередні роки. Ці дані використано для оцінювання реакції режиму пожеж на зміну окремих кліматичних показників упродовж базового періоду, відносно якого оцінено прогнозовані зміни горимості лісів у періоди 2021–2040, 2041–2060, 2080–2100 рр. Всі обрахунки здійснювали на рівні адміністративних областей і в підсумкових таблицях дані групували з урахуванням лісорослинного районування України. Це надало можливість змоделювати сценарії зміни щільності та площі лісових пожеж на основі аналізу регіональних моделей зміни клімату. Водночас ці сценарії є орієнтовними та можуть бути використані як додаткові аналітичні матеріали під час стратегічного планування протипожежних заходів у лісах на рівні адміністративних областей України, створення довгострокових регіональних програм і проектів управління пожежами.

Ключові слова: лісові пожежі, горимість лісів, щільність пожеж, кліматичні чинники.

Вступ. Упродовж останніх десятиліть у країнах Європи збільшується частота виникнення великих та особливо великих лісових пожеж (Reid *et al.*, 2010; Stepanenko *et al.*, 2011; Balabukh and Zibtsev, 2016; de Rigo *et al.*, 2017; Soshenskyi *et al.*, 2021). У 2020 р. сталося декілька надзвичайно великих лісових пожеж на Поліссі та Сході України, які призвели до значних екологічних, соціальних та економічних втрат. Такі прояви зміни клімату, як тривала відсутність опадів, їхній просторовий і часовий перерозподіл, підвищення середньої і, особливо, максимальної за добу температури повітря, неминуче призводять до збільшення рівнів пожежної небезпеки в лісах України.

Підвищення середньої річної температури повітря зумовлює також збільшення повторюваності, інтенсивності й потужності хвиль тепла та спеки, коли максимальна температура повітря перевищує 35°C, а також до подовження пожежонебезпечного періоду. Повторення років із аномально теплими безсніжними зимами потенційно може сприяти зміні пожежних режимів у лісах України. Ризики пожеж також підвищуються внаслідок проявів

¹ Сидоренко Сергій Григорович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: serhii88sido@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-0067>

² Балабух Віра Олексіївна, кандидат географічних наук, старший дослідник, Український гідрометеорологічний інститут ДСНС України та НАН України (УкрГМІ), просп. Науки, 37, Київ, 03028, Україна. E-mail: balabukh@uhmi.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-7531>

³ Мельник Євген Євгенович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: wudckij1985@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

⁴ Ворон Володимир Пантелеймонович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: 52corvus@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1059-3032>

⁵ Коваль Ірина Михайлівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: koval_iryana@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

⁶ Сидоренко Світлана Вікторівна, кандидат сільськогосподарських наук, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: svit23sydorenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1426-7614>

* Адреса для кореспонденції: serhii88sido@gmail.com

аномальних умов погоди (тривалих посух, значного збільшення швидкості вітру під час пожежонебезпечного періоду тощо) (Reid *et al.*, 2010; de Rigo *et al.*, 2017)

Основними чинниками, які зумовлюють підвищення пожежної небезпеки та збільшують імовірність виникнення пожеж, є характеристики клімату регіону, соціально-економічних (антропогенних) умов і насаджень певної території (Sydorenko *et al.*, 2021).

Ймовірно, що аномальні умови, які були сприятливими для виникнення пожеж 2015 та 2020 рр., повторюватимуться дедалі частіше, а війна, розв'язана Росією, лише посилить цю негативну тенденцію. Подальша зміна клімату неминуче призведе до підвищення рівня пожежної небезпеки лісів України, збільшення щільності лісових пожеж і підвищення горимості лісів. Зважаючи на це, система охорони лісів і ландшафтів від пожеж має ґрунтуватися на аналізі як поточних, так і нових потенційних ризиків та загроз. Тому відповідні служби мають бути готовими до боротьби з такими пожежами, а прогнозовані зміни пожежних режимів слід брати до уваги під час стратегічного планування комплексу протипожежних заходів на регіональному рівні.

Мета досліджень – оцінювання проєкцій окремих показників пожежної небезпеки за умовами погоди з урахуванням сценаріїв зміни клімату та їхнього впливу на горимість лісів.

Матеріали й методи. Необхідними умовами оцінювання ймовірних змін горимості та щільності лісових пожеж є визначення режимів пожеж та особливостей їхнього просторового розподілу у попередні роки. Ці дані використано для оцінювання реакції режиму пожеж на зміну окремих кліматичних показників упродовж базового періоду (1981–2010 рр.), відносно якого оцінювали прогнозовані зміни горимості лісів у періоди 2021–2040, 2041–2060 та 2080–2100 рр.

Усі обрахунки здійснювали на рівні адміністративних областей, а в підсумкових таблицях дані групували з урахуванням лісорослинного районування України (Pasternak, 1990). У випадках, якщо територія адміністративної області одночасно належить до кількох природних зон, її зараховували до природної зони, у якій знаходиться більшість її території.

Вхідні дані для оцінювання зміни горимості лісів та щільності пожеж унаслідок кліматичних змін. Проаналізовано базу даних лісових пожеж в Україні, яка охоплювала всю територію країни, зокрема період 2007–2021 рр. на рівні регіонів (дані за 2022 та 2023 рр. не брали до аналізу через значний вплив бойових дій). На основі статистичних даних лісових пожеж розраховано часові та просторові тенденції виникнення пожеж, горимість лісів і щільність пожеж у різних регіонах України (*Rules of fire safety in the forests of Ukraine*, 2005).

Щільність лісових пожеж (R_{dens}) для кожної адміністративної області розраховано за формулою (1):

$$R_{dens} = \frac{1000 \sum_{i=1}^n N_i}{n \times F_{for.area}} \quad (1)$$

де R_{dens} – середня багаторічна щільність пожеж на 1 000 га площі лісів (кількість випадків за n років спостережень у перерахунку на 1 000 га земель лісового фонду);

N_i – кількість лісових пожеж за досліджуваний період (n), кількість випадків;

n – кількість років спостережень (не менше ніж 10 років);

$F_{for.area}$ – загальна площа лісів області, га.

Фактичну горимість лісів за площею ($R_{f.comb}$) для кожної адміністративної області розраховано за формулою (2):

$$R_{f.comb} = \frac{1000 \sum_{i=1}^n F_{burnt.area}}{n \times F_{for.area}} \quad (2)$$

де $R_{f.comb}$ – значення фактичної горимості лісів у перерахунку на 1 000 га (площа пожеж, га, за n років спостережень у перерахунку на 1 000 га земель лісового фонду);

$F_{burnt.area}$ – щорічна площа лісових пожеж (відношення сумарної площі пожеж, га до кількості років спостереження); n – кількість років спостережень (не менше ніж 10 років); $F_{for.area}$ – загальна площа лісів області, га.

Оцінювання впливу окремих кліматичних змінних на ризики виникнення пожеж.
 Вплив окремих чинників на показників щільності пожеж і горимості лісів оцінювали спочатку за базовий період на рівні регіонів (табл. 1).

Таблиця 1

Показники кліматичної норми за регіонами (1981–2010 рр.)

Table 1

Indicators of the climatic norm by regions (1981–2010)

Область Region	$N_{\text{бездош}}$, дні $N_{\text{no rain}}$, days	D_{35C} , дні D_{35C} , days	$T_{\text{сер р}}$, °C $T_{y\text{-avg}}$, °C	W , $\text{m}\cdot\text{c}^{-1}$ W , $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	N , мм N , mm	FWI FWI	$R_{f, \text{comb}}$	R_{dens}
Вінницька	24,85	2,91	8,40	4,12	1,64	9,92	0,05	0,04
Волинська	20,38	1,47	7,88	4,22	1,84	5,45	0,05	0,03
Дніпропетровська	29,70	6,27	9,67	4,32	1,52	27,96	2,31	1,27
Донецька	30,05	5,96	9,50	4,28	1,56	16,47	1,56	1,11
Житомирська	22,04	1,94	7,70	4,08	1,81	4,50	0,19	0,11
Закарпатська	20,26	1,39	7,09	3,02	3,47	2,69	0,02	0,01
Запорізька	33,07	6,89	10,70	4,52	1,41	25,99	1,58	1,35
Івано-Франківська	19,02	0,90	7,10	3,72	2,37	1,98	0,00	0,01
Київська	23,84	2,78	8,14	4,10	1,72	6,30	1,79	0,56
Кіровоградська	27,84	4,76	9,14	4,31	1,55	23,58	0,06	0,19
АР Крим	37,25	5,03	11,95	4,43	1,41	32,99	1,04	0,00
Луганська	27,93	5,16	8,60	4,25	1,59	26,10	4,47	1,09
Львівська	19,09	1,07	7,73	4,12	2,17	3,22	0,06	0,03
Миколаївська	31,80	7,41	10,43	4,35	1,38	33,16	0,77	0,77
Одеська	32,53	6,94	10,87	4,28	1,32	20,50	0,20	0,14
Полтавська	26,19	3,94	8,52	4,31	1,66	15,24	0,24	0,31
Рівненська	20,80	1,64	7,82	4,17	1,86	4,70	0,11	0,07
Сумська	23,42	2,30	7,17	4,25	1,82	6,36	0,23	0,26
Тернопільська	21,17	1,38	7,85	4,24	1,84	4,22	0,01	0,01
Харківська	26,71	4,11	8,25	4,26	1,66	14,84	0,67	0,65
Херсонська	35,62	7,96	11,54	4,57	1,26	49,70	10,65	1,89
Хмельницька	22,21	1,79	7,96	4,28	1,77	5,12	0,20	0,09
Черкаська	25,86	3,49	8,66	4,21	1,64	14,29	0,11	0,46
Чернівецька	21,88	2,01	7,95	3,61	1,97	4,55	0,01	0,01
Чернігівська	22,86	2,26	7,36	4,18	1,81	6,37	0,31	0,16

Примітка. $N_{\text{бездош}}$ – середня за рік тривалість бездошового періоду впродовж вегетаційного періоду, дні; D_{35C} – середня за рік кількість днів із максимальною денною температурою повітря понад 35°C; $T_{\text{сер р}}$ – середня за рік температура повітря, °C; W , – середня за рік швидкість вітру, $\text{m}\cdot\text{c}^{-1}$; N – усереднена денна норма кількості опадів, мм; FWI – середнє за рік значення індексу пожежної небезпеки за умовами погоди; $R_{f, \text{comb}}$ – фактична горимість лісів (площа пожеж, га, на 1 000 га земель лісового фонду); R_{dens} – щільність лісових пожеж у лісовому фонді, випадків на 1 000 га.

Note: $N_{\text{no rain}}$ – yearly average dry spell period during the vegetation period, days; D_{35C} – number of days with maximum temperature higher than 35°C; $T_{y\text{-avg}}$ – yearly average air temperature, °C; W – yearly average wind speed, $\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$; N – average precipitation per day, mm; FWI – Fire Weather Index; $R_{f, \text{comb}}$ – forest burnability (fire area, ha per 1,000 ha); R_{dens} – forest fire density, the number of the fires per 1,000 ha.

Як кліматичну основу використано дані з ініціативи EURO-CORDEX, яка є європейським відділом міжнародної ініціативи CORDEX, створеної за сприяння Світової програми досліджень клімату (WRCP), з метою координації зусиль для складання покращених регіональних прогнозів зміни клімату для всіх регіонів світу. Результати CORDEX використано як вхідні дані для досліджень впливу зміни клімату та адаптації в межах Шостого звіту (AR5) Міжурядової групи експертів зі зміни клімату (IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change) (Moss *et al.*, 2008; Gao, 2017; Huppmann *et al.*, 2018). Таким чином,

з використанням растрових шарів CORDEX обраховано кліматичні норми за період 1980–2010 рр. для території України. Побудовано низку тематичних шарів із використанням програмних продуктів QGIS та бібліотек просторового аналізу даних на мові програмування R. Ці шари відображають середні багаторічні значення кліматичних показників за базовий період (середню та середню максимальну за рік температуру повітря, середню за рік швидкість вітру, кількість опадів, тривалість посушливих періодів, тривалість та інтенсивність посухи (SPI), кількість днів із максимальною денною температурою повітря понад 35°C, потенційну тривалість бездошових періодів, пожежну небезпеку за умовами погоди (FWI) тощо) та сценарні значення проєкцій зміни клімату.

Кореляційний і множинний регресійний аналіз проведено за стандартними методами (Cherup, 2015), базові скрипти для кореляційного та регресійного аналізу підготовлено на мові програмування R. Рівні значущості для коефіцієнтів кореляції оцінювали за шкалою (Iturbide *et al.*, 2021):

- практично не викликає сумнівів ($p \leq 0,01$), ймовірність 99–100 %;
- дуже ймовірно ($0,01 < p \leq 0,1$), ймовірність 90–99 %;
- ймовірно ($0,1 < p \leq 0,34$), ймовірність 66–90 %;
- так само ймовірно, як ні ($0,1 < p \leq 0,34$), ймовірність 66–33 %;
- мало ймовірно ($0,67 < p \leq 0,90$), ймовірність 10–33 %;
- дуже мало ймовірно ($0,90 < p \leq 0,99$), ймовірність 1–10 %;
- виключно мало ймовірно ($p > 0,99$), ймовірність 0–1 %.

Аналіз кліматичних показників за період 2007–2021 рр. за регіонами виконано з використанням бази даних E-OBS (Cornes *et al.*, 2018) та попередньо створених скриптів на мові програмування R. Це дало змогу визначити кліматичні показники для кожного року в контексті адміністративних областей.

Додатково використано базу даних проєкту PESETA IV PROJECT, люб'язно надану експертами JRC для території Східної Європи (Haylock *et al.*, 2008; Dosio *et al.*, 2012; Dosio, 2016; de Rigo *et al.*, 2017; 2020). Так, було інтегровано геопросторову базу даних FWI, що відображала кількість днів упродовж пожежонебезпечного періоду, з високими значеннями FWI (понад 30 балів) для базового періоду (1980–2010 рр.).

Підбір сценаріїв для кількісного оцінювання зміни клімату та можливих наслідків для пожежної стійкості лісів. У дослідженні використано набір сценаріїв Всесвітньої програми досліджень клімату (World Climate Research Programme), а саме Репрезентативні шляхи концентрації (Representative Concentration Pathways – RCP). Сценарії RCP4.5 і RCP6.0 передбачають стабілізацію викидів парникових газів в атмосферу, RCP8.5 – збільшення обсягів викидів парникових газів, а сценарій RCP2.6 – зменшення обсягів цих викидів (Adamenko *et al.*, 2011; Polevoy *et al.*, 2017; Sydorenko and Sydorenko, 2020).

Застосовано проєкції елементів (окремих кліматичних змінних) в ансамблях кліматичних моделей для Центральної Європи з урахуванням різних підходів до оцінювання прогнозованих обсягів викидів та їхнього впливу на глобальне підвищення температури (RCP): RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5. Для оцінювання взято основні показники клімату: середню та середню максимальну за рік температуру повітря (ансамбль із 20 моделей), кількість опадів на рік (ансамбль із 21 моделі) та середню на рік швидкість вітру (ансамбль із 19 регіональних моделей). Як похідні показники застосували максимальну тривалість бездошових періодів (ансамбль із 18 регіональних моделей) та кількість днів із температурою повітря понад 35°C (ансамбль із 19 регіональних моделей).

Результати. За результатами попереднього кореляційного аналізу (табл. 2) виокремлено список дієвих кліматичних змінних, які впливають на щільність пожеж і горимість лісів: кількість днів із температурою понад 35°C, кількість опадів ($N_{\text{опадів}}$) та індекс пожежонебезпечної погоди (FWI), який є комплексним показником, що певною мірою враховує попередні змінні.

Кореляційна матриця кліматичних змінних, які впливають на щільність пожеж і горимість лісів

Table 2

Correlation matrix of variables that affect the density of fires and forest burnability

Змінні Variables	Показник Indicator	$N_{\text{no rain}}$	D_{35C}	$T_{\text{сер p}} T_{y\text{-avg}}$	Wind	$N_{\text{опадів}}$	FWI	R_{comb}	R_{dens}	% pine forest	SPI
Dry_days	<i>r</i>	1,000	0,930	0,960	0,610	-0,690	0,920	0,530	0,640	-0,070	-0,340
	<i>p</i> value	нд	0,0001	0,0001	0,001	0,0001	0,0001	0,006	0,001	0,740	0,092
D_{35C}	<i>r</i>	0,930	1,000	0,880	0,590	-0,680	0,910	0,570	0,770	-0,060	-0,470
	<i>p</i> value	0,0001	нд	0,0001	0,002	0,0001	0,0001	0,003	0,0001	0,792	0,019
$T_{\text{сер p}}$	<i>r</i>	0,960	0,880	1,000	0,600	-0,680	0,890	0,510	0,560	-0,110	-0,260
	<i>p</i> value	0,0001	0,0001	нд	0,002	0,0001	0,0001	0,010	0,004	0,607	0,212
Wind	<i>r</i>	0,610	0,590	0,600	1,000	-0,920	0,600	0,370	0,480	0,330	-0,260
	<i>p</i> value	0,001	0,002	0,002	нд	0,0001	0,002	0,071	0,015	0,105	0,215
$N_{\text{опадів}}$	<i>r</i>	-0,690	-0,680	-0,680	-0,920	1,000	-0,640	-0,360	-0,480	-0,230	0,520
	<i>p</i> value	0,0001	0,0001	0,0001	0,0001	нд	0,001	0,081	0,016	0,262	0,007
FWI	<i>r</i>	0,920	0,910	0,890	0,600	-0,640	1,000	0,720	0,780	0,010	-0,260
	<i>p</i> value	0,0001	0,0001	0,0001	0,002	0,001	нд	0,0001	0,0001	0,948	0,206
R_{comb}	<i>r</i>	0,530	0,570	0,510	0,370	-0,360	0,720	1,000	0,800	0,310	0,050
	<i>p</i> value	0,006	0,003	0,010	0,071	0,081	0,0001	нд	0,0001	0,130	0,823
R_{dens}	<i>r</i>	0,640	0,770	0,560	0,480	-0,480	0,780	0,800	1,000	0,190	-0,200
	<i>p</i> value	0,001	0,0001	0,004	0,015	0,016	0,0001	0,0001	нд	0,363	0,343
% pine forest	<i>r</i>	-0,070	-0,060	-0,110	0,330	-0,230	0,010	0,310	0,190	1,000	0,200
	<i>p</i> value	0,740	0,792	0,607	0,105	0,262	0,948	0,130	0,363	нд	0,340
SPI	<i>r</i>	-0,340	-0,470	-0,260	-0,260	0,520	-0,260	0,050	-0,200	0,200	1,000
	<i>p</i> value	0,092	0,019	0,212	0,215	0,007	0,206	0,823	0,343	0,340	0,067

Примітка. % pine forest – частка площі хвойних лісів, %; SPI – стандартизований індекс посух; нд – немає даних.

Note. % pine – percentage of coniferous forests' area; SPI – standardised precipitation index.

За шкалою, запропонованою IPCC, рівень значущості кореляційних зв'язків кліматичних змінних зі щільністю пожеж не викликає сумнівів: кількість днів із температурою повітря понад 35 °C ($r = 0,77, p = 0,001$), кількість опадів ($N_{\text{опадів}}$) ($r = -0,48, p = 0,016$) та FWI ($r = 0,78, p = 0,001$).

Зв'язки кліматичних даних зі змінами тенденцій виникнення лісових пожеж, виражених через показники щільності пожеж і горимості лісів, досліджено за допомогою кореляційного аналізу та відсіяно змінні, що корелювали між собою. Для адміністративних областей побудовано регресійні моделі для визначення впливу окремих кліматичних показників на кількість (щільність пожеж) і площі (горимість лісів). Використання показників кількості опадів та кількості днів із температурою повітря понад 35°C виявляється найбільш доцільним і дає змогу моделювати на прийнятному рівні зміни щільності пожеж на тривалий період (табл. 3). Деякі протестовані регресійні моделі прогнозування горимості лісів (площі лісових пожеж на 1 000 га лісу), що охоплювали більшість предикторів, не мали достатніх точності та рівня адекватності, а стандартні похибки цих моделей перевершували середні значення горимості пожеж в Україні. Тому такі моделі було відхилено. Зважаючи на це, запропоновано оцінювати щільність лісових пожеж за формулою (3):

$$R_{\text{dens}} = I + a_1 \times P + a_2 \times D_{35C}, \quad (3)$$

де R_{dens} – щільність лісових пожеж (кількість випадків пожеж на 1 000 га лісу);

I – вільний член регресійного рівняння (для кожного регіону) (табл. 3);

a_1 – коефіцієнт регресії a_1 (табл. 3, для кількості опадів);

P – середня кількість опадів на рік, мм

a_2 – коефіцієнт регресії a_2 (табл. 3, для кількості днів із температурою понад 35°C);
 D_{35C} – кількість днів із температурою понад 35°C.

Таблиця 3

Коефіцієнти регресійної моделі, яка охоплює регіональний чинник

Table 3

Coefficients of the regression model, which includes the regional factor

Область Region	Коефіцієнт регресії a_1 (опад) Regression coefficient a_1 (rainfall)	Коефіцієнт регресії a_2 (дні з $T^{\circ}C > 35^{\circ}C$) Regression coefficient a_2 (days with $T^{\circ}C > 35^{\circ}C$)	Вільний член регресійного рівняння (Intercept) The free term of the regression equation (Intercept)
Вінницька	-0,00082	0,03112	0,107
Волинська	-0,00082	0,03112	0,370
Дніпропетровська	-0,00082	0,03112	1,563
Донецька	-0,00082	0,03112	1,406
Житомирська	-0,00082	0,03112	0,590
Закарпатська	-0,00082	0,03112	0,639
Запорізька	-0,00082	0,03112	0,995
Івано-Франківська	-0,00082	0,03112	0,486
Київська	-0,00082	0,03112	0,961
Кіровоградська	-0,00082	0,03112	0,419
Крим	-0,00082	0,03112	0,229
Луганська	-0,00082	0,03112	1,370
Львівська	-0,00082	0,03112	0,610
Миколаївська	-0,00082	0,03112	1,122
Одеська	-0,00082	0,03112	0,398
Полтавська	-0,00082	0,03112	0,583
Рівненська	-0,00082	0,03112	0,598
Сумська	-0,00082	0,03112	0,657
Тернопільська	-0,00082	0,03112	0,369
Харківська	-0,00082	0,03112	0,928
Херсонська	-0,00082	0,03112	1,910
Хмельницька	-0,00082	0,03112	0,530
Черкаська	-0,00082	0,03112	0,769
Чернівецька	-0,00082	0,03112	0,321
Чернігівська	-0,00082	0,03112	0,629

Примітка. $R^2 = 0.695$, $F_f = 24.05$, $d_f = 349$, p -value < 0,001. Залишкова стандартна помилка = 0,213.

Note. $R^2 = 0.695$, $F_f = 24.05$, $d_f = 349$, p -value < 0,001. Residual standart error = 0.213.

Виявлено, що кількість днів із температурою понад 35°C (D_{35C}) за даними проєкцій зміни клімату є найбільш варіабельним показником: до кінця століття відхилення від норми може збільшитися на десятки відсотків, а за деяких сценаріїв (RCP8.5) – у декілька разів перевищити норму (рис. 1).

Так, за сценарію RCP8.5 кількість днів із температурою понад 35°C у 2081–2100 рр. збільшиться у 3,74–9,50 разу, у 2041–2060 рр. може зрости від 143 до 197 % (майже вдвічі), а у 2021–2040 рр. – від 70 до 103 % відносно кліматичного періоду 1981–2010 рр. У зоні Степу значення показника за областями будуть подібними та змінюватимуться від 374 до 504 % у 2081–2100 рр., від 143 до 175 % у 2041–2060 рр. та від 57 до 90 % у 2021–2040 рр. У зоні Лісостепу кількість спекотних днів буде більшою, ніж у Степу. Так, у 2081–2100 рр. показник збільшиться від 476 до 817 %, у 2041–2060 – від 166 до 277 %, у 2021–2040 рр. – від 80 до 103 %.

За сценарію RCP4.5 (рис. 1) максимальне збільшення кількості днів із температурою повітря понад 35° (до 230 % від норми) також очікують на кінець століття (2081–2100 рр.) з найбільшими змінами в Українських Карпатах та Кримських горах. Великі перевищення норми (від 110 до 140 %) ймовірні для зон Лісостепу та Полісся. У більшості областей степової зони цей показник становить 100 %. До середини століття за сценарію RCP4.5 прогнозують

суттєве збільшення кількості спекотних днів – від 60 до 100 % для областей, приурочених до природних зон Українських Карпат і Кримських гір, а також зони Лісостепу. Найменші зміни показника (40 %) у цей період імовірні на Поліссі та в деяких областях Лісостепу. У 2021–2040 рр. за сценарієм RCP4.5 зміни будуть зовсім несуттєвими або відбудеться навіть зменшення кількості спекотних днів у деяких областях зон Лісостепу і Полісся (Тернопільська область – -4,3 %, Волинська – -2,1 %, Хмельницька – -0,9 %). Максимальне відхилення від норми становитиме 32,7 % (наприклад, для Закарпатської області).

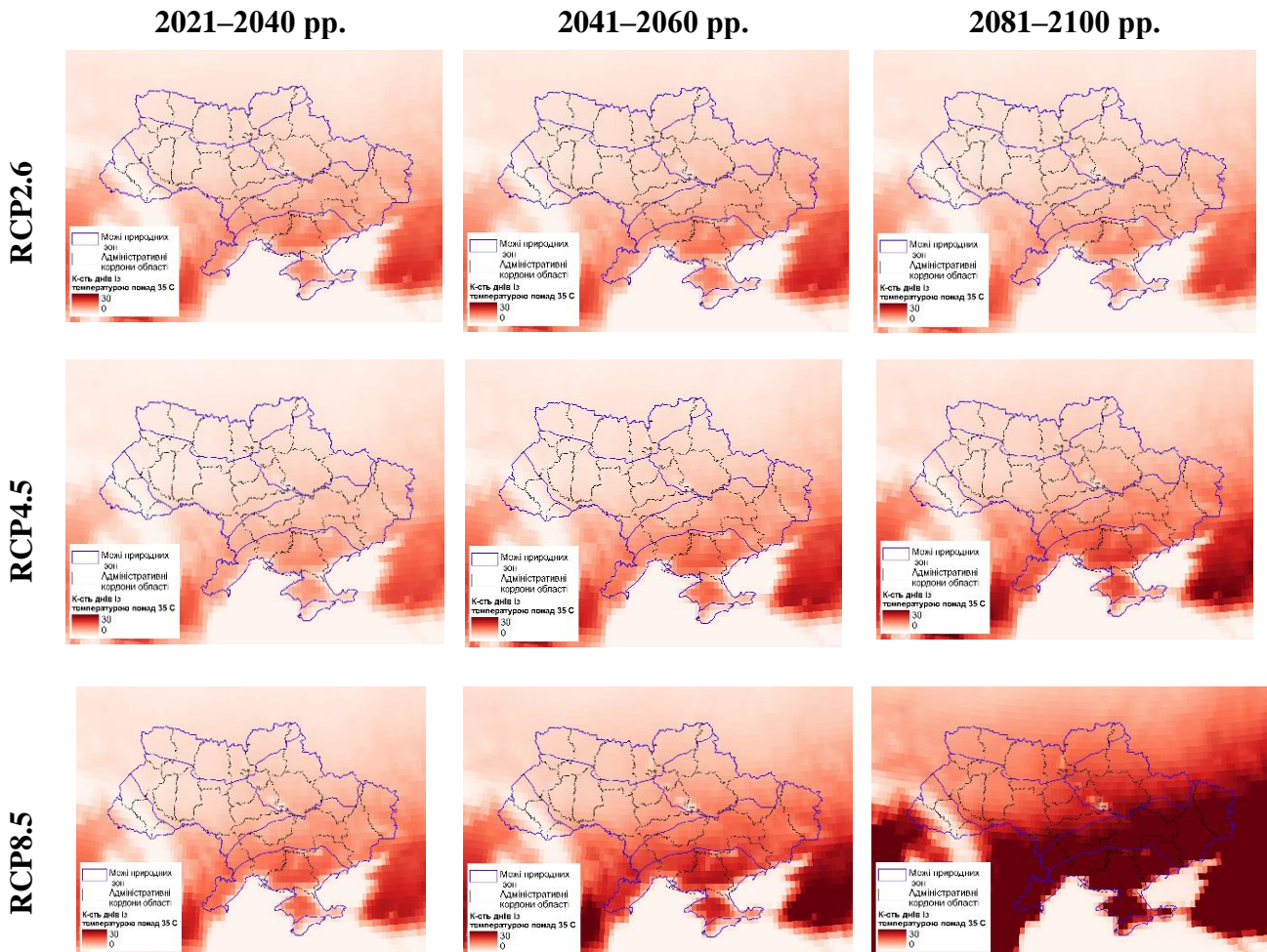


Рис. 1 – Кількість днів із температурою повітря понад 35°C за різних сценаріїв зміни клімату, у коротко-, середньо- та довгостроковій перспективі
Fig. 1 – The number of days with an air temperature above 35°C under different climate change scenarios, in different periods

За сценарію RCP2.6 (рис. 1) максимальне збільшення кількості спекотних днів імовірно відбудеться в Українських Карпатах, на Поліссі та в Лісостепу (від 61 до 90 % у 2081–2100 рр., від 49 до 97 % у 2041–2060 рр. та від 42 до 74 % у 2021–2040 рр.). Найменші зміни будуть характерними для більшості областей зони степу (приблизно 30–40 %). За такого сценарію для більшості областей України не виявлено суттєвих змін показника у 2021–2040, 2041–2060 та 2081–2100 рр.

Середня кількість опадів на рік (RCP2.6 до середини століття) для більшості областей прогнозовано збільшуватиметься, порівнюючи з кліматичною нормою (до 12 %), лише в окремих регіонах кількість опадів зменшиться незначною мірою – до -3,2 % (рис. 2).

Незначне зменшення кількості опадів буде характерним для більшості областей Полісся за RCP2.6.

У короткостроковій перспективі (2021–2040 рр.) очікують збільшення кількості опадів за рік на 5–9 % від норми за сценарію RCP4.5 та на 0,7–3,5 % за сценарію RCP8.5. До середини століття (2040–2060 рр.) їхня кількість може збільшитися від 4,3 до 8,7 % за сценарію RCP4.5 і від 3,1 до 8,6 % за сценарію RCP8.5. До кінця століття (2081–2100 рр.) найбільші зміни кількості опадів прогнозовано за сценарієм RCP4.5. Їхня кількість за рік може збільшитися від 7 до 12 %, порівнюючи із середніми багаторічними даними 1981–2010 рр. (рис. 2).

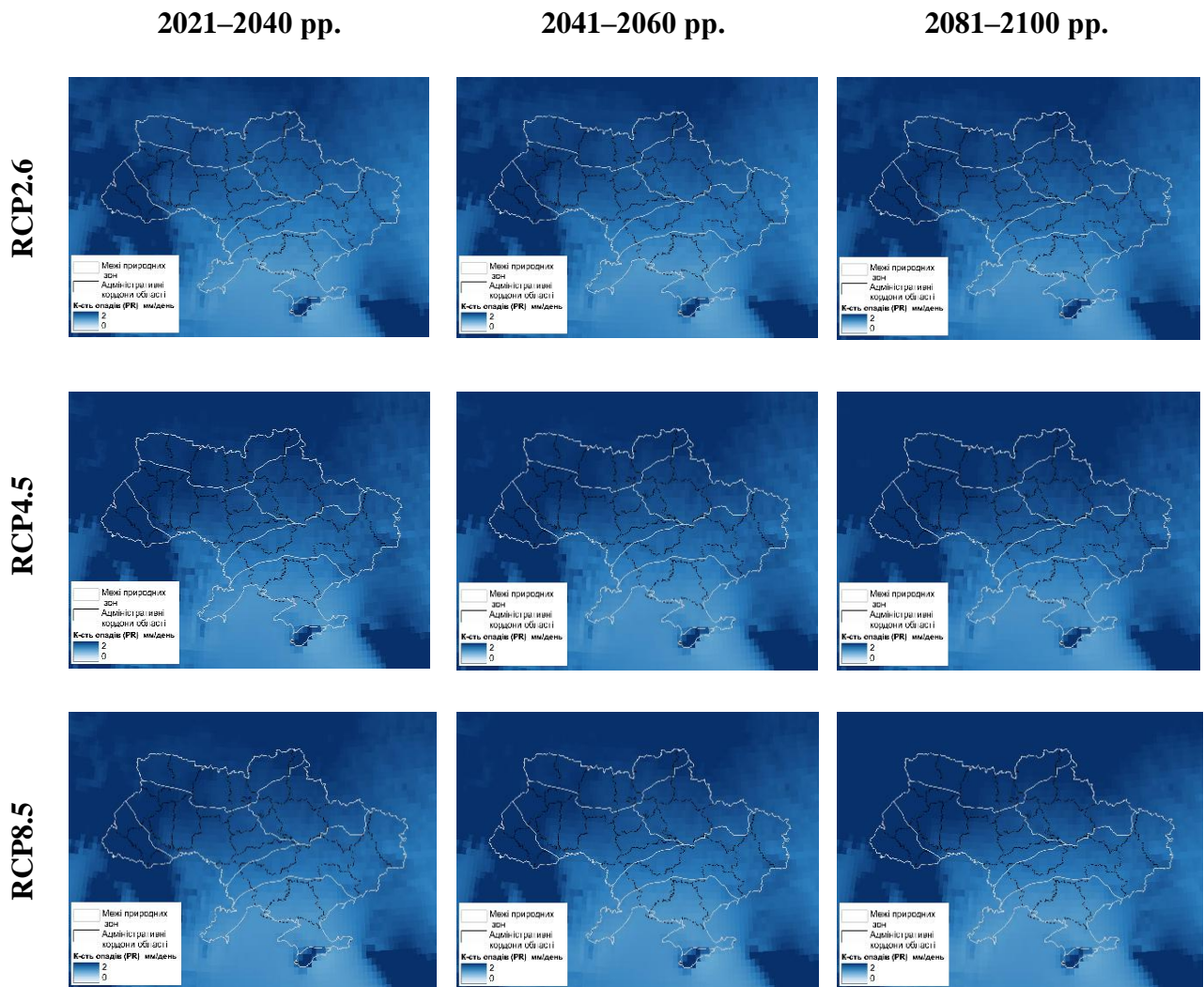


Рис. 2 – Середня кількість опадів за різних сценаріїв зміни клімату (відхилення від норми, %) у різні часові періоди

Fig. 2 – Average precipitation under different climate change scenarios (deviation from the norm, %) in different periods

Збільшення кількості днів із високим класом пожежної небезпеки (зі значенням FWI понад 30), як порівняти з базовим періодом (1980–2010 рр.), виявлено лише за сценарію RCP8.5 у разі підвищення середньої за рік глобальної температури повітря на 2°C до середини XXI століття, порівнюючи з кінцем XX століття (рис. 3). Найбільше підвищення пожежної небезпеки очікують у південно-східних регіонах України та на південній межі лівобережного Лісостепу, а також в Українських Карпатах та Кримських горах.

Незначне зменшення пожежної небезпеки завдяки підвищенню кількості опадів очікують у Волинській області та західній частині правобережного Лісостепу (рис. 3).

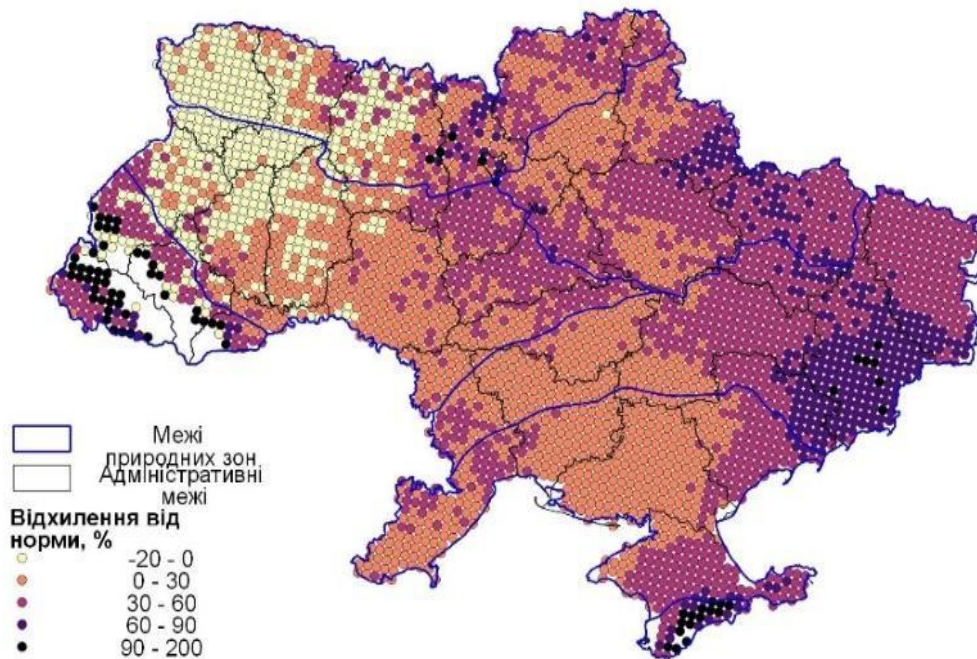


Рис. 3 – Кількість днів із високим рівнем пожежної небезпеки за умовами погоди (відхилення значень FWI понад 30 % від норми за сценарієм RCP8.5)
 Fig. 3 – Number of days with high fire danger rates according to weather conditions (deviation of FWI values is above 30 % from the norm under the RCP8.5 scenario)

Оцінювання щільності пожеж за сценарієм RCP2.5, який є найбільш оптимістичним і передбачає дуже низький рівень концентрації парникових газів до кінця століття, виявило відсутність відхилення показника FWI від норми або незначне відхилення в межах статистичної похибки. Така тенденція є характерною для областей зони Лісостепу (Тернопільська, Сумська, Вінницька, Полтавська, Кіровоградська області) та регіону Карпат (Чернівецька, Івано-Франківська, Закарпатська області). У природній зоні Полісся відсутність змін є ймовірною у Волинській та Рівненській областях. У Київській, Житомирській та Чернігівській областях щільність пожеж несуттєво збільшиться. Найбільш загрозливою ситуація може бути у наступні десятиріччя в степовій зоні, за винятком Запорізької області, де значення показника FWI ймовірно залишаться в межах норми. За прогнозними даними можна очікувати збільшення щільності та площі пожеж у Луганській та Херсонській областях, де за даними моделювання ризик виникнення лісових пожеж буде одним із найвищих в Україні.

Згідно зі сценарієм RCP4.5 імовірними є незначні зміни щільності лісових пожеж на всій території України. Лише в Степу у 2021–2040 рр. очікується збільшення цього показника.

За сценарієм RCP8.5 (табл. 4, рис. 4) в усіх природних зонах України відбудуться суттєві зміни пожежних режимів. З кожним десятиріччям прогнозують збільшення щільності та площі пожеж. Згідно із цим сценарієм, загроза виникнення пожеж суттєво збільшуватиметься в кожній області, але інтенсивність цих змін буде різною. Найбільш загрозливою ситуація виглядатиме в Степу, де прогнозована щільність пожеж збільшиться вдвічі, порівнюючи з базовим періодом. Наприклад, у Луганській області, де значення всіх параметрів моделі доволі високі, кількість пожеж імовірно збільшиться від 301 у 2007–2021 рр. до 539 у 2081–2100 рр. Лише в Українських Карпатах зміни щільності лісових пожеж залишаться ймовірно незначними.

Таблиця 4

Зміна щільності, кількості та площі лісових пожеж за сценарієм RCP8.5

Table 4

Change in the density, number and area of forest fires under the RCP8.5 scenario

Область Region	Норма (2007–2021) Norm (2007–2021)		Щільність пожеж RCP8.5 Fire density RCP8.5			К-сть пожеж RCP8.5 Number of fires RCP8.5			Площа пожеж RCP8.5 Area of fires RCP8.5		
	Сер площа, га Average area, ha	Кіль- кість Num- ber	2030	2050	2090	2030	2050	2090	2030	2050	2090
Степ											
Луганська	4,11	301	1,190	1,317	1,842	348	385	539	1429,8	1582,6	2213,8
Донецька	1,06	189	1,275	1,427	2,008	235	263	370	248,7	278,6	391,8
Запорізька	1,17	123	0,939	1,112	1,695	95	112	171	110,9	131,4	200,3
Дніпропетров- ська	1,82	217	1,434	1,589	2,103	257	285	377	467,8	518,1	685,8
Херсонська	5,64	216	1,938	2,121	2,704	225	247	314	1271,3	1391,5	1773,6
Одеська	1,46	30	0,352	0,533	1,078	72	109	220	104,8	158,8	321,0
Миколаївська	0,99	76	1,077	1,254	1,790	106	123	176	104,7	121,9	174,0
Лісостеп											
Тернопільська	1,09	1	бз	бз	0,154	бз	бз	28	бз	бз	бз
Хмельницька	2,20	25	0,073	0,158	0,390	19	42	103	42,3	92,1	227,3
Сумська	0,90	100	0,217	0,289	0,553	92	123	235	83,1	110,5	211,7
Вінницька	1,15	13	бз	бз	0,184	бз	бз	64	бз	бз	73,5
Харківська	1,03	240	0,648	0,764	1,185	245	289	448	252,6	297,7	461,6
Черкаська	0,25	136	0,448	0,557	0,908	141	175	286	35,3	43,9	71,5
Полтавська	0,78	77	0,28	0,385	0,755	69	95	187	54	74,3	145,7
Кіровоградська	0,33	28	0,196	0,335	0,768	32	55	126	10,6	18,2	41,7
Широколистяно-лісова зона											
Київська	3,20	318	0,570	0,662	0,938	356	413	585	1138,5	1321,2	1873,0
Житомирська	1,73	137	0,127	0,204	0,414	127	204	415	220,1	353,0	717,6
Чернігівська	1,92	104	0,183	0,253	0,487	122	169	324	234,2	323,7	622,5
Волинська	1,42	25	бз	бз	0,071	бз	бз	44	бз	бз	63,0
Рівненська	1,58	51	0,101	0,158	0,330	74	115	241	116,7	181,8	380,8
Українські Карпати											
Львівська	1,86	17	бз	0,039	0,196	бз	24	122	бз	бз	бз
Чернівецька	1,19	1	бз	бз	0,017	бз	бз	3	бз	бз	бз
Івано- Франківська	2,25	1	бз	бз	0,008	бз	бз	5	бз	бз	бз
Закарпатська	2,79	14	бз	бз	бз	бз	бз	бз	бз	бз	бз
Гірський Крим											
Крим	2,78	90	0,09	0,249	0,8	25	69	223	бз	192,7	619,6

Примітка. бз – без змін; нд – немає даних.

Note. бз – unchanged; нд – no data.

природної пожежної небезпеки всіх регіонів України з урахуванням різних сценаріїв зміни клімату (Balabukh and Zibtsev, 2016).

Закордонні вчені зазначають, що зміна клімату спричинила частіші випадки екстремальних кліматичних явищ загалом у світі (Reid *et al.*, 2010; de Rigo *et al.*, 2017; 2020; Xing *et al.*, 2023). Наприклад, у Китаї доведено тісні кореляційні залежності виникнення масштабних лісових пожеж від певних кліматичних чинників (Xing *et al.*, 2023).

Слід враховувати, що пожежна небезпека не обов'язково збільшиться в усіх регіонах країни. Як свідчать наші дослідження, в окремих регіонах рівень небезпеки через кліматичні зміни може зменшитися внаслідок збільшення кількості опадів (Українські Карпати та північний захід країни).

Важливо оцінювати зміни пожежної небезпеки не тільки для лісів, але й для всіх типів природних і антропогенно змінених ландшафтів на прилеглих територіях. Слід враховувати, що під час тривалих посух значна частка рослинних горючих матеріалів як із групи живих, так і відмерлих набувають пірологічної стиглості й перетворюються на провідники горіння.

Обов'язково слід враховувати, що кількість і площа пожеж визначаються не лише погодними умовами, але й кількістю джерел вогню (пов'язаних із людським фактором та впливом військових дій). Тому в деяких випадках прогнозування точної кількості пожеж може бути просто неможливим (Sydorenko 2022; Almeida *et al.*, 2024).

Зважаючи на обмеження в моделюванні та значні рівні невизначеності, надалі дослідження мають бути сфокусовані більшою мірою не на моделюванні щільності пожеж і їхньої площі, а на прогнозуванні зміни пожежного середовища. Адже не лише середні показники зміни елементів клімату, а саме екстремальні відхилення показників пожежонебезпечної погоди визначатимуть негативні наслідки та площі пожеж під час пожежного сезону (Feyen *et al.*, 2020).

Висновки. Змодельовано сценарії зміни щільності та площі лісових пожеж, побудовані на основі аналізу регіональних кліматичних моделей. Результати цього аналізу є лише орієнтовними та можуть бути використані як додаткові аналітичні матеріали під час стратегічного планування протипожежних заходів у лісах на рівні адміністративних областей України, створення довгострокових регіональних програм і проєктів управління пожежами. Внаслідок зміни клімату ще більше збільшується загроза як виникнення лісових пожеж, так і збільшення їхніх масштабів у більшості регіонів України (особливо у південних та південно-східних регіонах), крім західних та північно західних, де пожежна небезпека суттєво не змінюватиметься у зв'язку із збільшенням кількості опадів.

Подяки. Автори висловлюють подяку анонімним рецензентам за цінні поради, корисні й конструктивні рекомендації та покращення тексту.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання тем досліджень УкрНДЛГА (№ держреєстрації 0104U001926, № держреєстрації 0104U001926, № держреєстрації 0120U101893), замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України та НДР УкрГМІ № держреєстрації 0115U002776, яку виконували на замовлення Державної служби з надзвичайних ситуацій України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Adamenko, T.I., Kulbida, M.I. and Prokopenko, A.L. (2011) *Agroclimatic guide for the territory of Ukraine*. Kamianets-Podilskyi: PP Galahodza (in Ukrainian).
- Almeida, M., Soviev, M., San-Miguel, J., Durrant, T., Oom, D., Branco, A., Ferrari, D., Boca, R., Maianti, P., De Rigo, D., Suarez-Moreno, M., Roglia, E., Scionti, N., Broglia, M., Alves, D., Matos, C., Ribeiro, L.M., Viegas, D.X., Ribeiro, C., Rodrigues, T., Chuvieco, E., Oliva, P., Garcia, M., Velea, R., Laterza, R., De Lucia, M., Lorenzoni, P., Arca, B., Salis, M., Bacciu, V., Del Giudice, L., Pelizzaro, G., Duce, P., Marrs, C., Forkel, M., Beetz, K., Kosczor, E., Podebradska, M., Politi, N., Sfetsos, A., Vlachogiannis, D., Eftychidis, G., Stavrakoudis, D., Varela, V., Gitas, I.Z., Sjoström, J., Petrila, M., Lorent, A., Drobinkova, N., Vasilev, V., Tsvetkova, N., Yanko, B., Gospodinov, I., Zibtsev, S., Goldammer, J., Myroniuk, V., Sydorenko, S., Soshenskyi, O., Bogomolov, V. and

- Borsuk, O. (2024) *Report on the large wildfires of 2022 in Europe*, Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC138859. <https://data.europa.eu/doi/10.2760/19760>
- Balabukh, V.O. and Zibtsev, S.V. (2016) 'Impact of climate change on quantity and area of forest fires in the northern part of the black sea region of Ukraine', *Ukrainian hydrometeorological journal*, 18, pp. 60–71 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31481/uhmj.18.2016.07>
- Chepur, S.S. (2015) *Biometrics: a methodical manual*. Uzhhorod: Vydavnytstvo UzhNU Hoverla (in Ukrainian).
- Cornes, R.C., van der Schrier, G., van den Besselaar, E.J.M. and Jones, P.D. (2018) 'An ensemble version of the E-OBS temperature and precipitation data sets', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 123(17), pp. 9391–9409. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>
- de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T., Artés Vivancos, T. and San-Miguel-Ayanz, J. (2017) *Forest fire danger extremes in Europe under climate change: variability and uncertainty*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, ISBN: 978-92-79-77046-3. <https://doi.org/10.2760/13180>
- de Rigo, D., Libertà, G., Houston Durrant, T. and San-Miguel-Ayanz, J. (2020) *European wildfire danger and vulnerability in a changing climate: towards integrating risk dimensions*. Luxembourg: Publications Office of the European Union. ISBN: 978-92-76-16898-0. <https://doi.org/10.2760/46951>
- Dosio, A. (2016) 'Projections of climate change indices of temperature and precipitation from an ensemble of bias-adjusted high-resolution EURO-CORDEX regional climate models', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121(10), pp. 5488–5511. <https://doi.org/10.1002/2015jd024411>
- Dosio, A., Paruolo, P. and Rojas, R. (2012) 'Bias correction of the ENSEMBLES high resolution climate change projections for use by impact models: analysis of the climate change signal', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 117 (D17). <https://doi.org/10.1029/2012jd017968>
- Feyen, L., Ciscar Martinez, J., Gosling, S., Ibarreta Ruiz, D., Soria Ramirez, A., Dosio, A., Naumann, G., Russo, S., Formetta, G., Forzieri, G., Girardello, M., Spinoni, J., Mentaschi, L., Bisselink, B., Bernhard, J., Gelati, E., Adamovic, M., Guenther, S., De Roo, A., Cammalleri, C., Dottori, F., Bianchi, A., Alfieri, L., Voudoukas, M., Mongelli, I., Hinkel, J., Ward, P., Gomes Da Costa, H., De Rigo, D., Libertà, G., Durrant, T., San-Miguel-Ayanz, J., Barredo Cano, J., Mauri, A., Caudullo, G., Ceccherini, G., Beck, P., Cescatti, A., Hristov, J., Toreti, A., Perez Dominguez, I., Dentener, F., Fellmann, T., Elleby, C., Ceglar, A., Fumagalli, D., Niemeyer, S., Cerrani, I., Panarello, L., Bratu, M., Després, J., Szewczyk, W., Matei, N., Mulholland, E. and Olariaga-Guardiola, M. (2020) *Climate change impacts and adaptation in Europe*. JRC PESETA IV final report. EUR 30180 EN. Luxembourg: Publications Office of the European Union. JRC119178. ISBN 978-92-76-18123-1. <https://doi.org/10.2760/171121>
- Gao, J. (2017) *Downscaling Global Spatial Population Projections from 1/8-degree to 1-km Grid Cells*. NCAR Technical Notes NCAR/TN-537+STR. National Center for Atmospheric Research. <https://doi.org/10.5065/D60Z721H>
- Haylock, M.R., Hofstra, N., Klein Tank, A.M.G., Klok, E.J., Jones, P.D. and New, M.A. (2008) 'European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006', *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 113. D20119+. <https://doi.org/10.1029/2008jd010201>
- Huppmann, D., Rogelj, J., Krey, V., Kriegler, E. and Riahi, K.A. (2018) 'New scenario resource for integrated 1.5°C research', *Nature Climate Change*, 8, pp. 1027–1030. <https://doi.org/10.1038/s41558-018-0317-4>
- Iturbide, M., Fernández, J., Gutiérrez, J.M., Bedia, J., Cimadevilla, E., Díez-Sierra, J., Manzanos, R., Casanueva, A., Baño-Medina, J., Milovac, J., Herrera, S., Cofiño, A.S., San Martín, D., García-Díez, M., Hauser, M., Huard, D. and Yeleki, Ö. (2021) *Repository supporting the implementation of FAIR principles in the IPCC-WGI Atlas*. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.3691645>
- Moss, R., Babiker, M., Brinkman, S., Calvo, E., Carter, T., Edmonds, J., Elgizouli, I. and Zurek, M. (2008) *Towards New Scenarios for Analysis of Emissions, Climate Change, Impacts, and Response Strategies*. Geneva: Intergovernmental Panel on Climate Change. ISBN 978-92-9169-125-8
- Polevoy, A.N., Bozhko, L.E. and Barsukova, E.A. (2017) 'Impact of climate changes on agro-climatic indices of the vegetative period of main agricultural crops', *Ukrainian hydrometeorological journal*, 20, pp. 61–70 (in Ukrainian).
- Reid, A., Fuhlendorf, S. and Weir, J. (2010) 'Weather variables affecting Oklahoma wildfires', *Rangeland Ecology & Management*, 69(5), pp. 599–603. <https://doi.org/10.2111/REM-D-09-00132.1>
- Rules of fire safety in the forests of Ukraine* (2005). Order of the State Forestry Committee of Ukraine dated December 27, 2004, No. 278. *The Official Bulletin of Ukraine*, 13, p. 321 (in Ukrainian).
- Soshenskyi, O., Zibtsev, S., Tierientiev, A. and Vorotynskyi, O. (2021) 'Consequences of catastrophic landscape fires in Ukraine for forest ecosystems and population', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 12(3), pp. 21–34. <https://doi.org/10.31548/forest2021.03.002>
- Stepanenko, S.M., Polovyi, A.M. and Shkolnyi, Ye.P. (2011) *Assessment of the impact of climate change on the economy of Ukraine*. Odesa: Ekolohiya. ISBN 978-966-8740-83-1 (in Ukrainian).
- Sydorenko, S. (2022) 'Country report for Ukraine' in San-Miguel-Ayanz et al. (eds.) *Forest Fires in Europe, Middle East and North Africa 2022*. Luxembourg: Publications Office of the European Union, pp. 110–115. JRC135226. <https://doi.org/10.2760/871593>
- Sydorenko, S.H. and Sydorenko, S.V. (2020) 'Analysis of fire risks in Ukrainian forests as a prerequisite for a national forest-fire zoning', *Forestry and Forest Melioration*, 137, pp. 91–101 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.33220/1026-3365.137.2020.91>

- Sydorenko, S.G., Voron, V.P., Melnyk Ye.Ye., and Koval, I.M. (2021) *Forest fire zoning of forests of Ukraine*. Kharkiv: URIFFM (in Ukrainian).
- Xing, H., Fang, K., Yao, Q., Zhou, F., Ou, T., Liu, J., Zhou, S., Jiang, S., Chen, Y., Bai, M. and Ming Chen, J. (2023) 'Impacts of changes in climate extremes on wildfire occurrences in China', *Ecological Indicators*, 157, P. 111288. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111288>

ASSESSMENT OF POTENTIAL CHANGES IN THE FIRE DANGER IN THE UKRAINIAN FORESTS UNDER THE CLIMATE CHANGE

Sydorenko S.H.^{1*}, Balabukh V.O.², Melnyk Ye.Ye.³, Voron V.P.⁴, Koval I.M.⁵, Sydorenko S.V.⁶

The article presents an assessment of potential changes in fire danger in Ukrainian forests under climate change. To evaluate future changes in burnability and fire density, fire regimes and the spatial distribution of forest fires in previous years were taken into account. These data were used to assess the response of fire regimes to certain changes in climate over the baseline period (climatic norm), relative to which the projected changes for the periods 2021–2040, 2041–2060, and 2080–2100 have been predicted. All calculations were carried out at the administrative region level, and these data were grouped in the summary tables according to Ukraine's forest-growing zoning. Such data allowed for the modelling of scenarios for changes in forest fire density and area based on the analysis of regional climate change models. However, these scenarios are approximate and can be used as supplementary analytical materials during strategic planning of fire prevention measures in forests at the administrative region level in Ukraine, as well as for the development of long-term regional programs and fire management projects.

К е у в о р д с : forest fires, burnability of forests, fire density, climatic factors.

Одержано редколегією 30.09.2024

-
- ¹ Sydorenko Serhii, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: serhii88sido@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-0067>
- ² Balabukh Vira, PhD (Geographic Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Hydrometeorological Institute, Nauky Ave. 37, Kyiv, 03028, Ukraine. E-mail: balabukh@uhmi.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3223-7531>
- ³ Melnyk Yevhen, PhD. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: wudckij1985@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9821-2751>
- ⁴ Voron Volodymyr, Doctor habil. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: 52corvus@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1059-3032>
- ⁵ Koval Iryna, Doctor habil. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: koval_iryana@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>
- ⁶ Sydorenko Svitlana, PhD (Agricultural Sciences), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: svit23sydorenko@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1426-7614>
- * Correspondence: serhii88sido@gmail.com

ЗАХИСТ ЛІСУ

УДК 630.4

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.90>**EMERALD ASH BORER: RISK-BASED STRATEGIES TO PEST MANAGEMENT**K. Davydenko¹, Y. Skrylnyk², E. Vorobei³, D. Baturkin⁴, V. Meshkova^{5*}

Emerald ash borer (EAB) originates from Southeast Asia, since the 1990s it has been widely established across large areas in North America and the European part of Russia. Since 2019, EAB has been found in the Luhansk region of Ukraine and is now present in three regions of Ukraine. The main steps to be taken in case of EAB detection are described. The measures to eradicate the EAB infestations, slow down its spread, and mitigate its impact are revised. The long-term efforts of EAB control in North America could not stop pest spread. Including EAB in the A1 quarantine list of Ukraine also does not allow for preventing the spread of this pest. Suggested measures will not allow for preserving resistant *Fraxinus* sp. genotypes that might otherwise survive. The main methods to control EAB spread and mitigate the consequences of its attacks are those recommended for forest protection against other stem pests. They include in-time surveys and felling infested trees before EAB larvae complete their development.

Key words: *Agrilus planipennis*, life cycle, host-trees, pest spread, pest monitoring, regulation.

Introduction. The native range of *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae), commonly known as the emerald ash borer (EAB), includes north-east China, Korea, Mongolia, Japan, and the Russian Far East. However, since the 1990s this pest has been widely established across much of North America, the European part of Russia, and Ukraine, where it continues to spread (Davydenko *et al.*, 2022; EPPO, 2023; Meshkova *et al.*, 2024) in the range of ash (*Fraxinus* spp.) in both continents. EAB attacks various *Fraxinus* species in forests, agricultural landscapes, and other natural and semi-natural habitats, including trees in urban parks and streets. EAB is included in EPPO A2 List of pests recommended for regulation (EPPO, 2013) and on the A1 List of regulated harmful organisms in Ukraine in 2019 (State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection, 2019). *This review aims* to raise awareness of the potential threats caused by *A. planipennis*; to provide a field guide on EAB identification and the symptoms caused by EAB; to guide steps to be taken in case of pest detection or signs of EAB attacks; to eradicate the EAB infestations promptly to slow its spread and mitigate its impact, if a population is found to be established.

Materials and Methods. This review is grounded in an extensive analysis of publications in scientific journals worldwide, with a primary focus on the identification, biology, and management strategies for the emerald ash borer. Emphasis was placed on studies offering insights into pest detection, monitoring techniques, eradication efforts, and long-term containment strategies. Additionally, we incorporated findings from our own reviews and scientific papers on EAB and ash dieback in Ukraine, published in recent years. These works provided critical perspectives on the local

¹ Davydenko Kateryna, PhD, Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine; Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7026, 750 07 Uppsala, Sweden, E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

² Skrylnyk Yuriy, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: yuriy.skrylnik@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8565-4860>

³ Vorobei Eugene, State Forest Protection Service “Kharkivvlisozakhist”, Nezalezhnosti Street 127, Pokotylyvka, 62458, Kharkiv district, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: dgordg.vorobey.212@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0001-1961-1245>

⁴ Baturkin Denys, State Forest Protection Service “Kharkivvlisozakhist”, Nezalezhnosti Street 127, Pokotylyvka, 62458, Kharkiv district, Kharkiv region, Ukraine. E-mail: baturkin.denis@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6061-9863>

⁵ Meshkova Valentyna, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Professor, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: valentynameshkova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

* Correspondence: valentynameshkova@gmail.com

context, including the unique challenges posed by EAB infestations in Ukrainian ash populations. By integrating global research with regional studies, we aimed to develop a robust understanding of the current state of EAB management and to propose strategies tailored to the Ukrainian context. This combined approach ensures the relevance of the findings and recommendations presented in this review.

Results and Discussion. *Life cycle.* EAB has one generation per year, although under certain conditions it may require two years to complete its lifecycle (EPPO, 2013; Meshkova *et al.*, 2023). This depends on the local climate, oviposition timing, food quality, and tree defense response. In total, the pest develops within two years in healthy trees and at low population densities, whereas in stressed trees with higher population densities, it completes its life cycle in one year (Sun *et al.*, 2024).

Usually, the life cycle of EAB requires at least 150 frost-free days (with minimum temperatures above zero degrees Celsius) to complete one generation (Wei *et al.*, 2007). Thus, the climate of Ukraine meets the conditions necessary for the pest to complete one generation per year. Cold temperatures are not a limiting factor for EAB, as it can survive at temperatures as low as -30°C (Crosthwaite *et al.*, 2011). Research performed by the USDA APHIS PPQ (Schrader *et al.*, 2020) indicates that an accumulation of 450 growing degree days (base 10°C) is required for the emergence of EAB adults.

Main hosts-trees. The emerald ash borer can cause extensive mortality of ash species and a few other tree species. The only verified larval host plants of *A. planipennis* are those from the genus *Fraxinus* (Jendek and Poláková, 2014) and white fringe tree (*Chionanthus virginicus* L., Oleaceae) (Cipollini and Rigsby 2015).

The following EAB hosts are present in the Ukraine:

– *F. excelsior*, which is widely present in all planted and natural forests, and *F. pennsylvanica* commonly found in forests, shelter belts, and green areas.

– Ornamental species such as *Fraxinus latifolia*, *F. nigra*, *F. ornus*, *F. quadrangulate*, and *F. velutina*, which occur rarely, mostly in arboreta, botanical gardens, parks, etc.

North American ash species are susceptible to EAB even when healthy, whereas Asian species (*F. chinensis*, *F. mandshurica*, *F. rhynchophylla*) are susceptible only when stressed (Poland *et al.*, 2015). Among North American ash species, blue ash (*F. quadrangulata*) is the least vulnerable, and white ash (*F. americana*) is somewhat less preferred than black ash (*F. nigra*) and green ash (*F. pennsylvanica*) (Herms and McCullough, 2014). All European ash species (*F. angustifolia*, *F. excelsior*, and *F. ornus*) are highly susceptible to EAB attack even when healthy (Herms, 2015).

Regulation. The emerald ash borer is listed as a priority quarantine pest in Schedule 1 of The Plant Health Regulations 2020/1482: its introduction into and movement within the EU is banned. EAB is classified as a CU quarantine pest listed in part A of Annex II of Commission Implementing Regulation (EU) 2019/2072 and as a priority pest under Commission Delegated Regulation (EU) 2019/1702. Specific requirements for importing plants, wood, and related products of *Fraxinus* spp. and other host species are outlined in Annex VII of Regulation (EU) 2019/2072. Additional measures have been adopted to prevent EAB entry from Ukraine (Regulation (EU) 2020/12926), while derogations allow the import of certain ash wood from the USA and Canada under strict conditions (Regulations (EU) 2020/1164, 2020/1002, 2020/918).

EAB has been listed on Ukraine's A1 List of regulated harmful organisms since 2019 (State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection, 2019). Ukraine has imposed import restrictions on wood, particularly ash firewood from regions where EAB is present and all infested ash trees must be cut and then burnt or chipped. A preliminary risk assessment conducted by the EPPO Panel on Quarantine Pests for Forestry has shown a high probability of EAB establishment in Europe (EPPO, 2013). Therefore, the risk of EAB spreading across all of Ukraine is also high.

The Department of Phytosanitary Safety, Control in the Field, Seed Production, and Plant Nursery is a part of the State Service of Ukraine for Food Safety and Consumer Protection (SSUFSC). The Department carries out field monitoring and is tasked with safeguarding Ukraine from phytosanitary risks, such as those posed by EAB incursions, spread, and outbreaks. It continuously

monitors EAB across Ukraine. Additional legislation has been introduced for Ukraine by the SSUFSC, based on the EPPO Standard PM 9/14(1), which recommends maintaining a regulated area of at least 100 km around outbreak areas when implementing a containment policy.

Response. The North American experience shows that EAB eradication from infested regions is challenging. Therefore, the Department of Phytosanitary Safety is focusing on phytosanitary measures to prevent the spread of EAB. Continued military hostilities and the occupation of the eastern regions, where EAB is present, complicate both the eradication and monitoring process. Moreover, the mined territories left by armed conflicts, where access is denied, continue to pose a threat to civilians for many years.

Therefore, there should also be a strong emphasis on detecting the pest in the places of destination of possible pathways, particularly in Central and Northern Ukraine. In the event of EAB introduction, a rapid survey is highly recommended to determine its distribution within the region. Based on the results, a decision should be made regarding whether to pursue the eradication. EPPO recommends that upon first detection of EAB, all feasible measures should be taken to eradicate it (EPPO, 2013).

Spread capacity. The distribution of host trees, such as *F. pennsylvanica* and *F. exselsior*, is important for detecting the pest or delimiting survey areas. At the local level, the potential spread rate of EAB is determined by the distance that the beetle can cover by natural spread in one year. To determine the value of potential EAB spread, the distance an adult beetle can fly from its initial introduction point in one year is essential information for designing a surveillance program.

Under laboratory conditions, EAB adults can fly on average of 1.3 km per day, with some individuals covering more than 7 km per day (Taylor *et al.*, 2010). Long-distance movement of adult EAB, involving tens or hundreds kilometres, likely requires human assistance (EPPO, 2023). In addition, Short *et al.* (2019) suggested that EAB could hitchhike on trains or cars. It has also been reported that a small percentage of EAB can emerge from firewood for two seasons after the wood is cut from infested trees (Petrice and Haack, 2007). In the USA, EAB has been estimated to have spread – both naturally and through human assistance – at a rate of 20 km per year during 1998–2006 (Prasad *et al.*, 2010).

EAB spread in Ukraine. This pest was officially detected in the Luhansk region in 2019. However, judging by the presence of various larval instars and exit holes, it is presumed that EAB likely entered as early as 2017, probably from the neighboring Voronezh region of Russia. By 2021, the EAB spread throughout the entire Luhansk region and parts of Kharkiv region (Davydenko *et al.*, 2022).

The Department of Phytosanitary Safety, Control in the Field, Seed Production, and Nursery is responsible for preventing EAB's spread in Ukraine, including localization of foci, eradication, and the establishment of quarantine regimes. Such regimes were established in 13,3 ha of the Luhansk region in 2019, 233,9 ha in 2020, and 986.75 ha in 2021. In 2021 quarantine zones were also announced in the Kupiansk District of Kharkiv region. In 2022 the area under quarantine measures expanded in both regions, and EAB was also detected in the parks of Kyiv (Strygun *et al.*, 2022).

According to quarantine rules, all ash trees within the affected zones must be eradicated. Therefore, all ash trees within the area of the first confirmed EAB detection in the Luhansk region were cut and burnt in 2019. New pest foci were detected during additional monitoring surveys, and 8.3 ha were localized and eradicated in March 2020 through cutting and burning. Eradication measures continued in 2021 in areas covering 986,75 ha in Luhansk and 177,8 ha in Kharkiv region. These actions were carried out under the supervision of the State Phytosanitary Inspectors in the Luhansk region.

Monitoring. EAB foci are challenging to eradicate because inspecting all ash trees in the region is impossible, and so monitoring will not detect 100% of infested trees. However, it is crucial to locate and eliminate EAB before it becomes established in certain areas. According to EPPO (2023), climate conditions in Europe, particularly in Ukraine, are not a limiting factor for EAB. Both precipitation

and temperature are not expected to hinder its establishment. Therefore, the availability of ash trees in Ukraine is the primary indicator of environmentally suitable areas for EAB.

Survey criteria are based on biological characteristics of the EAB, including findings or reports of live or dead beetles in pheromone traps, typical D-shaped exit holes in the bark of ash trunks, characteristic galleries under the bark, and live or dead insects in wood packaging material (or specimens captured by amateur entomologists). Initial reports may come from forest owners, arboriculturists, woodland owners or managers, and professional survey staff (e.g. Regional Departments of the SSUFSC, Forest Protection Services, forest enterprises, etc.).

Surveys should be done following the recommendations and field guidance provided by the Department of Phytosanitary Safety, Control in the Field, Seed Production and Plant Nursery Resources and should focus on the ash stands with the highest likelihood of EAB presence. These include shelterbelts dominated by *F. pennsylvanica*, forest edges of stands dominated by *F. pennsylvanica* and *F. exselsior*, declining ash stands or trees, parks, cities, and the zones near wood-processing yards that utilize ash.

Regional departments of the SSUFSC also carry out annual monitoring using pheromone traps in each region of Ukraine.

In Ukraine, representatives from SSUFSC regional departments collect monthly information about EAB findings from forest and military forest enterprises, communal forest enterprises, local communities, research institutions, universities and other sources. The regional representatives investigate and report confirmed EAB findings to the SSUFSC. The Department of Phytosanitary Safety, Control in the Field, Seed Production and Nursery Resources will manage any outbreak in full accordance with its EAB Contingency Plan.

The response person from SSUFSC regional departments will gather information including the: location, likely origin, host or commodity, level of damage, extent of outbreak, and chance of spread. Based on this information, the Department of Phytosanitary Safety, Control in the Field, Seed Production and Nursery Resources will decide upon the alert status given and implement urgent measures for eradication as described in the EAB Contingency Plan in Ukraine and EPPO standard PM 9/14 (1).

Visual monitoring. Several illustrated guides provide the keys for identifying EAB (Parsons 2008). Typical adult specimens are bright, metallic, emerald green colored overall, with the elytra usually appearing somewhat duller and slightly darker green, 7.5–13.5 mm long, with elongated bodies (Schrader *et al.*, 2020). The overall greenish coloration may also have variable amounts of brassy, coppery, or reddish reflections, and larvae have characteristic abdominal trapezoidal segments and a pronotal groove that is posteriorly bifurcated (Schrader *et al.*, 2020).

Visual inspection of infestation symptoms is only effective after trees have been infested for several years (Schrader *et al.*, 2020; Davydenko *et al.*, 2022; EPPO, 2023). Moreover, visual signs become apparent when trees are heavily infested, while many infested trees show no visible symptoms. Exit holes and galleries are not detectable in early infestations (EPPO, 2023). Larval galleries under the bark are typical for the genus *Agilus* because of their S-shaped, zigzag or serpentine form (Schrader *et al.*, 2020). They are more likely to appear on the sun-exposed side of host trees (EPPO, 2023). Woodpecker damage – evidenced by strips of bark removed from the stem by birds and other animals feeding on the larvae – is an important indicator for visual surveillance (Schrader *et al.*, 2020; EPPO, 2023). Other symptoms include dying and dead ash trees, epicormic shoots, thinning crowns (observed from late July until leaf-drop in the autumn), wilting (which may occur 3 to 4 years before strong external symptoms develop that could lead to tree death), and crown dieback.

Traps surveillance. Because the larval stages of EAB are difficult to detect, as they develop inside the trees, surveys initially target adult insects. Various detection methods employing traps have been developed, differing in trap type, color, and attractants. The use of girdled ash trap trees with sticky bands has proven effective for detecting EAB at low prevalence. A new detection method employing sentinel trees in high-risk areas is also being developed (Schrader *et al.*, 2020).

Trap types. Traps may be multifunnel, prism, or double-decker types. Multifunnel traps consist of a series of connected funnels that lead to a collection cup, with lure vials attached to the trap's center (Schrader *et al.*, 2020). These traps are available in various colors and can be attached to tree branches in the canopy (Schrader *et al.*, 2020). Prism traps are three-sided structures made of corrugated plastic. The traps are coated with clear insect-trapping glue, hung on branches in the canopy, and can be baited with various lures (Schrader *et al.*, 2020). The double-decker traps consist of two corrugated plastic prisms – one green and one purple – attached to a 3-meter-tall polyvinyl chloride (PVC) pipe supported by a T-post (McCullough and Poland, 2017).

Trap color. Colour is an important factor influencing trap captures. However, the response of EAB to different wavelengths of light is likely affected by adult preferences and behavioural activity patterns (Schrader *et al.*, 2020). Purple traps typically capture more females than males, while green traps attract more males (Schrader *et al.*, 2020).

Trap attractants. Traps may be baited with host volatiles to attract EAB, such as manuka oil and (3Z)-hexenol, and the female-produced pheromone (3Z)-lactone. The green leaf volatile (3Z)-hexenol is highly effective in enhancing trap captures, especially of males (Schrader *et al.*, 2020).

Girdled trees with sticky bands. Girdled ash trees with sticky bands may attract EAB adults due to enhanced production of plant stress volatiles (McCullough and Poland 2017; Schrader *et al.*, 2020). However, based on the experience of the Canadian authorities in EAB surveillance, bark windows are ineffective at detecting early infestations. Nevertheless, this method can be useful for delimiting pest outbreak areas and can be applied in Ukraine due to its uniformity, cost-effectiveness, and convenience. However, this method is also damaging and destructive to the tree.

Sentinel trees. When performing risk-based surveys for EAB in European ash forests, the use of sentinel trees in high-risk areas can be a valuable tool for early detection. These could include stressed, potted *Fraxinus* trees of the most susceptible species (e.g. *F. pennsylvanica*) or other ash trees (Schrader *et al.*, 2020).

Trap deployment in Ukraine. Different detection methods can be integrated into survey strategies appropriate for specific situations or local conditions (McCullough and Poland, 2017). For example, low-value or declining ash trees along fence lines, roads, or forest edges can be girdled and debarked for monitoring purposes. Less expensive prism traps or reusable funnel traps can be used in large-scale systematic surveys. Free-standing double-decker traps may be particularly suitable for high-risk areas, provided they are placed near ash trees and in open spaces where the prisms are exposed to sunlight. Suitable locations include highway medians, railroad corridors, powerline clearings through forested areas, and the perimeter of sawmills and wood waste disposal sites. With regards to the optimal timing for EAB adult trapping, traps should be set just before adult emergence (i.e. at 450 growing degree days). In the USA, USDA APHIS PPQ recommends placing traps from the 1st of May to 30th of September (Schrader *et al.*, 2020). It is important to note that all captured adult beetles must be immediately killed by placing them in a vial filled with 70% ethanol, which should be tightly sealed. Live adults should never be transported from the suspected infestation site.

*Distinguishing EAB infestation from ash dieback caused by *Hymenoscyphus fraxineus*.*

Ash dieback, caused by *Hymenoscyphus fraxineus*, is now widespread in Ukraine, and its symptoms may be confused with those of EAB infestation.

Confirming that the presence of EAB will require expert examination of samples and follow-up inspections, particularly to differentiate it from ash dieback caused by *H. fraxineus*. Both EAB infection and *H. fraxineus* infestation can cause foliar wilt and crown dieback. However, the presence of D-shaped exit holes and larval galleries under the bark are key indicators of *A. planipennis*, which are not associated with *H. fraxineus*.

In smaller ash trees and saplings, typical diamond-shaped lesions caused by the ash dieback pathogen are often visible on the main stem, accompanied by dieback of branches and side shoots. However, the lesions may not be easily observable on the stems of larger trees. *H. fraxineus* generally causes diffuse 'tip dieback' across the periphery of the crown of larger trees. Dense clumps of foliage may appear further down the branches as epicormic growth develops. In contrast, EAB infestation

typically begins with dieback of one or two branches, usually on the most sun-warmed tree side, followed by general crown thinning. As infestation progresses, epicormic growth emerges lower on the trunk. Another potential sign of EAB is woodpecker activity, as birds strip the bark to feed on larvae. However, the presence of larvae beneath the bark or the characteristic D-shaped exit holes provides definitive confirmation of EAB infestation.

Response. Official action following a presumptive detection.

Strategic actions on suspicion. In Ukraine, representatives from SSUFSC regional departments serve as a primary point of contact for suspected EAB incidents. Their responsibility is to assign a response officer when an incident occurs.

The assigned response officer will gather key information including: location of the suspected infestation, likely origin of the pest, host tree or commodity affected, level of damage observed, extent of outbreak, and potential of further spread. Based on this assessment, SSUFSC departments will determine the alert status (confirmation of EAB presence or absence). If EAB is confirmed, the following measures will be taken: defining the boundaries of the affected area, declaring a state of quarantine, appointing eradication measures for affected landowners (e.g. State Forest Enterprises, United territorial communities) in accordance with Ukrainian legislation, designating a responsible institution or individual to oversee eradication efforts and setting deadlines for reporting on the implementation of eradication measures.

Tactical actions on suspicion. Holding consignments and imposing movement/planting restrictions. Until further investigation is completed, and under a containment notice, no host material or other suspect items shall leave the affected site. All local tree management operations will be halted until the suspected case is fully investigated. The SSUFSC Department will determine the extent of the site under containment. If the detection is linked to traded plants or wood, a tracing process will be conducted both forwards and backward to identify suspect material and, if the pathway is known, to identify other potentially contaminated stock or sites. This includes suppliers of plants, wood and wood products, as well as wholesalers.

Confirming a new outbreak. How is an EAB outbreak identified? An EAB outbreak may be detected through various means, including surveys carried out following the interception of live or dead EAB specimens in wood, wood packaging materials, or imported plants. Still, more likely, an outbreak would be detected through general surveillance programs or following a report from professionals such as scientists, biologists, ecologists, or foresters observing symptomatic ash trees. Symptoms that may indicate an EAB outbreak include: canopy thinning and dieback, tree mortality, suspect insect galleries and damage beneath the bark.

Confirming the presence of EAB requires expert examination of samples and follow-up inspections, particularly to differentiate it from ash dieback caused by *Hymenoscyphus fraxineus*. Infection with *H. fraxineus* is also characterized by foliar wilt and crown dieback. However, the presence of D-shaped exit holes and larval galleries under the bark are two key indicators of the EAB infestation.

If evidence of EAB is found, follow-up inspections should be conducted in line with ISPM 6 guidelines for surveillance to gather essential information, including:

- Likely origin of the pest and, if a consignment of plants or plant products including wood and wood products is suspected as the source, details of other possible destinations should be documented.
- Geographical location and site ownership. This includes details of abiotic factors that might influence the outbreak, such as public access, transport routes, etc.
- Host plants at the site: Identification of infested host species, variety, development stage, etc., and an estimate of the abundance and distribution of potential hosts in the surrounding area.
- Detection and identification details: information on when and how the pest was detected and identified, along with supporting documentation such as photographs of symptoms.
- Level of pest incidence and, where appropriate, identification of life stages present.
- Extent and impact of damage: Specification of the affected parts of the host plants.
- Recent import or movement of host plants into and out of the affected area.

- Movement of people, products, equipment, and vehicles, where appropriate.
- Site accessibility for machinery to remove trees.
- Relevant treatments applied to host plants that may influence symptom development or detection and diagnosis of the pest.

Sampling. To confirm a suspected EAB detection, the samples of insects and infested plant or wood material must be collected for expert identification. While adult specimens are the most useful for rapid identification, all life stages should be collected if present. A representative sample of the infested plant or wood product should be collected by a representative person of SSUFSC regional departments, including a sample of any attached foliage and bark, to help confirm the identity of the infested material). These samples should then be examined in the SSUFSC Laboratory to verify the presence or absence of EAB.

Diagnostic protocol. The most effective diagnostic protocol for EAB identification involves a combination of visual inspection, trap monitoring, and potentially using specialized tools like tree borer traps or pheromone traps. Identification of EAB is based on morphological characteristics and/or DNA sequencing of adults, larvae, or pupae. Adults of EAB can be identified by comparing the taxonomic keys (Parsons, 2008; EAB network, 2016). Samples should only be removed from the site by trained personnel using appropriate equipment while adhering to biosecurity guidelines.

Official actions following the confirmation of an EAB outbreak. Once an EAB infestation is confirmed, immediate action is required to control the spread and minimize damage to ash tree populations. The response will depend on the extent of the outbreak, local regulations, and the management strategies.

Quarantine Measures (mandatory). If EAB is detected in a specific area, quarantine measures must be implemented to restrict the movement of potentially infested ash materials, such as logs, branches, or nursery stock, to prevent the beetle's spread to new areas.

Tree Removal and Disposal. Infested trees should be removed and properly disposed to prevent the beetles from spreading to neighbouring trees and reduces the overall population of EAB in the area. Depending on local regulations and management strategies, the removed trees may need to be chipped, burned, or buried to ensure the beetles are killed.

Chemical Treatments. Insecticide treatments can be applied to protect high-value individual ash trees from EAB infestation. These treatments typically require trained professionals and may involve trunk injections, soil drenches, or spray applications. The guidelines and recommendations for the specific insecticide being used must be followed.

Biological Control. In some cases, introducing natural predators or parasitosis of EAB can be an effective strategy for managing the beetle population. However, this approach often requires further long-term study to identify efficient biological agents in Ukraine and careful evaluation of potential risks to the local ecosystem. Biological control may not be suitable for all environments.

Monitoring and Surveying. Continue monitoring is crucial for early detection of new infestations. Regular surveys and inspections of ash trees can help identify new EAB populations and assess the effectiveness of management efforts.

Public Awareness and Education. Raising awareness among landowners, foresters and the public is essential for early detection and control. Educating people about the signs of infestation and the importance of taking appropriate action can help in the overall efforts to slow the spread.

Ash Tree Replacement and Diversification. In areas where EAB has caused significant damage and the ash tree population is severely affected, reforestation and species diversification can help restore ecological balance and reduce vulnerability to future pest outbreaks. This involves replanting with alternative tree species to enhance biodiversity and encouraging the use of resistant or non-host species.

Working with local forestry departments, agricultural extension offices, certified arborists, and other experts experienced in managing EAB infestations is essential. These professionals can provide guidance tailored to the specific situation and help implement the most effective and environmentally

responsible strategies for EAB control. Early detection and swift action are keys to minimizing the damage caused by this destructive invasive species.

Demarcated zones. A statutorily regulated area should be established immediately after an EAB outbreak, to help minimize the spread of the pest within the infested area, and to prevent human-assisted transport of infested material to unaffected regions. An initial regulated area around the infested trees must be established, within which measures avoiding the movement of potentially infested ash material should be implemented. These measures should include a prohibition on the movement of untreated ash wood (including firewood, round wood, sawn wood, wood chips, waste wood, and arboricultural arisings) and ash plants for planting purposes. The prohibition should prohibit the movement of such material from the infested area to the rest of the regulated area, and from the regulated area to regions outside the regulated area. If new EAB detections occur, the regulated area may need to be expanded to include previously unaffected zones.

Management strategy. The response strategy will focus on eradication and containment, depending on the number of infested trees, whether adult beetles have emerged, the number of pest generations completed, the distribution of infested ash trees, and the density of ash trees in the surrounding area.

Pest management procedures.

Surveillance. Following an EAB interception, if no infested ash trees are found during the initial delimiting survey, the area may be declared free of tree infestation, and there is no immediate risk of pest spread, therefore a moderate surveillance program must be implemented (Fig 1).

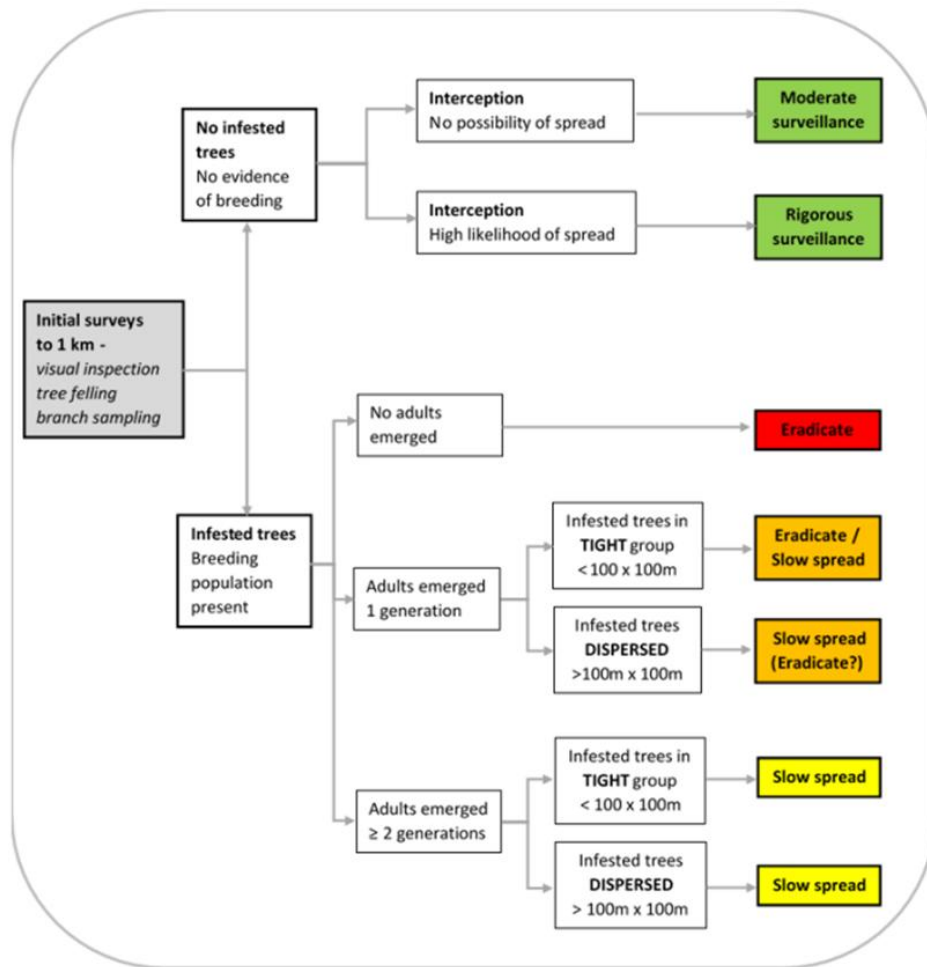


Fig. 1 – Management strategies for *Agrilus planipennis*

It consists of annual repeated surveys of the original 1 km intensive survey zone, combined with adult beetle trapping and using of girdled trap trees. These follow-up surveys must be repeated annually for at least 2–3 years.

If the initial delimiting surveys do not detect infested ash trees, but there is a high likelihood that adult beetles have spread into the wider environment, a more rigorous surveillance plan must be implemented. It should involve repeating the intensive surveys outwards to 1 km and the line transect surveys to 10 km in the following and subsequent years and establishing a network of traps and girdled trap trees. The number and placement of traps and girdled trees will depend on the abundance and distribution of ash trees in the surrounding area. These surveys must continue for at least 3 years.

Eradication. If the initial delimiting surveys detect infested ash trees, the decision either to attempt eradication or focus on slowing the pest's spread and reducing its impact will depend on whether adult EAB have already emerged from the infested trees and how long the beetles have been present. If no adult beetles have emerged, or if only one generation of beetles has emerged and their ability to spread appears limited, eradication may be possible, and management efforts should prioritize this goal. An infestation confined to a small group of trees in an area where with few ash trees is more likely to be eradicated than one affecting a larger number of trees dispersed across a wider area – especially if there many other ash trees present in the surrounding environment. Determining how many generations of beetles may have emerged and how far they might have spread will require a detailed examination of infested trees by entomologists specializing in xylophagous insects.

Actions focused on eradication should include:

Felling and destroying (chipping/burning) all ash trees outwards the infested trees. This suggestion is based on Mercader *et al.* (2012) who found that 90% of EAB larvae were located within 100 m of the point where adults emerged in newly established satellite populations, and 98% of larvae were found within 200 m. Less than 1% of larvae were found beyond 400 m from the point of adult emergence. However, such measures failed to stop the spread of EAB in the USA. Unlike the USA, in Ukraine, EAB-attractive trees grow primarily in forest shelterbelts and urban green spaces. They are significantly represented in forest areas only in the southeastern regions. Studies in the Luhansk region (Meshkova *et al.*, 2024) showed that EAB occurrence is most probable in the driest forest site conditions, the warmed-up areas within stands, especially small subcompartments surrounded by non-forest landscapes, and forest shelter belts near roads and fields. The EAB spread from the Luhansk region through such plantings to the Kharkiv region and then further to Kyiv, following roadside shelterbelts.

The use of trap trees. Girdled ash trees are highly attractive to adult EAB, and if these trees are treated with an insecticide, all life stages of the pest can be eliminated (McCullough and Poland, 2017).

Traps for adult beetles. Green or purple traps, baited with the host volatile (z)-3-hexanol, can be used. However, traps are less effective when populations are low and are generally more useful for monitoring rather than reducing the EAB population.

If the infested trees are detected during the beetles' flight period, they must be removed and destroyed as soon as possible to limit adult emergence and dispersal. However, sufficient time must be allowed for a thorough investigation to determine how long the beetles have been present and how far they may have spread. Outside the flight period, from July through April, trees can be felled and removed at any time. However, it is crucial to clear and destroy all infested trees before the next flight period begins (i.e., before the beginning of May).

Trees should be cut as close as possible to ground level. Trunks and branches should be cut into sections small enough to be easily handled, turned over, and inspected before disposal. Logs and the bark from the basal 50 cm of at least two branches per tree must be inspected for galleries and immature life stages of EAB.

In the following year, intensive surveys and trapping should be conducted from the edge of the clear-felled area to the boundary of the designated infested area. Additionally, trapping and systematic

surveys extending outward to 10 km, must be repeated to confirm whether there has been any further spread. If more infested trees are discovered, the infested area and the boundaries of the regulated area must be refined accordingly. If additional infested trees are found, all ash trees within a radius of 500 m must be felled and removed, as detailed above.

This process must be repeated for at least four years until the last infested trees have been removed. If no new signs of EAB breeding are detected, the infestation may be declared eradicated. However, this period could be shortened or extended depending on whether newly infested trees continue to be found and the pest continues to spread. If the spread persists, a policy shift from eradication to containment may be necessary.

Traps designed to capture EAB adults have been developed in the USA and Canada, and establishing a network of traps across the infested and regulated area will help monitor occurrence and spread. In the USA, purple sticky delta traps baited with (Z)-3-hexanol, or green multi-funnel traps baited with the same compound are recommended. In Canada green delta traps baited with the green leaf volatile (Z)-3-hexanol have proven effective.

To maximize EAB capture, traps must be placed in sunny, exposed locations, preferably on the southwestern side of trees. Free-standing ‘double-decker’ traps were found to be more effective at capturing EAB adults at low populations than single traps placed in trees (McCullough and Polland, 2017). In contrast, trap logs were ineffective, as EAB prefers to attack living trees rather than felled wood.

Girdled trees are more effective than artificial traps at detecting low-density EAB populations. However, as EAB density increases, the difference in effectiveness between girdled trees and artificial traps diminishes. Girdling is performed in spring or early summer by removing a 15–20 cm band of outer bark and phloem around the tree base. This is followed by felling and debarking in the autumn or winter to detect larval galleries. To prevent further beetle emergence, girdled trees must be felled and destroyed before the start of the next flight period. Small to medium-sized trees (10–20 cm DBH) are optimal for girdling, as they are easier to girdle and inspect and highly attractive to EAB oviposition (McCullough and Polland, 2017).

Slowing spread and reducing impacts.

If infested ash trees are found with more than one generation of adult beetles emerged and dispersed (Figure 1), it is likely that EAB eggs have been laid in ash trees beyond 1 km from the initial infestation site. Locating these infested trees becomes increasingly difficult. EAB is a strong flyer, capable of traveling distances greater than 1 km, and can also spread through transport (Short *et al.*, 2019). As a result, once more than one or two generations of beetles have emerged, clear-felling outward to 1 km will neither eradicate nor prevent further spread of the pest, particularly in regions experiencing active hostilities.

Climate change and associated hot summers accelerate EAB development and spread. Experience in North America has shown that clear-cut areas ultimately do not prevent EAB spread, except perhaps in the very earliest stages of an outbreak. Additionally, selective and clear felling may remove resistant ash genotypes that could have otherwise survived. Cutting large numbers of infested or potentially infested trees depletes local resources for the pest, which may stimulate its spread to new areas. Given these factors, we believe including EAB in the “A1 List of Pests Recommended for Regulation as Quarantine Pests” in 2019 was a significant mistake, as exit holes were already visible at that time. This suggests that EAB infestation began no later than 2017. Implementing quarantine measures in the Luhansk region based on the A1 List requirements was ineffective in stopping further expansion of the outbreak.

Therefore, when the infestation is more extensive, and more than one generation of adult beetles has emerged and dispersed, the management program should prioritize monitoring and phased removal of the most severely affected ash trees. This approach aims to reduce the EAB population and slow its spread (Figure 1), particularly during the flight period.

By removing only the most affected trees, this strategy preserves potentially resistant ash trees that may survive despite the infestation and maintains populations of natural enemies (parasitoids, predators, and entomopathogens), which could contribute to long-term EAB population control.

Annual surveys are essential to track the spread of EAB, redefine infested areas and adjust the boundaries of regulated zones, and differentiate EAB-infested trees from those affected by ash dieback (caused by *H. fraxineus*).

Likewise, four species of Asian parasitoid wasp – *Spathius agrili*, *Sp. galineae*, *Tetrastichus planipennisi* and *Oobius agrili* – have been released in the USA as biological control agents against EAB larvae (Sun *et al.*, 2024). However, their effectiveness in Ukraine remains unknown.

Recovery. Eradication is unlikely if EAB has spread into the wider environment, except under highly restrictive conditions. Therefore, full recovery to pre-outbreak conditions is not feasible. To restore woodland and urban landscapes, alternative tree species could be planted. Replanting with EAB-resistant ash may also be an option if resistant genotypes can be identified and propagated. However, any replanting efforts must also consider resistance to ash dieback.

Conclusions.

EAB is a highly destructive alien pest that has already infested three regions of Ukraine, threatening *Fraxinus* species.

The review outlines key steps to take following EAB detection or symptoms of infestation, methods for eradicating the EAB infestations and slowing the pest's spread, and strategies to mitigate EAB's impact if an established population is found.

Long-term efforts to stop EAB spread in the USA have been unsuccessful. Listing EAB on the A1 Quarantine List does not prevent its expansion. Furthermore, rigid regulatory measures may hinder the preservation of resistant ash genotypes that could otherwise survive. The most effective mitigation strategies align with standard forest protection methods against other stem pests. They include timely surveys to detect new infestations and felling infested trees before EAB larvae complete their development.

Sources of Funding. The manuscript was prepared in the framework of a research plan of URIFFM (0120U101891), supported by the State Forest Resources Agency of Ukraine.

Acknowledgments. Development of this strategy has been supported by the Ministry of Education and Science of Ukraine within joint Ukrainian-Latvian project No M/92-2023, M/8-2024.

REFERENCES

- Cipollini, D., and Rigsby, C. M. (2015) 'Incidence of infestation and larval success of emerald ash borer (*Agrilus planipennis*) on white fringetree (*Chionanthus virginicus*), Chinese fringetree (*Chionanthus retusus*), and devilwood (*Osmanthus americanus*)', *Environmental entomology*, 44(5), pp. 1375–1383. <https://doi.org/10.1093/ee/nvv112>
- Crosthwaite, J. C., Sobek, S., Lyons, D. B., Bernards, M. A., and Sinclair, B. J. (2011) 'The overwintering physiology of the emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae)', *Journal of Insect Physiology*, 57(1), pp. 166–173. <https://doi.org/10.1016/j.jinsphys.2010.11.003>
- Davydenko, K., Skrylnyk, Y., Borysenko, O., Menkis, A., Vysotska, N., Meshkova, V., ... and Vasaitis, R. (2022) 'Invasion of Emerald Ash Borer *Agrilus planipennis* and Ash Dieback Pathogen *Hymenoscyphus fraxineus* in Ukraine – A Concerted Action', *Forests*, 13(5), 789. <https://doi.org/10.3390/f13050789>
- EAB network (2016). Available at: <https://www.emeraldashborer.info/> (Accessed: 13 October 2024).
- EPPO (2013) *Draft Pest Risk Analysis for Agrilus planipennis Fairmaire, 1888*. Prepared by the Expert Working Group on *A. planipennis*, 28–31 January 2013. Available at: <https://gd.eppo.int> (Accessed: 13 October 2024).
- EPPO (2023) *Agrilus planipennis. EPPO datasheets on pests recommended for regulation*. Available at: <https://gd.eppo.int> (Accessed: 13 October 2024).
- Hermes, D. A. (2015) 'Host range and host resistance', in Van Driesche, R.G. and Reardon, R.C. (eds.) *Biology and Control of Emerald Ash Borer*. USDA Forest Technology Enterprise Team, Morgantown, pp. 65–73.
- Hermes, D.A. and McCullough, D.G. (2014) 'Emerald ash borer invasion of North America: History, biology, ecology, impacts, and management', *Annual Review of Entomology*, 59, pp. 13–30. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-011613-162051>
- Jendek, E. and Poláková, J. (2014) 'Host Plants of World *Agrilus* (Coleoptera, Buprestidae)', *A Critical Review*, 706.

- McCullough, D.G. and Poland, T.M. (2017) 'Building double-decker traps for early detection of emerald ash borer', *Journal of Visualized Experiments*, 128, e55252. <https://doi.org/10.3791/55252>
- Mercader, R. J., Siegert, N. W. and McCullough, D. G. (2012) 'Estimating the influence of population density and dispersal behavior on the ability to detect and monitor *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) populations', *Journal of Economic Entomology*, 105(1), pp. 272–281.
- Meshkova, V., Borysenko, O., Kucheryavenko, T., Skrylnyk, Y., Davydenko, K. and Holusa, J. (2023) 'Potential westward spread of emerald ash borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) from Eastern Ukraine', *Forests*, 14, 736. <https://doi.org/10.3390/f14040736>
- Meshkova, V., Borysenko, O., Kucheryavenko, T., Vysotska, N., Skrylnyk, Y., Davydenko, K. and Holusa, J. (2024) 'Forest Site and Stand Structure Affecting the Distribution of Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae), in Eastern Ukraine', *Forests*, 15, 511. <https://doi.org/10.3390/f15030511>
- Parsons, G.L. (2008) *Emerald Ash Borer *Agrilus planipennis* Fairmaire (Coleoptera: Buprestidae). A guide to identification and comparison to similar species*. Michigan State University. Available at: http://www.emeraldashborer.info/documents/eab_id_guide.pdf (Accessed: 13 October 2024).
- Poland, T. M., Chen, Y., Koch, J. and Pureswaran, D. (2015) 'Review of the emerald ash borer (Coleoptera: Buprestidae), life history, mating behaviours, host plant selection, and host resistance', *The Canadian Entomologist*, 147(3), pp. 252–262. <https://doi.org/10.4039/tce.2015.4>
- Petrice, T.R. and Haack, R.A. (2007) 'Can emerald ash borer, *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae), emerge from logs two summers after infested trees are cut?', *The Great Lakes Entomologist*, 40, pp. 92–95.
- Prasad, A. M., Iverson, L. R., Peters, M. P., Bossenbroek, J. M., Matthews, S. N., Davis Sydnor, T. and Schwartz, M. W. (2010) 'Modeling the invasive emerald ash borer risk of spread using a spatially explicit cellular model', *Landscape ecology*, 25, pp. 353–369.
- Schrader, G., Ciubotaru, R. M., Diakaki, M. and Vos, S. (2020) 'EFSA guidelines for emerald ash borer survey in the EU', *Forestry: An International Journal of Forest Research*, 93(2), pp. 212–219. Available at: <https://academic.oup.com/forestry/article/93/2/212/5735624> (Accessed: 13 October 2024).
- Short, M.A., Chase, K.D., Feeley, T.E., Kees, A.M., Wittman, J.T. and Aukema, B.H. (2019) 'Rail transport as a vector of emerald ash borer', *Agricultural and Forest Entomology*, 22, pp. 92–97.
- State Service of Ukraine on Food Safety and Consumer Protection (2019) *Phytosanitary monitoring*. Available at: <https://dpss.gov.ua/fitosanitariya-kontrol-u-sferi-nasinnictva-ta-rozsadnictva/fitosanitarij-kontrol/fitosanitarij-monitoring> (Accessed: 13 October 2024).
- Strygun, O.O., Fedorenko, V.P., Chumak, P.Y., Vygera, S.M., Honcharenko, O.M. and Anyol, O.H. (2022) 'Emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire) in Kyiv parks', in *Plant Protection and Quarantine in the 21st Century: Problems and Prospects. Proceedings of the International Scientific-Practical Conference Dedicated to the Anniversaries of the Outstanding Phytopathologists Doctors of Biological Sciences, Professors V.K. Panteleev and M.M. Rodygin (Kharkiv, Ukraine, 20–21 October 2022)*. Kharkiv: State Biotechnological University, pp. 189–201. ISBN 978-614-581-554-6. Available at: <https://biotechuniv.edu.ua/novini/vidbulasyamizhnarodna-naukovo-praktychna-konferentsiya-zahyst-i-karantyn-roslyn-u-hhi-stolitti-problemy-i-perspektyvy/> (Accessed: 01 December 2023).
- Sun, J., Koski, T.M., Wickham, J.D., Baranchikov, Y.N. and Bushley, K.E. (2024) 'Emerald Ash Borer Management and Research: Decades of Damage and Still Expanding', *Annual Review of Entomology*, 69, pp. 239–258. <https://doi.org/10.1146/annurev-ento-012323-032231>
- Taylor, R.A.J., Bauer, L.S., Poland, T.M. and Windell, K.N. (2010) 'Flight performance of *Agrilus planipennis* (Coleoptera: Buprestidae) on a flight mill and in free flight', *Journal of Insect Behavior*, 23, pp. 128–148.
- Wei, X.I.A., Wu, Y.U.N., Reardon, R., Sun, T.H., Lu, M.I.N. and Sun, J.H. (2007) 'Biology and damage traits of emerald ash borer (*Agrilus planipennis* Fairmaire) in China', *Insect Science*, 14(5), pp. 367–373. <https://doi.org/10.1111/j.1744-7917.2007.00163.x>

**ЯСЕНОВА СМАРАГДОВА ВУЗЬКОТІЛА ЗЛАТКА: СТРАТЕГІЯ КОНТРОЛЮВАННЯ
З УРАХУВАННЯМ РИЗИКУ**

Давиденко К. В.¹, Скрильник Ю. Є.², Воробей Є. В.³, Батуркін Д. О.⁴, Мешкова В. Л.^{5*}

Ясенова смарагдова вузькотіла златка (ЯСВЗ) походить із Південно-Східної Азії, із 1990-х років широко розповсюджена на великій території Північної Америки та європейської частини Росії. З 2019 р. ЯСВЗ виявлено в Луганській області України, і наразі вона поширена в трьох областях України. Описано основні дії, які необхідно вжити у разі виявлення ЯСВЗ. Переглянуто заходи щодо ліквідації осередків ЯСВЗ, уповільнення її поширення та послаблення впливу. Довгострокові зусилля з контролю ЯСВЗ у Північній Америці не змогли зупинити поширення шкідника. Внесення ЯСВЗ до карантинного списку А1 України також не дає можливості запобігти поширенню цього шкідника. Запропоновані заходи не дають змоги зберегти стійкі генотипи *Fraxinus* sp., які інакше могли би вижити. Основними методами контролю поширення ЯСВЗ і пом'якшення наслідків її нападів є такі, що рекомендовані для захисту лісу від інших стовбурових шкідників. Вони охоплюють своєчасні обстеження та вирубування заселених дерев до того, як личинки ЯСВЗ завершать свій розвиток.

Ключові слова: *Agrilus planipennis*, життєвий цикл, дерева-живителі, поширення шкідників, моніторинг шкідників, регулювання.

Одержано редколегією 30.10.2024

¹ Давиденко Катерина Валеріївна, PhD, доцент, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна; Шведський університет сільськогосподарських наук, а/с 7026, 750 07 Уппсала, Швеція. E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

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

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

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

⁵ Мешкова Валентина Львівна, доктор сільськогосподарських наук, професор, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: valentynamechkova@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6483-2736>

* Адреса для кореспонденції: valentynamechkova@gmail.com



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.103>

ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАСТОСУВАННЯ ФУНГІЦИДІВ ДЛЯ ЗАХИСТУ КАТАЛЬПИ БІГНОНІЄВИДНОЇ ВІД БОРОШНИСТОЇ РОСИ

А. Г. Булат^{1*}

Наведено інформацію про ураження саджанців катальпи бігнонієвидної (*Catalpa bignonioides* Walter) борошнесторосяним грибом *Erysiphe catalpae* Simonyan 1984. Гриб може розвиватися на деревах різного віку, але найбільшої фізіологічної шкоди завдає молодим рослинам. Проаналізовано результати польового експерименту з випробування фунгіцидів Артис Плюс, Таліус та Вербен для захисту саджанців від ураження борошнестою россою. Усі застосовані препарати не мали негативного впливу на приріст саджанців катальпи та виявили високу ефективність проти збудника борошнестої роси катальпи, що призвело до значного зниження показників, які характеризують поширеність і розвиток хвороби. Найбільшим захисним ефектом навіть за одноразового обробітку відзначається препарат Артис Плюс. Показник поширення хвороби після оброблення цим препаратом знизився більш ніж удвічі, а показник розвитку хвороби – у 5,6 разу, порівнюючи з контролем. У варіанті дворазового оброблення рослин цим фунгіцидом на саджанцях катальпи збудника борошнестої роси взагалі не виявлено.

Ключові слова: фітопатоген, захист рослин, індекс стану, біометричні показники.

Вступ. Розширення асортименту деревних рослин, які використовують в озелененні з метою посилення рекреаційно-оздоровчих функцій насаджень, завжди було й залишається актуальним завданням. Із цією метою у вуличних композиціях все частіше використовують інтродуковані види деревних рослин (Kuharska, 2011). До таких належать види роду *Catalpa* Scop. Їхня цінність визначається декоративними властивостями дерев, особливо під час цвітіння, коли рослину вкривають квітки, що щільно розміщені у суцвіттях. Цим створюється надзвичайний декоративний ефект, що ставить види роду *Catalpa* на одне з провідних місць серед паркових дерев (Kuharska, 2011). Цікавість до рослин цього роду також зумовлена їхньою стійкістю до умов урбанізованого середовища. Вплив негативних чинників під час росту дерев майже не позначається на їхньому зовнішньому вигляді (Kulbickij, 2006; Kuharska, 2011).

Незважаючи на високу декоративність, рослини роду *Catalpa* дуже обмежено використовують в озелененні України, де вони презентовані лише шістьма видами: катальпою звичайною (*C. bignonioides* Walter), катальпою прекрасною (*C. speciosa* Warder ex Barneuc Engelmann), катальпою яйцеподібною (*C. ovata* G. Don.), катальпою гібридною (*C. hybrida* Spreeth.), катальпою Фаргезі (*C. fargesii* Bureau) та катальпою Бунге (*C. bungei* C.A. Meyer.) (Dudin, 2005).

Успішне масове впровадження в озеленення рослин роду *Catalpa* неможливе без з'ясування видового складу фітопатогенних грибів, які можуть уражувати дерева й викликати хворобу, етіологію, патогенез і методів захисту від хвороби. Зазначені дослідження можуть надати важливі дані для оцінювання доцільності подальшої інтродукції видів роду *Catalpa* для озеленення та перспективності їхнього використання в інших сферах природокористування.

Найсприятливіші умови для поширення й розвитку фітопатогенів створюються в розсадниках. За інтенсивного використання ґрунту під час тривалого вирощування садивного матеріалу поступово накопичується інфекційний матеріал, що призводить в окремі роки до виникнення епіфітотій – масового розвитку небезпечних захворювань (Boyko and Puzrina, 2014; Golub and Golub, 2021).

Найбільш розповсюдженим ураженням сіянців і саджанців у розсадниках є патологічні пошкодження асиміляційного апарату. Серед різноманіття грибів – збудників хвороб, що

¹ Булат Андрій Геннадійович, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61002, Україна. E-mail: bulatandrey1977@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9682-4220>

* Адреса для кореспонденції: bulatandrey1977@gmail.com

уражують асиміляційний апарат сіянців і саджанців, особливу увагу привертають борошнисторосяні патогени (*Erysiphales, Ascomycota*). Борошнисторосяні гриби є obligатними паразитами судинних рослин, переважно дводольних. Ці гриби уражують понад 10 тисяч видів дикорослих, культурних та оранжерейних рослин, однак щороку у світі реєструють нових живителів цих грибів (Braun and Cook, 2012; Heluta *et al.*, 2016). Листяні види, на відміну від хвойних, є стійкішими до грибних пошкоджень листя, у зв'язку зі щорічним оновленням асиміляційного апарату. Водночас загальний стан молодих рослин, зокрема сіянців і саджанців, істотно погіршується під впливом цієї групи патогенів (Boyko and Puzrina, 2014; Naidenko and Vlasenko, 2018).

Борошниста роса – одна з найпоширеніших і шкідливих патологій листяних рослин. Ураження декоративних рослин мікроміцетами призводить до значного погіршення їхнього стану та / або втрати продуктивності (Boltenkov and Stovbunenko, 2008). Масова експансія збудника хвороби спричиняє ослаблення всієї рослини, що виявляється на всіх зелених органах: листових пластинах, черешках і здерев'янілих пагонах (Golub and Golub, 2021). Під час масового розвитку хвороби інфекція розвивається на бруньках, зав'язях й плодах. Уражені рослини уповільнюють ріст унаслідок порушення фізіологічних процесів. Навіть незначне ураження дерев призводить до втрати декоративності й зниження екологічних та естетичних функцій насаджень (Heluta *et al.*, 2016).

Поширенню патогенів сприяють надмірна загущеність рослин, підвищена вологість у поєднанні з підвищеною температурою, а також – надлишок азоту в ґрунті (Heluta, 1989).

Розроблення заходів, спрямованих на виявлення та вчасне знищення патогенів під час вирощування саджанців у розсаднику декоративних культур, залишається актуальним,

Мета досліджень – оцінити ефективність застосування сучасних фунгіцидів для захисту катальпи бігніонієвидної від збудника борошнистої роси під час вирощування саджанців у розсаднику декоративних культур.

Матеріали й методи. Дослідження ураження борошнистою росою культур катальпи та ефективність застосування фунгіцидів проти ураження збудником *Erysiphe catalpae* Simonian 1984 (Erysiphaceae) проведено впродовж 2023 р. на території розсадника декоративних культур Державного біотехнологічного університету та в умовах приватного розсадника (м. Харків). На першому етапі нами здійснено рекогносцирувальне обстеження саджанців катальпи з метою виявлення уражень їхнього асиміляційного апарату. Зразки з ознаками уражень збирали для визначення видів збудників хвороб. Видовий склад патогенних грибів визначали за рекомендаціями (Heluta *et al.*, 2009; Braun and Cook, 2012).

На ділянках, де було виявлено ураження молодого листя, а саме – появу поверхневого міцелію збудника борошнистої роси, проведено детальне обстеження. Загалом закладено три дослідні варіанти, на яких застосовували фунгіциди, і контрольний варіант – саджанці, вирощені без використання фунгіцидних препаратів. Кількість саджанців у кожному варіанті досліді та на контролі становила понад 100 рослин. На кожній обліковій ділянці обстежували всі рослини з метою оцінювання ступеня ураження, що в цьому випадку є тотожним категорії стану рослин. Ступінь ураження саджанців оцінювали бальною шкалою: перша категорія (1 бал) – здорові саджанці (без видимих ознак ураження); друга категорія (2 бали) – слабе ураження (уражено до 30 % поверхні листя, рослини поступаються в рості здоровим екземплярам); третя категорія (3 бали) – помірне ураження (уражено 30–50 % поверхні листя, приріст поточного року становить менше половини від приросту здорових рослин); четверта категорія (4 бали) – сильне ураження (уражено 50–70% поверхні листя, приріст поточного року відсутній); п'ята категорія (5 балів) – рослини, що всихають (дуже сильне ураження, охоплює понад 70 % поверхні листя) (Par *et al.*, 2012). Індекс стану I_c для кожного з варіантів розраховували як середнє зважене оцінок усіх рослин.

Ефективність застосування фунгіцидних препаратів оцінювали за стандартною

методикою з оцінюванням поширення хвороби – частки уражених рослин від усіх обстежених рослин, вираженої у відсотках (формула (1)):

$$S = \frac{n}{V} \times 100\%, \quad (1)$$

де S – поширення хвороби; n – кількість уражених рослин; V – загальна кількість рослин у варіанті.

Біологічну та господарську ефективність застосованих у досліді фунгіцидів визначали за формулами 2 і 3 відповідно:

$$Be = \frac{(R_k - R_d) \times 100}{R_k}, \quad (2)$$

де Be – біологічна ефективність заходу; R_k – розвиток хвороби на контролі; R_d – розвиток хвороби в досліді;

$$P = \frac{(a - b) \times 100}{a}, \quad (3)$$

де P – господарська ефективність; a – кількість здорових саджанців, що залишилися на кінець експерименту в дослідному варіанті; b – кількість здорових саджанців на кінець експерименту на контролі.

Розвиток хвороби характеризує інтенсивність ураження органів рослин. Це показник розраховують за формулою (4):

$$R = \frac{\Sigma(a \times b) \times 100}{N \times K}, \quad (4)$$

де R – розвиток хвороби, %; $\Sigma(a \times b)$ – сума добутків кількості уражених рослин a на відповідний їм бал ураження b ; N – загальна кількість уражених рослин; K – найвищий бал шкали (Kuleshov and Bilyk, 2014).

Відомо, що конідіальне спороношення збудника борошнистої роси й ураження молодого листя й пагонів тривають протягом усього вегетаційного періоду (Lavitska, 1955; Heluta, 1989). За свідченнями виробників фунгіцидів, захисна дія обраних в дослід препаратів становить від 4 до 8 тижнів. Ми проводили двократне обприскування саджанців (перше – 10 червня, друге – 20 липня 2023 р.). Препарати для обприскування саджанців *S. bigonioides* використано в нормах, рекомендованих виробником: Артис Плюс (ТМ ALFA Smart Agro) – системний фунгіцид, період захисної дії – до 30 днів, норма витрати препарату – 0,6 л·га⁻¹; Таліус (ТМ Corteva Agriscience) – системний фунгіцид, період захисної дії – до 6 тижнів, норма витрати препарату – 0,25 л·га⁻¹; Вербен (ТМ Corteva Agriscience) – системний фунгіцид, період захисної дії – до 8 тижнів, норма витрати препарату – 0,75 л·га⁻¹.

Одержані дані обробляли методами математичної статистики за допомогою пакету програм MS Excel. Достовірність різниці показників у контролі та дослідних варіантах оцінювали з використанням t_f -критерію Стьюдента на 5 % рівні значущості (Romakin, 2006).

Результати. Виявлений нами збудник борошнистої роси у період вегетації паразитував на різних надземних органах рослин. Перше обприскування проведено 10.06.2023, коли почалося ураження молодого листя (рис. 1). На час першого обприскування площа листя, вкрита поверхневим міцелієм збудника борошнистої роси, становила від 10 до 75 %.

Повторний обробіток проведено через місяць – 20.07.2023. Упродовж вегетації рослин дещо змінилася симптоматика захворювання. У результаті фітопатологічного моніторингу відзначено ураження листкових пластинок, черешків і стебел.

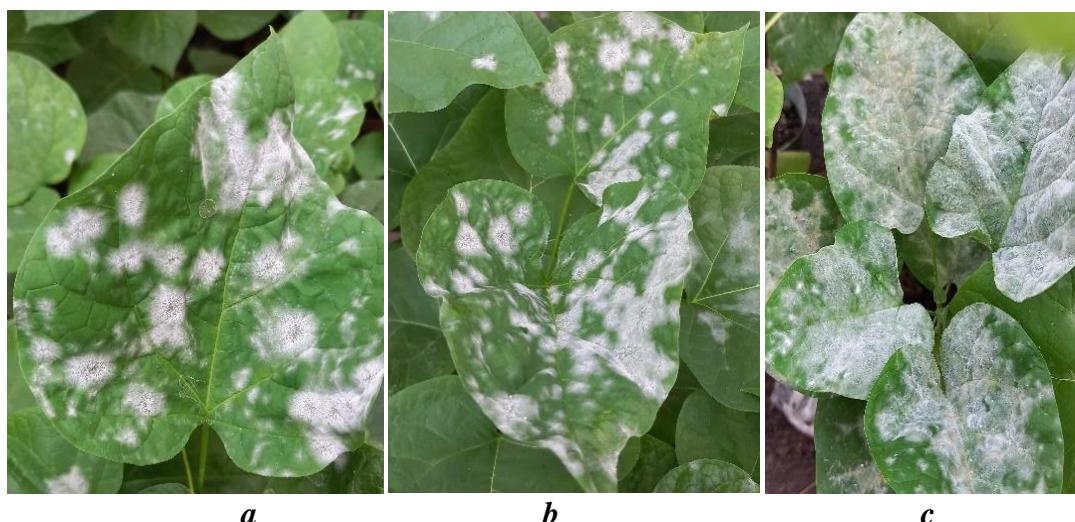


Рис. 1 – Стадії розвитку хвороби перед першим обробітком фунгіцидами:
 а – слабке ураження; б – помірне; с – сильне
Fig. 1 – Stages of disease development before the first treatment with fungicides;
 a – weak infection; b – moderate infection; c – severe infection

Розрахунки свідчать, що поширення та розвиток борошнистої роси у варіантах, оброблених фунгіцидами, значуще перевершували контроль (табл. 1).

Таблиця 1

Поширення та розвиток борошнистої роси у варіантах застосування фунгіцидів для захисту *C. bignonioides* у порівнянні з контролем

Table 1

Prevalence and severity of powdery mildew after fungicide usage for *C. bignonioides* protecting compared to control

Дослідний варіант Experimental treatment	Поширення хвороби S, %, залежно від кількості обприскувань Disease prevalence S, %, depending on the number of treatments					Розвиток хвороби R, % Disease severity R, %				
	до обробітку before treatment	1*	t_f^{***}	2**	t_f^{***}	до обробітку before treatment	1*	t_f^{***}	2**	t_f^{***}
Артис Плюс	63,2	23,9	16,44	1,7	14,11	29,9	5,3	7,96	0,3	13,85
Таліус	69,8	30,2	13,51	3,4	14,35	31,0	11,0	5,41	0,7	13,78
Вербен	71,6	39,4	11,03	5,5	13,55	33,6	12,4	5,23	1,1	13,69
Контроль	66,7	89,5	–	97,1	–	30,2	53,5	–	78,9	–

*1 – перше обприскування фунгіцидами – 10.06.2023.

1 – the first treatment with fungicides – 10.06.2023.

**2 – повторне обприскування фунгіцидами – 20.07.2023.

2 – the repeated treatment – 20.07.2023.

*** t_f – t -критерій Стюдента ($t_{0,05} = 1,984$).

t_f – t -value of Student's t -test ($t_{0,05} = 1.984$).

Господарська ефективність застосування фунгіцидів сягала від 83,3 до 97,3 % та була більшою у разі двократного обприскування рослин (табл. 2). Максимальне значення показника біологічної ефективності за однократного застосування препарату визначено у варіанті застосування фунгіциду Артис Плюс (90,0 %), дещо менші – у варіантах Таліус (79,4 %) та Вербен (76,8 %).

Таблиця 2

Ефективність заходів із захисту рослин *C. bignonioides* залежно від кратності обприскування

Table 2

Effectiveness of *C. bignonioides* plant protection depending on number of treatments

Дослідний варіант Experimental treatment	Розвиток хвороби, % Disease severity, %		Біологічна ефективність залежно від кратності обприскувань, % Biological efficiency depending on number of treatments, %		Кількість здорових рослин у досліді Number of healthy plants in the experiment		Господарська ефективність залежно від кратності обприскувань, % Economic efficiency depending on number of treatments, %	
	1*	2**	1*	2**	1*	2**	1*	2**
Артис Плюс	5,3	0,3	90,0	99,6	89	115	87,6	97,3
Таліус	11,0	0,7	79,4	99,1	81	112	86,4	97,3
Вербен	12,4	1,1	76,8	98,6	66	103	83,3	97,0
Контроль	53,5	78,9	–	–	11	3	–	–

*1 – перше обприскування фунгіцидами – 10.06.2023.

1 – the first treatment with fungicides – 10.06.2023.

**2 – повторне обприскування фунгіцидами – 20.07.2023.

2 – the repeated treatment – 20.07.2023.

Розподіл саджанців *C. bignonioides* за категоріями стану (табл. 3) свідчить про домінування рослин першої категорії в усіх дослідних варіантах. Ці саджанці не мали видимих ознак ураження листкової пластинки та поодинокі некрози на нижньому листі. Частка таких рослин становила 70–74 % від загальної кількості облікованих рослин.

Таблиця 3

Розподіл саджанців *C. bignonioides* за категоріями стану (%) та індекс стану (I_c) в досліді дворазового обприскування фунгіцидами

Table 3

Distribution of *C. bignonioides* seedlings by health categories (%) and health condition index I_c in the experiment with double treatment with fungicides

Дослідний варіант Experimental treatment	Кількість облікованих рослин у варіанті Number of plants in the treatment	Категорія стану саджанців Seedling health category					I_c
		1	2	3	4	5	
Артис Плюс	50	37	9	2	2	0	1,34
Таліус	50	35	5	5	3	2	1,54
Вербен	50	35	8	3	3	1	1,44
Контроль	50	1	0	1	13	35	3,92

Найбільше частку рослин другої категорії стану (слабке ураження) від загальної кількості рослин (16–18%) виявлено у варіантах застосування препаратів Артис Плюс та Вербен. Саджанці цієї категорії стану також не мали видимих ознак ураження, але площа некрозу становила до 30 %. Значно менше саджанців характеризувалися третьою, четвертою та п'ятою категоріями стану (від 2 до 10 %).

У контрольному варіанті максимальна кількість саджанців характеризувалися четвертою та п'ятою категоріями стану (26,0 і 70 % відповідно).

Індекс стану I_c саджанців контрольної ділянки на кінець вегетації становив 3,92 бала, (ураження листкової пластинки – 50–70 %, приріст поточного року відсутній). Індекс стану саджанців катальпи у варіантах дворазовим обробітком фунгіцидами становив на кінець вегетаційного періоду 1,34–1,54 бала.

Вимірювання біометричних показників надземної частини саджанців катальпи здійснювали на початку і в кінці вегетаційного періоду (табл. 4). Вимірювання, проведені на початку вегетації, показали відсутність значущих різниць середніх висоти й діаметра в усіх варіантах досліду та на контролі.

Таблиця 4

Середні значення біометричних показників саджанців катальпи до та після дворазового обробітку фунгіцидами

Table 4

Average biometric indicators of *C. bignonioides* seedlings before and after double fungicide treatment

Дослідний варіант Experimental treatment	Середня висота, см Average height, cm				Середній діаметр, см Average diameter, cm			
	Початок вегетації Beginning of vegetation		Кінець вегетації The end of the growing season		Початок вегетації Beginning of vegetation		Кінець вегетації The end of the growing season	
	$M \pm m$	%	$M \pm m$	%	$M \pm m$	%	$M \pm m$	%
Артис Плюс	31,7 ± 2,02	100,3	59,6 ± 4,04	175,3	0,82 ± 0,07	100	2,51 ± 0,41	165,1
Таліус	30,4 ± 1,97	96,2	55,9 ± 2,67	164,4	0,79 ± 0,05	96,3	2,39 ± 0,18	157,2
Вербен	33,3 ± 3,08	105,4	57,9 ± 2,95	170,3	0,81 ± 0,08	98,7	2,50 ± 0,48	164,5
Контроль	31,6 ± 1,92	100,0	34,0 ± 1,59	100,0	0,82 ± 0,05	100,0	1,52 ± 0,12	100,0

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та % до контролю.

Note. $M \pm m$ is the mean value of the indicator and % to control.

Результати, отримані під час повторних замірів наприкінці вегетаційного періоду засвідчили, що в усіх варіантах застосування фунгіцидів відбувався інтенсивний ріст надземної частини рослин. Найбільше середнє значення висоти саджанців катальпи виявлено у варіанті застосування препарату Артис Плюс – 59,6 см (175,3 % до контролю), а найменше – у варіанті застосування препарату Таліус – 55,9 см (164,4 % до контролю). Найбільше середнє значення діаметра кореневої шийки сіянців сосни також відзначено у варіанті Артис Плюс – 2,51 см (165,1 % до контролю), а найменше – у варіанті Таліус – 2,39 см (157,2 % до контролю).

Обговорення. Необхідною умовою як первинного, так і вторинного зараження рослин борошнистою россою є висока вологість повітря та слабке провітрювання сіянців або саджанців унаслідок загушеності посадок (Braun and Cook, 2012). За нашими спостереженнями, від травня до середини червня епіфітний міцелій гриба на листі *C. bignonioides* розвивався дуже повільно. На кінець першої та початок другої декади червня вологість повітря підвищилася у зв'язку з рясними літніми дощами, що сприяло появі та розвитку міцелію *Erysiphe catalpae* Simonian на сіянцях і саджанцях. Також швидкому розповсюдженню хвороби в цей період сприяють поливи (Heluta et al., 2016).

Літературні джерела свідчать (Naidenko and Vlasenko, 2018), що в минулому сторіччі для захисту культур від борошнистої роси використовували переважно лісокультурні й лісогосподарські заходи, спрямовані на погіршення умов для проникнення й розвитку збудника хвороби та підвищення стійкості молодих рослин до ураження.

На сучасному рівні вирощування садивного матеріалу всіх видів деревної рослинності потрібні ефективніші технологічні рішення для захисту від шкідливих організмів. Ключовим елементом у системі захисту культур катальпи від збудника, що викликає борошнисту росу, є обприскування культур препаратами фунгіцидної дії в період максимального фітопатологічного напруження. Наразі це – найбільш економічно обґрунтований та ефективний метод захисту.

Використання фунгіцидів у розсадниках пов'язане з декількома нагальними труднощами. По-перше, постійне використання одних і тих же фунгіцидів сприяє формуванню резистентності збудника. Через це перелік фунгіцидів, які використовують на підприємстві,

необхідно періодично оновлювати, щоб унеможливити формування резистентності збудника хвороб до препаратів. По-друге, оскільки у декоративних розсадниках вирощують велику кількість видів рослин, *Erysiphe* може уражувати їх у різний час. Винищувальна стратегія, яка є основою обґрунтування засобів як оперативного, так і тривалого контролю поширення й розвитку хвороби, характеризується коротким терміном дії, що є основною причиною швидкого відновлення популяції патогена (Rosenfeld, 2015). Зважаючи на це, для більш ретельного захисту рослин потрібно підбирати препарати з найбільш пролонгованою дією.

Нашими дослідженнями виявлено, що *Erysiphe catalpae* після первинного ураження рослин поширюється дуже швидко: від перших ознак ураження (слабке інфікування) до моменту, коли міцелій гриба охоплює понад 75 % поверхні листової пластинки (тяжке інфікування) минає 5–7 днів. Симптоми захворювання фіксували тільки на поверхні листа рослини-живителя.

Як видно з отриманих результатів, хвороба в усіх варіантах досліджу мала значний прояв. Показник поширеності хвороби до застосування фунгіцидів залежно від варіантів досліджу перевищував 60 % від загальної кількості облікованих саджанців, а розвиток хвороби становив 29,9–33,6 %. Це свідчить про значні недоліки у веденні господарства, насамперед, про загущеність культур катальпи. Також значний прояв захворювання свідчить про вельми низьку стійкість рослин катальпи в молодому віці до збудника борошнистої роси, що зазначено в літературі (Heluta *et al.*, 2009). Таким чином, для попередження значного розвитку хвороби необхідно проводити профілактичні заходи захисту рослин.

У результаті проведених нами досліджень усі випробувані фунгіцидні препарати виявили високу ефективність проти збудника борошнистої роси. Про це свідчать показники поширення та розвитку хвороби. Найбільшим захисним ефектом за одноразового обприскування вирізнявся препарат Артис Плюс. Показники поширення хвороби після обробки цим препаратом зменшилися більш ніж удвічі, а показники розвитку хвороби – в 5,6 разу. Деяко меншу ефективність визначено в досліді із застосуванням препарату Таліус: поширення хвороби знизилася удвічі, а розвиток хвороби – утричі.

Незважаючи на суттєве зниження поширення та розвитку борошнистої роси катальпи у варіантах застосування фунгіцидів, виникає необхідність повторного застосування цих препаратів, оскільки після одноразового обробітку інфекційний фон у культурах залишається доволі високим.

Облік результатів досліджу, проведений нами через два тижні після повторного обприскування рослин фунгіцидними препаратами, виявив значно кращу захищеність рослин і практично повну відсутність збудника борошнистої роси в усіх варіантах досліджу.

Показник поширення хвороби в усіх дослідних варіантах знизився від 5,5 до 1,7 %. Значно змінився показник розвитку хвороби – від 30–33 % на початку досліджу до 0,3–1,1 % після повторного обприскування фунгіцидами.

Застосування навіть таких сучасних препаратів, які використані в досліді, не забезпечує 100 % захисту рослин від борошнистої роси. Візуальний огляд дослідних рослин свідчить про наявність залишків міцелію збудника *Erysiphe catalpae* на окремих саджанцях. Водночас за зовнішнім виглядом міцелій, що залишився після дворазового обприскування фунгіцидами, навряд чи зможе сформувати плодові тіла (клейстотеції), тобто до стадії, в якій гриб зимує. Таким чином, результати проведених досліджень свідчать про доцільність застосування дворазового обприскування рослин катальпи розчинами фунгіцидів, оскільки це суттєво гальмує подальший розвиток хвороби.

Основними показниками успішності застосування хімічних заходів захисту рослин є їхня біологічна та господарська ефективність. За результатами аналізу цих показників (див. табл. 2) можемо відзначити, що всі випробувані фунгіцидні препарати виявили високу ефективність проти збудника борошнистої роси. Проведені дослідження свідчать про нівелювання різниці в показниках біологічної ефективності застосованих в досліді препаратів.

Для інтродукованих рослин, які надалі будуть використані в міському озелененні, велике значення, крім стійкості до антропогенних факторів, має показник, який характеризує стійкість до хвороб та здатність до відновлення після пошкоджень.

Патологічний процес, зумовлений збудником *Erysiphe*, викликає порушення багатьох фізіологічних процесів у рослині, зупинку ростових процесів внаслідок зниження активності фотосинтезу, відмирання частини асиміляційного апарату. Після закінчення вегетаційного періоду в кожному із дослідних варіантів і на контролі нами проведено обміри основних таксаційних показників (висоти й діаметра) та визначено категорії стану рослин (табл. 3).

У результаті досліджень виявлено відмінності в розвитку надземної частини рослин у контролі та у варіантах застосування фунгіцидів, зокрема збільшилася кількість листків на новоутворених пагонах у порівнянні з контролем. Також під впливом дворазового внесення фунгіцидів наприкінці вегетаційного періоду зменшилася кількість рослин із некротичними ураженнями листової поверхні. Таким чином, виходячи з даних інвентаризації посадок, можна стверджувати про доцільність застосування фунгіцидів, обраних у досліді, для захисту саджанців катальпи від борошнисторосяних грибів.

Разом із захисною дією обраних в досліді фунгіцидів постає питання впливу препаратів на біометричні показники саджанців катальпи, що піддаються обробці. Морфометричний метод є найдоступнішим для оцінювання такого впливу. На нашу думку, виявлені зміни біометричних показників саджанців катальпи бігніонієвидної дають змогу оцінити спроможність виду відновити стан після ураження борошнистою росю та реакцію рослин на застосування хімічних препаратів.

Висновки. На підставі отриманих результатів доведено можливість захисту саджанців катальпи бігніонієвидної від борошнистої роси шляхом використання фунгіцидів. Усі фунгіцидні препарати, що випробовували, виявили високу ефективність проти збудника борошнистої роси. Найвищу ефективність у захисті рослин катальпи виявив фунгіцид Артис Плюс. Двократний обробіток саджанців катальпи препаратом Артис Плюс суттєво загальмував поширеність і розвиток хвороби, що, зі свого боку, позначилося на біометричних показниках рослин. Застосовані в досліді препарати не тільки не мали негативного впливу на приріст саджанців катальпи, але й сприяли його зростанню у зв'язку зі зниженням ураженості борошнистою росю. Не виявлено також негативного впливу застосування фунгіцидів на значення діаметра рослин. Результати досліджень свідчать про доцільність застосування обраних фунгіцидів для захисту від збудника хвороби *Erysiphe catalpae* під час вирощування саджанців катальпи бігніонієвидної в декоративних розсадниках, в умовах відкритого ґрунту та подальшого використання вирощених саджанців для потреб озеленення в регіоні досліджень.

Подяки. Автор висловлює подяку анонімним рецензентам за цінні поради, корисні та конструктивні рекомендації та покращення тексту.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено автором у межах виконання теми досліджень кафедри лісових культур, меліорацій та садово-паркового господарства (тема – «Моніторинг садово-паркових екосистем в умовах урбосередовища», №^одержреєстрації 0117U002517), замовником якої є Державний біотехнологічний університет.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Boltenkov, Ju.O. and Stovbunenko, D.V. (2008) 'Fungicides testing for young oak plantations protection from powdery mildew', *Forestry and Forest Melioration*, 112, pp. 238–240 (in Ukrainian).
- Boyko, A.A. and Puzrina, N.V. (2014) 'Species Composition of pathogenic planting material of forest nurseries', *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(10), pp. 34–40 (in Ukrainian).
- Braun, U. and Cook, R.T.A. (2012) *Taxonomic manual of the Erysiphales (powdery mildews)*. Utrecht: CBS-KNAW Fungal Biodiversity Centre. ISBN 9789070351892.
- Dudin, R.B. (2005) 'Introduction species in the old parks of Lviv', *Scientific Bulletin of UNFU*, 15(1), pp. 34–37 (in Ukrainian).

- Golub, S.M. and Golub, V.O. (2021) 'Features of protection of English oak against *Microsphaera alphitoides* Gr. et Maubl. in forest plantations', in *Current challenges and current problems of forestry education, science and production. Proceedings of the 1st International Scientific and Practical Internet Conference*. Bila Tserkva: BNAU. pp. 58–61 (in Ukrainian).
- Heluta, V.P. (1989) *Fungal flora of Ukraine. Powdery mildew fungus*. Kyiv: Naukova Dumka (in Ukrainian).
- Heluta, V.P., Dzhagan, V.V. and Senchylo, O.O. (2016) 'First records of a powdery mildew fungus *Sawadaea bicornis* (Wallr.) Homma on *Acer velutinum* Boiss. in Ukraine', *Plant introduction*, 1(69), pp. 64–69 (in Ukrainian).
- Heluta, V.P., Dzyunenko, O.O., Cook, R.T.A. and Isikov, V.P. (2009) 'New records of *Erysiphe* species on *Catalpa bignonioides* in Ukraine', *Ukrainian Botanical Journal*, 66(3), pp. 346–353 (in Ukrainian).
- Kuharska, M.O. (2011) *Biological and ecological features of species of the genus Catalpa Scop. and their prospective use in the landscaping of Kyiv*. Extended abstract of PhD thesis. Kyiv: National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (in Ukrainian).
- Kulbickij, V.I. (2006) 'The evaluation of the introduction success of *Catalpa* in the conditions of culture of right-bank forest-steppe of Ukraine', *Scientific Bulletin of UNFU*, 16(3), pp. 21–25 (in Ukrainian).
- Kuleshov, A.V. and Bilyk, M.O. (2014) *Practice on forecasting the development of diseases of agricultural crops*. Kharkiv: V.V. Dokuchaiev Kharkiv National Agrarian University (in Ukrainian).
- Lavitska, Z.G. (1955) 'New finds of powdery mildew fungi (*Erysiphaceae*) for the Right Bank Forest Steppe', *Scientific notes of Kyiv University*, 13(16), pp. 67–77 (in Ukrainian).
- Naidenko, M.M. and Vlasenko, V.A. (2018) 'Monitoring of powdery mildew on young oak cultures and the effectiveness of fungicide application from agent affect under the conditions of Forest Steppe of Ukraine', *Bulletin of Sumy National Agrarian University. Series: Agronomy and Biology*, 35(3), pp. 3–7 (in Ukrainian).
- Pap, P., Rankovich, B. and Masirevich, S. (2012) 'Significance and need of powdery mildew control (*Microsphaera alphitoides* Griff. et Maubl.) in the process of regeneration of the pedunculate oak (*Quercus robur* L.) stands in the Ravni Srem area', *Periodicum Biologorum*, 114(1), pp. 91–102.
- Rosenfeld V.V. (2015) 'Technological means of control of powdery mildew of oak (*Microsphaera alphitoides* Qriff et Maubl.) and algorithm of their implementation', *Forestry and Landscape Gardening*, 6, pp. 77–82 (in Ukrainian).
- Romakin, V.V. (2006) *Computer data analysis: Tutorial*. Mykolaiv: Petro Mohyla Mykolaiv State Humanitarian University (in Ukrainian).

EFFECTIVENESS OF FUNGICIDES FOR PROTECTION OF *CATALPA BIGNONIOIDES* AGAINST POWDERY MILDEW

Bulat A.G.¹

The article provides information on the damage of *Catalpa bignonioides* Walter seedlings by the powdery mildew caused by *Erysiphe catalpae* Simonyan 1984. Fungus can develop on trees of different ages, but the greatest physiological damage is caused to young plants. The results of a field experiment to test the effectiveness of fungicides Artis Plus, Talius and Verben to protect seedlings from the pathogen have been analysed. All tested fungicides proved to be highly effective against the causative agent of catalpa powdery mildew, they significantly reduced the prevalence and severity of the disease and had no negative effect on the growth of catalpa seedlings. Even with a single treatment, the greatest protective effect has been found for Artis Plus. The prevalence of the disease fell more than twice after treatment with this fungicide, while disease severity decreased by 5.6 times. In the case of repeated plant treatment with this fungicide, we observed an almost complete absence of the powdery mildew pathogen on catalpa seedlings.

К е у в о р д с : phytopathogen, plant protection, health condition index, biometric indicators.

Одержано редколегією 14.09.2024

¹ Bulat Andriy, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, State Biotechnological University, Alchevskyh Street 44, Kharkiv, 61002, Ukraine. E-mail: bulatandrey1977@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-9682-4220>

* Correspondence: bulatandrey1977@gmail.com



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.112>

МІКОРИЗНІ АСОЦІАЦІЇ СОСНИ: ВИДИ, ЇХНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ТА РОЛЬ У ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМАХ

В. Дишко^{1*}, П. Боровик², Т. Ошако³, К. Давиденко⁴

Зміна клімату, що триває, може призвести до погіршення умов росту багатьох деревних порід, зокрема сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.), однієї з найважливіших лісоутворювальних порід у лісах України. У цьому огляді наведено аналіз результатів вітчизняних та зарубіжних досліджень щодо властивостей мікоризи та її значення для лісових екосистем, проаналізовано особливості симбіозу між сосною та її мікоризними супутниками, досліджено їхню роль у стійкості дерев до стресових чинників, зокрема до збудників хвороб. Акцентовано увагу на особливостях будови мікоризи та її впливі на ріст і розвиток видів сосни. Підкреслено антагоністичну роль мікоризи стосовно патогенів і важливу роль мікоризних грибів у підтриманні життєздатності й росту дерев, особливо в контексті відновлення екосистем.

Ключові слова: мікоризний симбіоз, антагоністи, стійкість дерев, мікоризація.

Вступ. Дослідження впливу зміни клімату на ріст і розвиток деревних видів у лісах Європи свідчать, що в найближчому майбутньому площі, придатні для їхнього існування, можуть значно зменшитися. Прогнозоване зменшення ареалу цих видів матиме екологічні наслідки, що вплине на ведення лісового господарства та охорону природи. За трьома сценаріями зміни клімату – оптимістичним, помірним і песимістичним – деревні види реагуватимуть по-різному на ці зміни (Read and Prez-Moreno, 2003). Згідно із цими прогнозами лісові деревні види умовно поділяють на три групи: перша – види порівняно стійкі (наприклад, *Abies alba*, *Fagus sylvatica*, *Fraxinus excelsior*, *Quercus robur* і *Quercus petraea*); друга – види, що найбільше постраждають від зміни клімату (*Betula pendula*, *Larix decidua*, *Picea abies*, *Pinus sylvestris*), а третя – інтродуценти, спроможні адаптуватися до нових умов (*Pseudotsuga menziesii*, *Quercus rubra*, *Robinia pseudoacacia*) (Read and Prez-Moreno, 2003; Pecl *et al.*, 2017; Veresoglou *et al.*, 2017). Якщо ці прогнози справдяться, постраждають більшість деревних видів, зокрема *Pinus sylvestris*, одна з головних лісоутворювальних порід як в Україні, так і в Європі. Найбільшим рівень загрози буде для видів, які наразі мають найпівнічніші центри поширення (Dyderski *et al.*, 2018).

Актуальним завданням сьогодення є розроблення методів збереження важливих деревних видів та їхньої адаптації до кліматичних змін. Здатність дерев успішно рости й розвиватися в екстремальних умовах кліматичних змін залежить від їхніх адаптивних можливостей, зокрема від особливостей формування кореневої системи. Важливу роль у цьому процесі відіграє симбіоз із мікоризою (Peay *et al.*, 2016; Dobo *et al.*, 2018), який підвищує життєздатність і позитивно впливає на ріст рослин, а також забезпечує захист від токсичних сполук і патогенів. Мікоризні гриби, утворюючи симбіоз із кореневою системою дерев, сприяють поглинанню води та поживних речовин, таких як фосфор, азот і цинк (Dahlberg,

¹ Дишко Валентина, кандидат сільськогосподарських наук, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: valya_dishko@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-109X>

² Боровик Петр, доктор філософії, Лісовий науково-дослідний інститут, вул. Братів Лісових, 3, Сенкочин Старий, 05-090 Рашин, Польща. E-mail: pborow@poczta.onet.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2906-246X>

³ Ошако Томаш, доктор філософії, професор, Лісовий науково-дослідний інститут, вул. Братів Лісових, 3, Сенкочин Старий, 05-090 Рашин, Польща; E-mail: t.oszako@pb.edu.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4688-2582>

⁴ Давиденко Катерина, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г.М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна; Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Uppsala BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7026, 75007 Uppsala, Sweden. E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

* Адреси для кореспонденції: valya_dishko@ukr.net; kateryna.davydenko74@gmail.com

2001). Понад 90 % судинних рослин у природних екосистемах утворюють асоціації з мікоризними грибами (Dahlberg, 2001), що значно підвищує їхню життєздатність, особливо в умовах зміни клімату.

Мікориза виконує ключову роль у забезпеченні стійкості лісових екосистем. У результаті кліматичних змін відбувається деградація біоти, що знижує життєздатність і різноманіття деревних насаджень (Helgason *et al.*, 2002). Мікоризний симбіоз є важливим для підтримання кореневої системи дерев у стресових умовах, він сприяє транспорту метаболітів та захисту від негативних чинників (Smith and Read, 2010; van Der Heijden *et al.*, 2015; Tedersoo *et al.*, 2020).

Види сосни, що є облигатними мікотрофами, формують основу лісових екосистем помірного клімату. Завдяки поширенню мікоризи утворюються зв'язки між деревами одного чи різних видів, що полегшує обмін поживними речовинами та підвищує стійкість насаджень до змін довкілля (Dahlberg and Stenström, 1991).

Мікоризні гриби відіграють важливу роль у підтримці росту та збереженні дерев, особливо в контексті відновлення екосистем. Негативний досвід лісовідновлення на ґрунтах, що позбавлені лісової мікрофлори, свідчить про позитивний вплив штучної інокуляції дерев мікоризою. Загально визнаним фактом, підтвердженим численними дослідженнями, є вплив мікоризи на ріст і збереженість рослин в умовах стресу. Водночас механізми взаємодії рослин і мікоризи залишаються недостатньо вивченими, як і фізіологія мікоризних грибів. Мікоризні гриби відіграють важливу роль також у кругообігу поживних речовин і депонуванні вуглецю в ґрунті, утримуючи від 50 до 70 % вуглецю, що накопичується в лісовій підстилці та ґрунті (Sterkenburg *et al.*, 2015; Kyaschenko *et al.*, 2017). Вони також сприяють підтриманню продуктивності дерев, особливо в умовах бідних на поживні речовини ґрунтів.

Таким чином, мікоризні асоціації є ключовим компонентом лісових екосистем, що сприяє стійкості й продуктивності деревних видів, особливо в умовах зміни клімату. Використання мікоризних грибів у лісовому господарстві може відіграти важливу роль у реабілітації деградованих ґрунтів і підвищенні їхньої родючості (Banerjee *et al.*, 2018).

Мета роботи – проаналізувати публікації щодо ролі мікоризних грибів у стійкості лісових дерев, зокрема сосни, до стресових умов.

Матеріали й методи. Дослідження проведено на основі аналізу 77 публікацій вітчизняних і закордонних дослідників щодо впливу зміни клімату на мікоризні гриби, властивості мікоризи та її значення для лісових екосистем, а також ролі мікоризи в підвищенні стійкості сосни до збудників хвороб.

Результати. Вплив зміни клімату на мікоризні гриби. Зміна клімату суттєво впливає на мікоризні асоціації, які відіграють ключову роль у підтримці функціонування екосистем і здоров'я рослин. Підвищення температури, зміни в режимі опадів і збільшення вмісту CO₂ в атмосфері створюють нові умови існування для мікоризних грибів, що, зі свого боку, впливає на їхні симбіотичні відносини з рослинами (Kottke and Oberwinkler, 1986). Оскільки мікориза є критичним компонентом підземних екосистем, ці зміни можуть мати важливі наслідки для біорізноманіття, росту рослин і їхньої здатності адаптуватися до нових кліматичних умов (Agarwal and Sah, 2009).

Одним із ключових аспектів впливу кліматичних змін на мікоризу є зміна температурних режимів. Підвищення температури може прискорювати метаболічні процеси в мікоризних грибах, а також впливати на їхнє поширення та симбіотичну активність. У теплішому кліматі деякі види грибів можуть бути замінені іншими, менш ефективними симбіонтами, що знижує продуктивність мікоризних асоціацій. Зміни вологості ґрунту, спричинені частішими посухами або надмірними опадами, також можуть впливати на розвиток мікоризних гіф, зменшуючи їхню спроможність транспортувати поживні речовини й воду (Milović *et al.*, 2021). Підвищення температури й зміни вологості ґрунту можуть сприяти поширенню патогенних грибів, які конкурують із мікоризними грибами за ресурси. Це може знизити ефективність захисної функції мікоризи, яка зазвичай допомагає рослинам протистояти патогенам (Claridge *et al.*, 2009).

Збільшення вмісту CO₂ в атмосфері стимулює фотосинтез рослин, що, на перший погляд, може збільшити масу асимілятів, які передаються мікоризним грибам. Дослідження свідчать, що підвищений рівень CO₂ сприяє росту мікоризних грибів, але не завжди призводить до покращення стану рослин (Agarwal and Sah, 2009). Це може означати, що рослини інвестують більше ресурсів у підтримку своїх грибних партнерів, отримуючи менше користі в умовах зміни клімату.

Мікоризні гриби утворюють різноманітні симбіотрофні зв'язки з різними функціями – від деструкції й вивільнення органічно зв'язаних поживних речовин (сапротрофи й мікоризні види) до зменшення впливу стресу (клімат, патогени, шкідники та лісогосподарські заходи) та акумуляції вуглецю (Tedersoo *et al.*, 2014). Hawkins *et al.* (2023) досліджували механізми, через які мікоризні гриби впливають на запаси вуглецю в ґрунті та шляхи його транспортування. У зв'язку з важливістю накопичення вуглецю в міцелії мікоризних грибів і його транспортування в ризосферу залучення мікоризних грибів є необхідним для підтримки росту та виживання дерев, зокрема для відновлення екосистем.

Дослідження властивостей мікоризи та її значення для лісових екосистем. Симбіоз мікоризних грибів і дерев давно є об'єктом інтенсивних досліджень науковців. Мікоризні мережі грибів у ґрунті, які з'єднують кореневі системи рослин, мають різні типи та специфічність, впливаючи на перерозподіл вуглецю, поживних речовин, підземну сигналізацію та регулювання конкуренції між рослинами. Лісові екосистеми значною мірою залежать від функціонування мікоризних асоціацій, які відіграють ключову роль у рості, стійкості та життєздатності видів дерев. Вплив мікоризи на лісові екосистеми є багатограним, залежить від типу мікоризи та видів дерев, із якими вона взаємодіє (Smith and Smith, 1997a; 1997b; Smith, 1980; Agarwal and Sah, 2009; Hagenbo *et al.*, 2019; Malewski *et al.*, 2023).

Одним із найважливіших типів мікоризи у лісових екосистемах є ектомікориза, яка формується на коренні багатьох деревних порід, таких як сосна (*Pinus* spp.), ялина (*Picea* spp.), береза (*Betula* spp.), бук (*Fagus* spp.) і дуб (*Quercus* spp.).

Ектомікоризні гриби (ЕМ) є особливо важливими для дерев у лісових екосистемах із бідними на поживні речовини ґрунтами. Цей тип мікоризи формується грибами відділів *Ascomycota* та *Basidiomycota* і забезпечує обмін поживними речовинами між грибом і рослиною (Mao *et al.*, 2019). Такі гриби підвищують ефективність поглинання азоту, фосфору та інших необхідних мікроелементів, що сприяє росту дерев і підвищенню їхньої стійкості до стресових чинників, таких як посуха чи екстремальні температури. Мікоризні гриби також виконують захисну функцію, допомагаючи деревам протистояти патогенам і токсичним речовинам у ґрунті (Colpaert *et al.*, 1996; Mohan *et al.*, 2015).

Арбускулярна мікориза (АМ), хоча й є менш поширеною серед деревних видів, порівнюючи з ектомікоризою, також відіграє важливу роль у деяких лісових екосистемах, особливо в молодих та відновлюваних лісах. Цей тип мікоризи бере участь у колонізації наземних рослин вже сотні мільйонів років і є найдавнішим серед інших типів мікоризи. Гриби арбускулярної мікоризи належать переважно до класу гломероміцети (*Glomeromycetes*) у складі відділу *Glomeromycota* та утворюють симбіоз із близько 80 % наземних рослин, зокрема чагарників і деяких видів дерев, підвищуючи їхню стійкість до несприятливих умов. На відміну від АМ спори ЕМ грибів розповсюджуються через плодові тіла, що дає змогу їм швидко поширюватися (Dobo *et al.*, 2018; Helgason *et al.*, 2002).

Загалом мікориза є фундаментальним компонентом лісових екосистем, що визначає стійкість і продуктивність дерев. Наразі важливо зрозуміти, як мікоризні асоціації реагують на нові умови та як це можна використати для підтримання та відновлення лісів (Kostikov *et al.*, 2004; Pereima and Ivanova, 2017; Milović *et al.*, 2021).

Дослідження мікобіому в лісових екосистемах в Україні представлені лише таксономічними описами окремих груп грибів під час ботанічних і екологічних досліджень (Kostikov *et al.*, 2004; Kuznetsova, 2011; Kopyy *et al.*, 2015; Davydenko *et al.*, 2020; Kuznetsova and Vlasenko, 2020). Водночас залишається актуальним визначення складу та функціональних

особливостей лісового мікобіому та його впливу на кругообіг поживних речовин, стійкість і продуктивність деревостанів.

Sirenko *et al.* (2011) припускали існування певних видів мікоризи, які можуть слугувати індикаторами родючості ґрунту та його придатності для вирощування певного деревного виду. Коріу *et al.* (2015) проаналізували вплив складу деревостанів на формування структури мікроорганізмів у верхньому шарі ґрунту, визначили екологічну роль деяких деревних видів у формуванні мікологічних ценозів та дослідили мікологічну структуру ґрунтів у деревостанах. Описано таксони базидіальних грибів, які спроможні синтезувати фітогормони всіх відомих типів (Kuznetsova and Vlasenko, 2020). Серед найпоширеніших – *Aphyllophorales*, *Boletales*, *Agaricales*, *Uredinales*, *Ustilaginales*. У цьому дослідженні було узагальнено та порівняно дані з різних джерел про вплив природних і синтетичних стимуляторів росту на розвиток базидіоміцетів.

R. Pachlewski та J. Pachlewska (1974) у Польщі спробували ідентифікувати мікоризу сосни та здійснили штучну мікоризацію сіянців лісових дерев у лабораторних умовах. Було визначено типи мікоризи, характерні для сосни, та особливості їхнього впливу на життєдіяльність дерев. О.В. Rybak і V.O. Rybak (2015) виявили, що для сосни характерною є чітка диференціація кінцевих частин коренів на ростові та смоктальні.

Досліджено негативні наслідки короточасного впливу лісової пожежі на грибні угруповання в ґрунті на території Лівобережної України та зафіксовано зменшення загального різноманіття грибів на випалених ділянках, зокрема мікоризних грибів, які не можуть конкурувати з піонерними видами, характерними для згарищ (Davydenko *et al.*, 2020). Одержані дані свідчать про необхідність збагачення мікобіому пошкоджених лісовими пожежами, деградованих промисловими викидами або виснажених сільськогосподарським користуванням ґрунтів для сприяння успішному розвитку на них лісових насаджень.

M. Canright та T. D. Bruns (2006) дослідили відновлення мікрофлори в ґрунті після пожежі й дійшли висновку, що колонізація коренів грибами після пожежі залежить від температури. ЕМ. Kutorga *et al.* (2012) оцінили вплив лісової пожежі на різноманітність і функціональну структуру грибних асоціацій на ранній стадії сукцесії в прибережних піщаних дюнах Куршської коси в Литві та дійшли висновку, що лісова пожежа негативно вплинула на мікоризні види грибів, їхня поширеність зменшилася на різних ділянках на 3–12 %.

Oszako *et al.* (2023) дослідили склад мікобіоти ґрунту у 20-річному сосновому насадженні, створеному на землях, що були виведені з-під сільськогосподарського користування, і дійшли висновку, що відновленню симбіотичних мікоризних зв'язків на деградованих та виснажених ґрунтах сприяло попереднє внесення органічної речовини у вигляді порубкових решток.

S. D. Veresoglou *et al.* (2017) підкреслили визначну роль мікоризи як механізму співіснування рослинних угруповань у лісових насадженнях та її сприяння функціональному різноманіттю в лісовій підстилці, особливо у разі введення в насадження дерев з арбускулярним типом мікоризи. Збагачення ґрунтів мікоризоутворювальними грибами на територіях, де раніше не росли деревні види, позитивно вплинуло на приживлюваність та адаптивність рослин.

Z.G. Cardon і J.L. Whitbeck (2007) зазначили, що витрати вуглецю на формування мікоризи важко оцінити точно, але польові та лабораторні дослідження свідчать, що 10–20 % вуглецю в асоціацію своїх мікоризних грибів виділяють рослини. Порівняння інокульованих мікоризною суспензією трирічних сіянців *P. sylvestris* із контрольними інтактними рослинами свідчить, що на коренях перших мікоризні асоціації більш поширені, але мають меншу інтенсивність росту.

Machón *et al.* (2009) досліджували вплив ектомікоризного гриба *Laccaria ohiensis* (лаковиця рожева) на насіння *Pinus pinea*, заражене грибами *Fusarium fujikuroi* і *F. oxysporum*. Істотного впливу лаковиці на схожість насіння виявлено не було, однак через 18 тижнів після посіву автори зафіксували зменшення відпаду сходів. Значущі відмінності від контролю було підтверджено під час інокуляції сіянців, уражених *F. oxysporum*.

Дослідження, проведені в Україні (Ugarov *et al.*, 2013), продемонстрували позитивний вплив мікоризних грибів, таких як маслюк звичайний (*Suillus luteus*) та мухомор червоний (*Amanita muscaria*), на приживлюваність сіянців сосни у 40-річному сосновому насадженні після лісової пожежі. Спроби вирощування сосни корейської (*Pinus koraiensis*) у Латвії були безуспішними, доки в розсадник не завезли напіврозкладену лісову підстилку з місцевиростань цього виду. Додавання такого субстрату сприяло мікоризації ґрунту та розвитку відповідної мікобіоти, що позитивно вплинуло на життєздатність рослин (Bazilevskaya and Maurin, 1984).

Мікоризні супутники сосни та їхні властивості. Серед найпоширеніших видів, які утворюють симбіоз із сосною, є гриби з родів мухомор (*Amanita*), рядівка (*Tricholoma*), маслюк (*Suillus*), ризопогон (*Rhizopogon*), гебелома (*Hebeloma*), павутинник (*Cortinarius*) і сиройжка (*Russula*). Симбіотичні зв'язки з різними видами роду *Pinus* утворюють види роду склеродерма (*Scleroderma*) (Richter and Bruhn, 1990; Parladé *et al.*, 1996; Mohan *et al.*, 2015). Підтверджено симбіоз цього виду грибів із модриною європейською (*Larix decidua*) (Richter and Bruhn, 1990), березою повислою (*Betula pendula*), дубом скельним (*Quercus petraea*) і звичайним (*Quercus robur*) (Waller *et al.*, 1993; Raidl, 1997; Voiry 1981), вільхою (*Alnus* spp.) (Godbout and Fortin, 1983), ялиною європейською (*Picea abies*) (Brunner *et al.*, 1992) та евкаліптом (*Eucalyptus* spp.) (Kumar *et al.*, 1999). Нині рід *Scleroderma* містить близько 60 видів, і більшість з них здатні утворювати мікоризу, хоча можуть існувати як сапротрофи (Alexopoulos *et al.*, 1996; Mrak *et al.*, 2017). Однією з переваг симбіотичних зв'язків зі *Scleroderma* spp. є позитивний вплив на ріст і стресостійкість молодих рослин.

Серед описаних видів, що утворюють мікоризу із сосною звичайною, більшість мають просту і дихотомічну форму, але трапляються коралоподібні і бульбоподібні форми мікоризи. Мікоризні утворення простої форми розвиваються у родів *Amanita*, *Cortinarius*, *Coltricia*, *Hebeloma*, *Hygrophorus*, *Russula*, *Rhizopogon*, *Tricholoma*. Дихотомічно роздвоєні форми мікоризи, які часто перетворюються на коралоподібні утворення, зафіксовано в усіх видів із роду маслюк (*Suillus*), ризопогона жовтуватого (*Rhizopogon ochraceorubens*) і рядівки коричневої (*Tricholoma imbricatum*). Бульбоподібні форми можуть мати пурпурний молочний гриб (*Lactarius uvidus*) і мухомор червоний (*Amanita muscaria*). Забарвлення мікоризи видів, які є супутниками сосни, варіює від темного до світлого відтінків (Pachlewski and Pachlewska, 1974). ЕМ із роду мухомор (*Amanita*) має переважно світлі відтінки від білого до кремового, іноді коричневого (Pachlewski and Pachlewska, 1974). Ценококум гранеформе (*Cenococcium graniforme*) і міцелій кореневий (*Mycelium radice-atrovirens*) утворюють чорний міцелій (Agerer, 1996), свинуха тонка (*Paxillus involutus*) – білий, бежевий, червоний і коричневий, види з роду рядівка (*Tricholoma*) – білий, кремовий, коричневий, червоний, оливковий (Pachlewski and Pachlewska, 1974). Гладка або дещо опушена ектомікориза характерна для грибів роду хрящ-молочник (*Lactarius*), у видів лаковиця рожева (*Lacoaria ohiensis*), мухомор червоний (*Amanita muscaria*), підгруздок чорний (*Russula adusta*) та трюфель білий (*Tuber albidum*). Вплив умов навколишнього середовища не позначається на зовнішньому вигляді мікоризи.

Дослідження (Pachlewski and Pachlewska, 1974) показали, що перебіг процесів мікоризації є характерним для певних родів. Наприклад, усі види роду маслюк (*Suillus*) швидко утворюють перші ектомікоризи, кількість яких помітно збільшується уже через 1,5 місяця після інокуляції. Подібні властивості мають види роду *Rhizopogon*. Для родів *Lactarius* і *Russula* утворення перших ектомікориз зафіксовано лише через чотири місяці після інокуляції. У видів роду *Amanita* перші ектомікоризи з'являються через 1–2 місяці, проте їхня кількість і розподіл у кореневій системі є подібними до таких у родів *Lactarius* і *Russula*.

Серед ЕМ Найбільш поширені представники родів *Cortinarius*, *Hebeloma*, *Tricholoma*, для яких є характерним досить тривалий час між інокуляцією та формуванням перших мікориз. У роботах (Hilszczanska *et al.*, 1999; Hilszczanska, 2002; 2004; 2005) детально досліджено структуру мікоризи сосни, властивості мікоризних грибів і вплив вологи субстрату

на мікоризацію рослин у лісових розсадниках. За отриманими даними, сіянці із закритою кореневою системою мали меншу кількість природних мікориз, ніж сіянці з відкритою кореневою системою. Водночас сіянці сосни з мікоризованими коренями краще пристосовувалися до середовища, як порівняти з контролем, але поступалися їм за показниками росту (довжиною надземної частини).

Інтродукція чужоземних видів сосон часто супроводжується поширенням в екосистемі нових ектомікоризних грибів, що може мати як позитивні, так і негативні екологічні наслідки. Так ектомікоризні інвазії значною мірою змінюють місцеве біорізноманіття (Pušek *et al.*, 2012) та біогеохімію екосистем, особливо кругообіг азоту та вуглецю, мутуалізм і співіснування видів (Bever *et al.*, 2010; Jo *et al.*, 2019). Зміни біохімічних процесів в екосистемі та її функціональних ознак при цьому є неминучими (Jackson *et al.*, 2002; Suding *et al.*, 2004). Тому надзвичайно важливо розуміти динаміку появи нових ектомікоризних видів і наслідки для біорізноманіття та функціонування екосистем (Pecl *et al.*, 2017; Vonebrake *et al.*, 2018).

У випадку інтродукції сосни північного походження до південних районів значно зменшується різноманітність видів ЕМ, пов'язаної із сосною. У південній півкулі виявлено екзотичні сосни, колонізовані ектомікоризними грибами, що є аборигенними видами у тих регіонах (Vellinga *et al.*, 2009; Dickie *et al.*, 2017). Видовий склад цих грибів формувався під впливом місцевої історії, колонізації європейцями та торгівлі з країнами Північної півкулі, а особливості реакції самих грибів визначали ймовірність виживання після екологічної фільтрації процесу інтродукції (Dunstan *et al.*, 1998). До таких особливостей належать стійкість до висихання під час транспортування, стійкість до нових абіотичних умов, спроможність утворювати колонії зі спор і заселяти нові види *Pinus* як жителів.

Colpaert *et al.* (1996) порівнювали ефект від впливу телефори наземної (*Thelephora terrestris* (Ehr.) Ft.), козяку (*Suillus bovinus*) і склеродерми золотистої (*Scleroderma citrinum*) на поглинання вуглецю та азоту мікоризованими й немікоризованими сіянцями *P. sylvestris*, які було вирощено в напівгідропонній системі з азотом як лімітувальним фактором росту. Мікоризовані сіянці мали більшу швидкість асиміляції азоту та вище співвідношення пагін/корінь, ніж немікоризовані, але відзначалися нижчою швидкістю росту пагонів.

Польський гриб (*Imleria badia*) добре росте у різних екологічних умовах, навіть у місцях, забруднених важкими металами (Орока *et al.*, 2018). *I. badia* найчастіше утворює мікоризу із сосною та ялиною (Duñabeitia *et al.*, 1996), трапляється як у хвойних, так і в мішаних лісах Європи, Австралії та Японії, Північної Америки (від східної Канади, західної Мінесоти, і на південь до Північної Кароліни), а також у Китаї та Південно-Східній Азії.

Симбіотичний зв'язок між соснами і ЕМ, зокрема роду *Suillus*, може сприяти адаптації сосон у різних місцевиростаннях. Ці гриби є пристосованими для ранньої сукцесії в їхньому рідному ареалі і сприяють поширенню сосни за межі насаджень. Так відомі насадження сосни, в яких видовий склад грибів доволі бідний, але біомаса плодів маслока звичайного (*Suillus luteus*) значно більша, ніж у навколишніх лісах. Причинами такого домінування можуть бути відсутність конкуренції, зменшення видового різноманіття грибів або присутність каталізаторів, які сприяють розвитку мікроорганізмів у ризосфері і їхній еволюції (Comprant *et al.*, 2010).

Для мікоризних грибів, що належать до роду маслок (*Suillus*), видів мокруха рожева (*Gomphidius roseus*), ризопогон жовтуватий (*Rhizopogon luteolus*), лаковиця рожева (*Laccaria laccata*), дубовик оливково-бурий (*Boletus luridus*), павутинник переливчастий (*Cortinarius vibratilis*), характерним є інтенсивне продукування ауксинів. Деякі поступаються їм за цією властивістю роди гебелома (*Hebeloma*), рядівка *Tricholoma*), родини Болетові (*Imleria*) і види ризопогон жовтуватий (*Rhizopogon luteolus*) та ценококум гранеформе (*Cenococcum graniforme*). Відсутність сполук ауксинів зафіксовано в міцелії всіх аналізованих грибів із родів мухомор (*Amanita*), хрящ-молочник (*Lactarius*), сиріожка (*Russula*) та павутинник (*Cortinarius*), у п'яти видів з роду рядівка (*Tricholoma*), склеродерми бородавчастої (*Scleroderma verrucosum*), склеродерми золотистої (*S. citrinum*), колібії масляної (*Rhodocollybia*

butyracea) та міцени чистої (*Muscena pura*). Деякі із цих видів не накопичують ауксини у міцелії, а виділяють їх у навколишнє середовище. Сполуки із цитокініновою активністю було знайдено в грибах видів телефора наземна (*Thelephora terrestris*) та лаковиця двокольорова (*Laccaria bicolor*), а також у багатьох видах з родів свинуха (*Paxillus*), ризопогон (*Rhizopogon*) і маслюк (*Suillus*) (Strzelczyk and Pokojaska-Burdziej, 1984; Kraigher *et al.*, 1991).

Роль мікоризи в підвищенні стійкості сосни до збудників хвороб. Мікориза відіграє вирішальну роль у життєдіяльності деревних рослин у лісових екосистемах, вона покращує ріст і життєздатність дерев, забезпечуючи захист від токсичних сполук та фітопатогенних мікроорганізмів. У симбіозі з деревами мікоризні гриби утворюють біотрофну асоціацію, в якій вони отримують вуглеводи у вигляді карбогідратів від своїх рослин-живителів. Натомість гриби значно розширюють поглинальну поверхню кореневої системи дерев, що сприяє ефективнішому транспортуванню до дерева води та мінеральних поживних речовин, таких як фосфор, азот і цинк (Colpaert *et al.*, 1996; Kyaschenko *et al.*, 2017; Hagenbo *et al.*, 2019; Hawkins *et al.*, 2023).

Мікоризні гриби утворюють разом із деревами механічні бар'єри у вигляді покривів, що перешкоджають проникненню патогенів у тканини кореня, виділяють антибіотики та стимулюють клітини кореня виробляти хімічні інгібітори. Деякі гриби можуть виділяти антибіотичні речовини як у ризосфері, так і в тканині коренів (Garrett, 1956; Tripathi *et al.*, 2017; Zhdanyuk, 2020). ЕМ мають особливе значення для лісових порід, таких як сосна, ялина, дуб, бук та інші. Їхні гіфи не лише збільшують площу поглинання кореневої системи, але й виробляють спеціальні ферменти, які допомагають рослинам засвоювати такі органічні речовини, як білки, що зазвичай є недоступними для дерев. Це підвищує конкурентоспроможність дерев у середовищах із обмеженими ресурсами.

Mohan *et al.* (2015) в умовах *in vitro* порівняли антагоністичний потенціал восьми ізолятів ектомікоризних грибів – лускатки вільхової (*Flammula alnicola*), лаковиці білолистої (*Laccaria fraterna*), дощовика їстівного (*Lycoperdon perlatum*), пізоліту білого (*Pisolithus albus*), сиріжки (*Russula parazurea*), склеродерми золотистої (*Scleroderma citrinum*), маслюка бревипес (*Suillus brevipes*) і маслюка звичайного (*Suillus subluteus*) стосовно патогенних грибів (*Alternaria solani*, *Botrytis* sp., *Fusarium oxysporum*, *Lasiodiplodia theobromae*, *Phytophthora* sp., *Pythium* sp., *Rhizoctonia solani*, *Sclerotium rolfsii* та *Subramaniospora vesiculosa*). Усі вісім ізолятів мікоризних грибів виявили інгібуючу дію стосовно патогенів, причому максимальний рівень пригнічення патогенної мікрофлори визначено у двох видів із роду Маслюк: *Suillus brevipes* (60,31 %) і *S. subluteus* (49,46 %), а найменший – пізоліт білий (*P. albus*) (33,27 %).

Мікоризні асоціації мають особливо важливе значення в лісах із бідними на поживні речовини ґрунтами. У таких умовах мікориза значно підвищує спроможність дерев конкурувати з іншими рослинами та ґрунтовими мікроорганізмами за обмежені ресурси (Raidl, 1997; Tripathi *et al.*, 2017; Malewski *et al.*, 2023). Лісові дерева, що утворюють мікоризу, зазвичай мають кращі показники збереженості, вищу продуктивність, більш успішний ріст, як порівняти з немікоризними рослинами (Machón *et al.*, 2009; Tripathi *et al.*, 2017; Zhdanyuk, 2020).

Отже, мікориза є невід'ємною частиною лісових екосистем, забезпечуючи стабільність і продуктивність лісів, особливо в стресових умовах. У контексті зміни клімату та деградації ґрунтів мікоризні асоціації відіграватимуть ключову роль у підтриманні стійкості лісових екосистем.

Висновки. Мікоризні гриби відіграють важливу роль у підтримці росту та виживання дерев, особливо в разі відновлення екосистем. Негативний досвід лісовідновлення на ґрунтах, позбавлених лісової мікрофлори, підкреслює необхідність застосування штучної інокуляції дерев мікоризою. Загальноновизнаним фактом, підтвердженим численними дослідженнями, є те, що мікориза сприяє росту, збереженню та виживанню рослин в умовах стресу. Проте механізми взаємодії між рослинами та мікоризою залишаються недостатньо вивченими, як і фізіологія мікоризних грибів.

Варті особливої уваги антагоністичні властивості мікоризних грибів. Важливою характеристикою таких грибів є їхня захисна функція проти патогенів, спроможність створювати антибіотичні бар'єри та стимулювати захисні механізми рослин. Це сприяє покращенню загального стану дерев та їхньому виживанню, особливо на порушених і деградованих ґрунтах.

Зважаючи на вирішальну роль мікоризних грибів у відновленні й збереженні помірних і бореальних лісів у контексті зміни клімату, подальші дослідження та заходи щодо їхнього збереження є вкрай актуальними. Консервація нативних і стресостійких штамів мікоризних грибів сприятиме підвищенню стійкості лісових екосистем в умовах зміни клімату.

ПОСИЛАННЯ–REFERENCES

- Agarwal, P. and Sah, P. (2009) 'Ecological importance of ectomycorrhizae in world forest ecosystems', *Nature and Science*, 7(2), pp. 107–116.
- Agerer, R. (1996) 'Characterization of ectomycorrhizae: A historical overview', *Descript Ectomycorrhizae*, 1, pp. 1–22.
- Alexopoulos, C.J., Mims, C.W. and Blackwell M. (1996) 'Kingdom fungi – introduction to fungi and their significance to humans' in *Introductory Mycology*. 4th edn. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Banerjee, S., Schlaeppli, K. and van der Heijden, M. G. (2018) 'Keystone taxa as drivers of microbiome structure and functioning', *Nature Reviews Microbiology*, 16(9), pp. 567–576.
- Bazilevskaya, N.A. and Maurin, A.M. (1984) *Plant introduction: theories and practical approaches*. Riga: Latvian University (in Russian).
- Bever, J. D., Dickie, I. A., Facelli, E., Facelli, J. M., Klironomos, J., Moora, M., Rillig, M. C., Stock, W. D., Tibbett, M. and Zobel, M. (2010) 'Rooting theories of plant community ecology in microbial interactions', *Trends in Ecology & Evolution*, 25, pp. 468–478. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2010.05.004>
- Bonebrake, T. C., Brown, C. J., Bell, J. D., Blanchard, J. L., Chauvenet, A., Champion, C., ... and Pecl, G. T. (2018) 'Managing consequences of climate-driven species redistribution requires integration of ecology, conservation and social science', *Biological Reviews*, 93(1), pp. 284–305.
- Brunner, I., Amiet, R., Zollinger, M. and Egli, S. (1992) 'Ectomycorrhizal syntheses with *Picea abies* and three fungal species: A case study on the use of an *in vitro* technique to identify naturally occurring ectomycorrhizae', *Mycorrhiza*, 2, pp. 89–96.
- Canright, M. and Bruns, T. D. (2006) 'The effects of heat treatments on ectomycorrhizal resistant propagules and their ability to colonize bioassay seedlings', *Mycological Research*, 110(2), pp. 196–202.
- Cardon, Z.G and Whitbeck, J.L. (2007) *The rhizosphere*. Elsevier Academic Press.
- Claridge, A. W., Trappe, J. M. and Hansen, K. (2009) 'Do fungi have a role as soil stabilizers and mediators after forest fire?', *Forest Ecology and Management*, 257(3), pp. 1063–1069.
- Colpaert, J.V., Van Laere, A. and van Assche, J.A. (1996) 'Carbon and nitrogen allocation in ectomycorrhizal and non-mycorrhizal *Pinus sylvestris* L. seedlings', *Tree Physiology*, 16, pp. 787–793.
- Compant, S., Van Der Heijden, M.G. and Sessitsch, A. (2010) 'Climate change effects on beneficial plant-microorganism interactions', *FEMS Microbiology Ecology*, 73, pp. 197–214.
- Dahlberg, A. (2001) 'Community ecology of ectomycorrhizal fungi: an advancing interdisciplinary field', *New Phytologist*, 150(3), pp. 555–562.
- Dahlberg, A. and Stenström, E. (1991) 'Dynamic changes in nursery and indigenous mycorrhiza of *Pinus sylvestris* seedlings planted out in forest and clearcuts', *Plant and Soil*, 136, pp. 73–86.
- Davydenko, K., Vysotska, N., Yushchik, V. and Markina, T. (2020) 'Early effects of a forest fire on the diversity of fungal communities in pine forests in Left-Bank Ukraine with special emphasis on mycorrhizal fungi', *Forestry and Forest Melioration*, 137, pp. 110–119.
- Dickie, I. A., Bufford, J. L., Cobb, R. C., Desprez-Loustau, M. L., Grelet, G., Hulme, P. E., ... and Williams, N. M. (2017) 'The emerging science of linked plant-fungal invasions', *New Phytologist*, 215(4), pp. 1314–1332.
- Dobo, B., Asefa, F. and Asfaw, Z. (2018) 'Diversity and abundance of arbuscular mycorrhizal fungi under different plant and soil properties in Sidama, southern Ethiopia', *Agroforestry Systems*, 92, pp. 91–101.
- Duñabeitia, M.K., Hormilla, S., Salcedo, I. and Peña, J.I. (1996) 'Ectomycorrhizae synthesized between *Pinus radiata* and eight fungi associated with *Pinus* spp.', *Mycologia*, 88, pp. 897–908.
- Dunstan, W. A., Malajczuk, N. and Dell, B. (1998) 'Effects of bacteria on mycorrhizal development and growth of container grown *Eucalyptus diversicolor* F. Muell. Seedlings', *Plant and Soil*, 201, pp. 241–249.
- Dyderski, M. K., Paź, S., Frelich, L. E. and Jagodziński, A. M. (2018) 'How much does climate change threaten European forest tree species distributions?', *Global Change Biology*, 24(3), pp. 1150–1163.
- Garrett, S.D. (1956) 'Biology of root-infecting fungi', *Soil Science*, 82(1), p. 97.

- Godbout, C. and Fortin, J. (1983) 'Morphological features of synthesized ectomycorrhizae of *Alnus crispa* and *A. rugosa*', *New Phytologist*, 94, pp. 249–262.
- Hagenbo, A., Hadden, D., Clemmensen, K. E., Grelle, A., Manzoni, S., Mölder, M., ... and Fransson, P. (2019) 'Carbon use efficiency of mycorrhizal fungal mycelium increases during the growing season but decreases with forest age across a *Pinus sylvestris* chronosequence', *Journal of Ecology*, 107(6), pp. 2808–2822.
- Hawkins, H. J., Cargill, R. I., Van Nuland, M. E., Hagen, S. C., Field, K. J., Sheldrake, M., ... and Kiers, E. T. (2023) 'Mycorrhizal mycelium as a global carbon pool', *Current Biology*, 33(11), R560-R573.
- Helgason, T., Merryweather, J.W., Denison, J., Wilson, P., Young, J.P.W. and Fitter, A.H. (2002) 'Selectivity and functional diversity in arbuscular mycorrhizas of co-occurring fungi and plants from a temperate deciduous woodland', *Journal of Ecology*, 90, pp. 371–384.
- Hilszczanska, D. (2002) 'Mycorrhizal fungi in Scots pine cultures after seedlings out planting on post-agricultural lands', *Folia forestalia Polonica. Serie A. Forestry*, 44, pp. 97–102.
- Hilszczanska, D. (2004) 'Mycorrhizal status of Scots pine *Pinus sylvestris* L. seedlings grown in watered and non-watered nursery condition', *Dendrobiology*, 52, pp. 23–28.
- Hilszczanska, D. (2005) 'Wpływ deszczowania siewek *Pinus sylvestris* L. na zmiany w zbiorowiskach grzybow mikoryzowych I glebowych', *Leśne Prace Badawcze*, 4, pp. 103–113 (in Polish).
- Hilszczanska, D., Oszako, T. and Sierota, Z. (1999) 'Influence of laser light on mycelial growth of *Hebeloma mesophaeum* and ectomycorrhizal development on Scots pine', *Mycorrhiza*, 8, pp. 323–327.
- Jackson, R. B., Banner, J. L., Jobbágy, E. G., Pockman, W. T., and Wall, D. H. (2002) 'Ecosystem carbon loss with woody plant invasion of grasslands', *Nature*, 418, pp. 623–626. <https://doi.org/10.1038/nature00910>
- Jo, I., Fei, S., Oswalt, C. M., Domke, G. M., and Phillips, R. P. (2019) 'Shifts in dominant tree mycorrhizal associations in response to anthropogenic impacts', *Science Advances*, 5(4), eaav6358.
- Kopiy, L., Gonchar, V., Kopiy, S., Oliferchuk, V. and Kopiy, M. (2015) Influence of tree stand composition on the mycological structure of the soil', *Scientific Bulletin of UNFU*, 25, p. 8–14 (in Ukrainian).
- Kostikov, I. Yu., Dzhagan, V. V., Demchenko, E. M., Boyko, O. A., Boyko, V. R. and Romanenko, P. O. (2004) *Botany. Algae and mushrooms*. Kyiv (in Ukrainian).
- Kottke, I. and Oberwinkler, F. (1986) 'Mycorrhiza of forest trees – structure and function', *Trees*, 1, pp. 1–24.
- Kraigher, H., Grayling, A., Wang, T. L. and Hanke, D. E. (1991) 'Cytokinin production by two ectomycorrhizal fungi in liquid culture', *Phytochemistry*, 30(7), pp. 2249–2254.
- Kumar, R., Reddy, B. and Mohan, V. (1999) 'Distribution of ectomycorrhizal fungi in forest tree species of Andhra Pradesh, southern India – a new record'. *Indian Forester*, 125(5), pp. 496–502.
- Kutorga, E., Adamonytė, G., Iršėnaitė, R., Juzėnas, S., Kasparavičius, J., Markovskaja, S., ... and Treigienė, A. (2012) 'Wildfire and post-fire management effects on early fungal succession in *Pinus mugo* plantations, located in Curonian Spit (Lithuania)', *Geoderma*, 191, pp. 70–79.
- Kuznetsova, O. V. (2011) 'The effect of growth stimulants on the development of the vegetative mycelium of *Pleurotus ostreatus* (Jacq: Fr.) Kumm', *Biotechnologia Acta*, 4(3), pp. 082–089 (in Ukrainian).
- Kuznetsova, O. and Vlasenko, E. (2020) 'Effect of natural and synthetic phytohormones on growth and development of higher Basidiomycetes', *Biotechnol. Acta*, 13, pp. 19–31.
- Kyaschenko, J., Clemmensen, K. E., Karlton, E. and Lindahl, B. D. (2017) 'Below-ground organic matter accumulation along a boreal forest fertility gradient relates to guild interaction within fungal communities', *Ecology Letters*, 20(12), pp. 1546–1555.
- Machón, P., Pajares, J., Diez, J. and Alves-Santos, F. (2009) 'Influence of the ectomycorrhizal fungus *Laccaria laccata* on pre-emergence, post-emergence and late damping-off by *Fusarium oxysporum* and *F. verticillioides* on Stone pine seedlings', *Symbiosis*, 49, pp. 101–109.
- Malewski, T., Borowik, P., Olejarski, I., Berezovska, D., Dyshko, V., Behnke-Borowczyk, J., Pusz, W., Matic, S. and Oszako, T. (2023) 'Mycobiome of post-agricultural soils 20 years after application of organic substrates and planting of pine seedlings', *Forests*, 14, 36. <https://doi.org/10.3390/f14010036>
- Mao, Z., Corrales, A., Zhu, K., Yuan, Z., Lin, F., Ye, J., Hao, Z. and Wang, X. (2019) 'Tree mycorrhizal associations mediate soil fertility effects on forest community structure in a temperate forest', *New Phytologist*, 223, pp. 475–486.
- Milović, M., Kebert, M. and Orlović, S. (2021) 'How mycorrhizas can help forests to cope with ongoing climate change?', *Šumarski List*, 145(5–6), pp. 279–286.
- Mohan, V., Nivea, R. and Menon, S. (2015) 'Evaluation of ectomycorrhizal fungi as potential bio-control agents against selected plant pathogenic fungi', *Journal of Academia and Industrial Research*, 3, pp. 408–412.
- Mrak, T., Kühndorf, K., Grebenc, T., Štraus, I., Münzenberger, B. and Kraigher, H. (2017) '*Scleroderma areolatum* ectomycorrhiza on *Fagus sylvatica* L.', *Mycorrhiza*, 27, pp. 283–293.
- Opoka, W., Kała, K., Krężałek, R., Sułkowska-Ziaja, K., Maślanka, A. and Muszyńska, B. (2018) 'TLC-Densitometry analysis of indole compounds in mycelial culture of *Imleria badia* and *Agaricus bisporus* enriched with precursors – serine or anthranilic acid', *Acta Chromatographica*, 30(4), pp. 236–242. <https://doi.org/10.1556/1326.2017.00325>
- Pachlewski, R. and Pachlewska, J. (1974) *Studies on symbiotic properties of mycorrhizal fungi of pine (*Pinus sylvestris* L.) with the aid of the method of mycorrhizal synthesis in pure cultures on agar*. Warsaw: Forest Research Institute.

- Parladé, J., Pera, J. and Alvarez, I.F. (1996) 'Inoculation of containerized *Pseudotsuga menziesii* and *Pinus pinaster* seedlings with spores of five species of ectomycorrhizal fungi', *Mycorrhiza*, 6, pp. 237–245.
- Peay, K. G., Kennedy, P. G. and Talbot, J. M. (2016) 'Dimensions of biodiversity in the Earth mycobiome', *Nature Reviews Microbiology*, 14(7), pp. 434–447.
- Pecl, G.T., Araújo, M.B., Bell, J.D., Blanchard, J., Bonebrake, T.C., Chen, I.-C., *et al.* (2017). Biodiversity redistribution under climate change: impacts on ecosystems and human well-being', *Science*, 355, eaai9214. <https://doi.org/10.1126/science.aai9214>
- Pereima, I. V. and Ivanova, T. V. (2017) 'Stimulation of growth of species of the fungus of the genus *Pleurotus* (Fr.) P. Kumm. at a glucose nutrition', *Biotechnologia Acta*, 10(6), pp. 45–52 (in Ukrainian).
- Pyšek, P., Jarošík, V., Hulme, P.E., Pergl, J., Hejda, M., Schaffner, U. and Vilà, M. (2012) 'A global assessment of invasive plant impacts on resident species, communities and ecosystems: the interaction of impact measures, invading species' traits and environment', *Global Change Biology*, 18, pp. 1725–1737. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2486.2011.02636.x>
- Raidl, S. (1997) *Studien zur Ontogenie an Rhizomorphen von Ektomykorrhizen*. Berlin/Stuttgart: Cramer; Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung, Bibliotheca Mycologica, Volume 169. ISBN 978-3-443-59071-0
- Read, D.J. and Perez-Moreno, J. (2003) 'Mycorrhizas and nutrient cycling in ecosystems – a journey towards relevance?', *New Phytologist*, 157, pp. 475–492.
- Richter, D.L. and Bruhn, J.N. (1990) '*Scleroderma citrinum* (Gasteromycetes, Sclerodermatales) and *Larix decidua* form ectomycorrhizae in pure culture', *Nova Hedwigia*, 50, pp. 355–360.
- Rybak, O. V. and Rybak, V. O. (2015) 'Resistance of pine forests with understory crops of red oak to root fungus', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 216(1), pp. 146–154 (in Ukrainian).
- Sirenko, O.G., Belova, N., Maltsov, I.Y., Marynyuk, M.M. and Sokol, V. (2011) 'Mycorrhiza of *Pinus sylvestris* L. and *Picea abies* (L.) Karst. under natural and cultural conditions and the results of artificial mycorrhization of seedlings', *Newsletter of Precarpathian Natl. Univ. named after Vasyl Stefanyk. Ser. Biol.*, 15, pp. 224–234 (in Ukrainian).
- Smith, F. A. and Smith, S. E. (1997a) 'Structural diversity in (vesicular)-arbuscular mycorrhizal symbioses', *New Phytologist*, 137, pp. 373–388.
- Smith, F. A. and Smith, S. E. (1997b) 'Tansley review no. 96 structural diversity in (vesicular)–arbuscular mycorrhizal symbioses', *The New Phytologist*, 137(3), pp. 373–388.
- Smith, S. S. (1980) 'Mycorrhizas of autotrophic higher plants', *Biological Reviews*, 55(4), pp. 475–510.
- Smith, S.E. and Read, D.J. (2010) *Mycorrhizal Symbiosis*. Cambridge: Academic Press.
- Sterkenburg, E., Bahr, A., Brandström Durling, M., Clemmensen, K. E. and Lindahl, B. D. (2015) 'Changes in fungal communities along a boreal forest soil fertility gradient', *New Phytologist*, 207(4), pp. 1145–1158.
- Strzelczyk, E. and Pokojaska-Burdziej, A. (1984) 'Production of auxins and gibberellin-like substances by mycorrhizal fungi, bacteria and actinomycetes isolated from soil and the mycorrhizosphere of pine (*Pinus silvestris* L.)', *Plant and Soil*, 81(2), pp. 185–194.
- Suding, K.N., Gross, K.L. and Houseman, G.R. (2004) 'Alternative states and positive feedbacks in restoration ecology', *Trends in Ecology & Evolution*, 19, pp. 46–53. <https://doi.org/10.1016/j.tree.2003.10.005>
- Tedersoo, L., Bahram, M., Pöhlme, S., Kõljalg, U., Yorou, N. S., Wijesundera, R., ... and Abarenkov, K. (2014) 'Global diversity and geography of soil fungi', *Science*, 346(6213), 1256688.
- Tedersoo, L., Bahram, M. and Zobel, M. (2020) 'How mycorrhizal associations drive plant population and community biology', *Science*, 367.
- Tripathi, S., Mishra, S.K., Varma, A. (2017). 'Mycorrhizal fungi as control agents against plant pathogens', in Varma, A., Prasad, R., Tuteja, N. (eds) *Mycorrhiza – Nutrient Uptake, Biocontrol, Ecorestoration*. Springer, Cham, pp. 161–178. https://doi.org/10.1007/978-3-319-68867-1_8
- van Der Heijden, M.G., Martin, F.M., Selosse, M.A. and Sanders, I.R. (2015) 'Mycorrhizal ecology and evolution: The past, the present, and the future', *New Phytologist*, 205, pp. 1406–1423.
- Vellinga, E.C., Wolfe, B.E. and Pringle, A. (2009) 'Global patterns of ectomycorrhizal introductions', *New Phytologist*, 181(4), pp. 960–973.
- Veresoglou, S.D., Wulf, M. and Rillig, M.C. (2017) 'Facilitation between woody and herbaceous plants that associate with arbuscular mycorrhizal fungi in temperate European forests', *Ecology and Evolution*, 7(4), pp. 1181–1189.
- Voiry, H. (1981) 'Classification morphologique des ectomycorhizes du chêne et du hêtre dans le nord-est de la France', *European Journal of Plant Pathology*, 11, pp. 284–299.
- Waller, K., Raidl, S. and Agerer, R. (1993) 'Ectomycorrhizae of *Scleroderma citrinum*', *Zeitschrift für Mykologie*, 59(2), pp. 141–153 (in German).
- Ugarov, V., Popov, O., Danilenko, O. and Nozhenko, N. (2013) 'Influence of *Pinus sylvestris* L. seedlings preplanting mycorrhization on survival and growth of forest plantations on the burned areas', *Forestry and Forest Melioration*, 123, 134–139.
- Zhdanyuk, I. (2020) *The effect of mycorrhizal preparation on the productivity of soybeans under Polissia conditions*. Technical Report; Institutional Repository of Polissia National University: Zhytomyr, Ukraine (in Ukrainian).

MYCORRHIZAL ASSOCIATIONS OF PINE: SPECIES, THEIR CHARACTERISTICS, AND ROLE IN FOREST ECOSYSTEMS

Dyshko V.^{1*}, Borovyk P.², Oshako T.³, Davydenko K.⁴

Recent climate change may lead to a deterioration of growing conditions for many tree species, including Scots pine (*Pinus sylvestris* L.), one of the most important forest-forming species in the forests of Ukraine. This review analyses the results of national and foreign research on the properties of mycorrhiza and its importance for forest ecosystems, exploring the specificities of mycorrhizal associations, the types of mycorrhizal companions of pine, and their properties. It highlights the structural characteristics of mycorrhiza and its influence on the growth and development of pine species. Additionally, the antagonistic role of mycorrhiza in combating pathogens is emphasized, and the important role of mycorrhizal fungi is in supporting the growth and survival of trees, especially under ecosystem regeneration.

Key words: mycorrhizal symbiosis, antagonists, tree resistance, mycorrhization.

Одержано редколегією 13.10.2024

¹ Dyshko Valentyna, PhD (Agricultural Sciences), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after the G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: valya_dishko@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2553-109X>

² Borowik Piotr, PhD, Forest Research Institute, Sekocin Stary, Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Poland. E-mail: pborow@poczta.onet.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-2906-246X>

³ Oszako Tomasz, PhD, Professor, Forest Research Institute, Sekocin Stary, Braci Leśnej 3, 05-090 Raszyn, Poland. E-mail: t.oszako@pb.edu.pl, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4688-2582>

⁴ Davydenko Kateryna, PhD (Agricultural Sciences), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after the G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine; Uppsala BioCenter, Swedish University of Agricultural Sciences, P.O. Box 7026, 75007 Uppsala, Sweden. E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6077-8533>

* Correspondence: valya_dishko@ukr.net; kateryna.davydenko74@gmail.com



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.123>

ПОШИРЕНІСТЬ ТА ІНТЕНСИВНІСТЬ ПОШКОДЖЕННЯ ЛИСТЯ *TILIA CORDATA* MILL. У МІСЬКИХ І ЛІСОВИХ НАСАДЖЕННЯХ ХАРКІВЩИНИ

Ю. Є. Скрильник^{1*}, [О. М. Кукіна](#)², О. В. Зінченко³, Н. О. Власенко⁴, В. П. Туренко⁵

На листі *Tilia cordata* (Mill) визначено «погризи», «міни», «уколи», «гали», спричинені членистоногими, а також «плями» грибних уражень і «опіки» від дії забруднювачів повітря. Членистоногі представлені двома видами класу Arachnida і 10 видами класу Insecta. Визначені види належать до 9 родів 7 родин 4 рядів, причому 5 видів є монофагами. Пошкоджені листки становили в середньому $21,5 \pm 1,84$ % з переважанням «погризів» ($9,8 \pm 1,33$ %) і «галів» ($5,8 \pm 1,05$ %). Поширеність та інтенсивність прояву «погризів» зменшувалися в ряді Ліс – Лісопарк – Парки – Двори та Вулиці. Поширеність галів була найбільшою в парках. Міни виявлено лише у насадженнях перших трьох типів. Поширеність уколів була найбільшою у дворових і вуличних насадженнях, плямистостей листя – у лісових насадженнях, Лісопарку і парках. Опіки листя виявлено лише у вуличних насадженнях. Найбільше вилучення листя в лісових насадженнях спричиняли комахи, що спричиняють погризи (8,9 %), та мінери (3,45 %). Найбільше вилучення листя комахами, що спричиняють уколи, відмічено у дворах і парках ($0,45$ і $0,41$ % відповідно), галоутворювачами – у парках (3,1 %), внаслідок розвитку плямистостей – у парках ($0,47$ %), опіків листя – у вуличних насадженнях (0,6 %).

Ключові слова: антропогенне навантаження, типи насаджень, комахи-філофаги, плямистість листя, опіки листя.

Вступ. Липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill., 1768) поширена в лісах Європи від Скандинавського півострова до Іспанії, порівняно невибаглива до родючості ґрунту, витримує дію морозу та посухи, є джерелом цінної деревини та медоносом (Radoglou *et al.* 2008; Oleksiychenko *et al.* 2013). Її висаджують у захисних смугах і зелених насадженнях міст через її довговічність, декоративність, порівняну невибагливість до умов вирощування, стійкість до пошкодження комахами та ураження збудниками хвороб, спроможність затримувати пил і забруднювачі повітря, що надходять від промислових об'єктів і засобів транспорту (Rahman *et al.* 2017).

Водночас в урбоценозах у порівнянні з природними екосистемами на липу діють антропогенні чинники (зміни режимів освітлення й температури, обмеження розвитку коріння, забруднення повітря тощо), що впливає на поширення біотичних чинників ослаблення (зокрема чужоземних) (Branco *et al.* 2019) і на реакцію дерев на пошкодження й ураження (Andrianjara *et al.*, 2024). Прояв дії на дерева окремих чинників часто характеризується специфічним виглядом листків (Khavaninzadeh *et al.*, 2014; Langellotto and Hall, 2020; Kukina *et al.*, 2021). Так, техногенне забруднення повітря виявляється у вигляді опіків листя, ураження грибами – у вигляді плям, різних за формою та кольором, пошкодження

¹ Скрильник Юрій Євгенович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: yuriy.skrylnik@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8565-4860>

² [Кукіна Ольга Миколаївна](#), кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5902-8599>

³ Зінченко Ольга Вікторівна, кандидат сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: zinchov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-8144>

⁴ Власенко Наталія Олександрівна, кандидат біологічних наук, доцент, Полтавський національний педагогічний університет імені В. Г. Короленка, вул. Остроградського, 2, Полтава, 36000, Україна. E-mail: vlasnatalija@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3811-6493>

⁵ Туренко Володимир Петрович, доктор сільськогосподарських наук, професор, Державний біотехнологічний університет, вул. Алчевських, 44, Харків, 61000, Україна. E-mail: turenko065@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7432-6965>

* Адреса для кореспонденції: yuriy.skrylnik@gmail.com

комахами – у вигляді вилучення частин листків, появі погризів, мін, уколів, галів тощо (Andrianjara *et al.*, 2024; Blake *et al.*, 2024). Поширення й інтенсивність пошкодження листя опіками, спричиненими техногенним забрудненням повітря, наростають у міру збільшення вмісту токсичних елементів. Водночас реакція окремих видів грибів і комах на техногенне забруднення може бути різноманітною. Деякі види збільшують поширеність лише до певного підвищення техногенного забруднення, інші взагалі уникають заселяти листя в таких умовах.

Поширення чинників ослаблення дерев липи досліджено в багатьох регіонах (Khavaninzadeh *et al.*, 2014; Mackoś-Iwaszko and Lubiarsz, 2014; Karpyn, 2016; Vainio *et al.*, 2017; Zaitseva, 2018; Kabicek, 2019; Koliienkina, 2020; Andrianjara *et al.*, 2024), зокрема у м. Харків (Mikulina, 2011; Kardash, 2021a; 2021b; Kardash and Sokolova, 2020; Sokolova *et al.*, 2020; Kukina *et al.*, 2021). Відзначено загальну тенденцію до більшого різноманіття видів членистоногих філофагів у природних біотопах, порівнюючи з вуличними насадженнями, та зменшення частки видів із відкритим способом життя у міру збільшення техногенного навантаження. Водночас списки видів комах, кліщів і грибів мають відмінності за регіонами, залежно від умов року та наявності масових розмножень окремих видів згідно з циклічністю динаміки їхніх популяцій. Це свідчить про необхідність продовження зазначених досліджень.

Метою досліджень було визначити чинники пошкодження і уражень листя липи серцелистої й оцінити поширеність та інтенсивність прояву їхньої дії залежно від типу насаджень, що дає змогу використати дерева як біоіндикатори антропогенного навантаження.

Матеріали й методи. Дослідження проведено у 2018–2021 рр. у Національному природному парку «Гомільшанські ліси» (49°35' пн. ш., 36°19' сх. д.), Лісопарку м. Харків (50°03' пн. ш., 36°15' сх. д.), Центральному парку м. Харків (50°01' пн. ш., 36°14' сх. д.), парку Молодіжному (50°00' пн. ш., 36°15' сх. д.), Парку Ветеранів (49°89' пн. ш., 36°45' сх. д.) й Дендропарку (49°53' пн. ш., 36°27' сх. д.) Державного Біотехнологічного Університету, у вуличних і внутрішньоквартальних посадках («дворах») Шевченківського (50°02' пн. ш., 36°23' сх. д.), Київського (50°01' пн. ш., 36°24' сх. д.) та Індустріального (49°95' пн. ш., 36°37' сх. д.) районів м. Харкова.

Листки для аналізу відбирали рандомізовано у липні – серпні з верхнього, середнього й нижнього ярусів крон дерев липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.), на висоті до 2 м – секатором, із середнього й верхнього ярусів – сучкорізом на жердині. Зі зрізаних пагонів відбирали 2–3 листки від основи однорічного пагона. У кожному типі насаджень відбирали в кожному даті обліку не менше ніж по 100 листків.

Під час камерального аналізу реєстрували шість типів пошкодження й ураження листків: «погризи» (заподіяні комахами із гризучим ротовим апаратом із відкритим способом життя); «міни» (ходи всередині тканин листків), «уколи» (заподіяні сисними комахами); «гали» (розростання тканин унаслідок розвитку комах чи кліщів); «плями» (плямистості, спричинені фітопатогенними грибами) та «опіки» (спричинені техногенним забрудненням повітря).

Видовий склад комах і кліщів визначали з урахуванням досвіду обстеження листяних насаджень регіону попередніх років (Mikulina, 2011; Kardash, 2021a; 2021b; Kardash and Sokolova, 2020; Sokolova *et al.*, 2020; Kukina *et al.*, 2021), колекцій УкрНДІЛГА та Харківського відділення Українського ентомологічного товариства. Видовий склад мінерів і галоутворювачів, а також основних збудників плямистостей листя визначали за характерними пошкодженнями (Ellis, 2024). Видову належність деяких комах, зібраних на стадії гусениці, уточнювали догодовуванням у камеральних умовах листям липи. Сучасну номенклатуру комах і кліщів перевіряли за Fauna Europea (Karsholt and Nieukerken, 2017), грибів – за Index Fungorum (2024).

Поширеність окремих типів пошкодження й ураження листя розраховували як частку листків з певними симптомами, виражену у відсотках, визначену у насадженнях певних типів (Ліс, Лісопарк, Парки, Двори, Вулиці). Інтенсивність пошкодження листків визначали як частку пошкодженої площі (%), яку оцінювали з точністю до 5 %. Середній показник вилучення поверхні листя (втрата листя) розраховували як добуток перших двох показників

і середньої частки листків із наявністю пошкоджень у насадженнях певного типу (Kardash, 2021b).

Похибку показника поширеності пошкоджень і уражень визначали за формулою (1):

$$Sx = \sqrt{\frac{P\% \times (100 - P\%)}{N}}, \quad (1)$$

де Sx – похибка; $P\%$ – значення показника у відсотках; N – кількість листків у вибірці.

Значення показників, виражених у відсотках, порівнювали з використанням Z -тесту (Atramentova and Utievska, 2007). Різницю вважали значущою на рівні $P = 0,05$ при $Z > 1,96$. Розрахунки здійснювали засобами пакету програм MS Excel.

Результати. Серед пошкоджень і уражень листя липи серцелистої, виявлених під час обстеження міських і лісових насаджень Харківщини, більшість спричиняли біотичні чинники – членистоногі (Arthropoda) – «погризи», «міни», «гали», «уколи», меншою мірою – гриби (род. Gnomicaceae) – «плями». Техногенні чинники спричиняли «опіки» листя.

Членистоногі, що живилися листям липи в обстежених насадженнях під час наших досліджень, були презентовані 12 видами з 9 родів 7 родин, 4 рядів, 2 класів – павукоподібні (Arachnida) та комахи (Insecta) (табл. 1).

Таблиця 1

**Види членистоногих шкідників липи та типи заподіюваних пошкоджень листя
Species of Arthropoda on linden trees and types of leaf damage**

Таксони Taxa	Тип пошкодження Damage type
Клас Arachnida – павукоподібні. Підклас Acari – кліщі.	
Ряд Trombidiformes – тромбідіформні кліщі. Родина Eriophyidae – еріофіди	
<i>Eriophyes tiliae</i> (Pagenstecher, 1857) – кліщик липовий	гали
<i>Eriophyes leiosoma</i> (Nalepa, 1892) – кліщ липовий повстаний	гали
Клас Insecta – Комахи	
Ряд Lepidoptera – Метелики	
Родина Geometridae – п'ядуни	
<i>Erannis defoliaria</i> (Clerck, 1759) – п'ядун-обдирало звичайний	погризи*
<i>Operophtera brumata</i> (Linnaeus, 1758) – п'ядун зимовий	погризи
Родина Tortricidae – Листовійки	
<i>Archips rosana</i> (Linnaeus, 1758) – листовійка розанова	погризи
<i>Archips crataegana</i> (Hübner, 1799) – листовійка-товстунка глодова	погризи
<i>Pandemis cerasana</i> (Hübner, 1786) – листовійка кривовуса смородинова	погризи
<i>Pandemis heparana</i> (Denis & Schiffermüller, 1775) – листовійка кривовуса вербова	погризи
Родина Bucculatricidae – кривовусі молі-крихітки	
<i>Bucculatrix thoracella</i> (Thunberg, 1794) – липова міль-крихітка	погризи
Родина Gracillariidae – молі-строкатки	
<i>Phyllonorycter issikii</i> (Kumata, 1963) – міль-строкатка липова	міни
Ряд Diptera – Двокрилі	
Родина Cecidomyiidae – галиці	
<i>Didymomyia tiliacea</i> (Bremi, 1847) – галиця липова	гали
Ряд Hemiptera – напівтвердокрилі	
Родина Aphididae – справжні попелиці	
<i>Eucallipterus tiliiae</i> (Linnaeus, 1758) – попелиця липова	уколи

*Тип «погризи» охоплює різноманітні прояви пошкодження листків комахами з відкритим способом життя та гризучим ротовим апаратом (вигризання отворів, фрагментів листка, скелетування тощо).

Серед визначених видів членистоногих п'ять видів є монофагами, що живляться й розвиваються лише на липі: два види липових кліщів, липова попелиця, липовий мінер і липова галиця. Липова міль-крихітка є олігофагом, а решта видів є поліфагами.

Обгризання листків липи спричиняють переважно гусениці листовійок, п'ядунів і моли крихітки, що мають гризучий ротовий апарат і відкритий спосіб життя (рис. 1).



Рис. 1 – Приклади пошкодження листя типу «погризи»: а – спричинені гусеницями п'ядунів (Geometridae); б – спричинені *Bucculatrix thoracella*
Fig. 1 – Examples of “gnaws”: a – caused by Geometridae caterpillars; b – caused by *Bucculatrix thoracella*

Потаємним способом життя характеризуються комахи-мінери, що мають гризучий ротовий апарат (рис. 2), та галоутворювачі, що мають колючо-сисний ротовий апарат (рис. 3).



Рис. 2 – Міни липового мінера *Phyllonorycter issikii*: а – міни на листі липи; б – лялечка всередині міни
Fig. 2 – Mines of linden miner *Phyllonorycter issikii*: a – mines on a linden leaf; b – pupa inside the mine



Рис. 3 – Гали на листі липи, спричинені: а – кліщем *Eriophyes tiliae*; б – мухою *Didymomyia tiliacea*
Fig. 3 – Galls on linden leaves caused by: a – mite *Eriophyes tiliae*; b – fly *Didymomyia tiliacea*

Плями на листі спричиняли фітопатогенні гриби: антракноз, або кремову плямистість липи – *Apiognomonia errabunda* (Roberge ex Desm.) Höhn. (1918) (Gnomoniaceae) (стара назва – *Gloeosporium tiliae* Oudem, 1873), а церкоспороз, або темно-буру плямистість, – *Paracercosporidium microsorum* (Sacc.) (syn. *Cercospora microsora* Sacc, 1880) (Mycosphaerellaceae) (рис. 4).



Рис. 4 – Плямистості листя липи, спричинені: а – *Apiognomonia errabunda*; б – *Paracercosporidium microsorum*

Fig. 4 – Leaf spots on linden caused by: a – *Apiognomonia errabunda*; b – *Paracercosporidium microsorum*

Соки з листків висмоктували переважно попелиці, що спричиняло пошкодження типу «уколи» (рис. 5). Опіки листя липи внаслідок техногенного забруднення повітря виявляли в насадженнях на вулицях із інтенсивним рухом транспорту (рис. 6).



Рис. 5 – *Eucallipterus tiliae* висмоктує сік із листків
Fig. 5 – *Eucallipterus tiliae* sucks the juice from the leaves



Рис. 6 – Опіки листя під впливом викидів транспорту
Fig. 6 – Leaf burns caused by transport emissions

Середній показник поширення пошкоджень листків липи серцелистої у загальній вибірці даних становив $21,5 \pm 1,84$ %. Серед типів пошкодження листя переважали «погризи» ($9,8 \pm 1,33$ %) (рис. 7), які є результатом живлення комах із гризучим ротовим апаратом і відкритим способом життя. Значущість різниці переважання поширення погризів над поширенням мін, уколів, галів доведено на рівні $P = 0,05$ ($z - 3,91; 3,77$ і $2,36$ відповідно;

$z_{0,05} = 1,96$), а у порівнянні з плямами та опіками – на рівні $P = 0,01$ ($z = 5,06$ і $6,55$ відповідно; $z_{0,01} = 3,96$).

Друге місце посідали «гали» ($5,8 \pm 1,05$ %), утворені під час розвитку галових кліщів (Родина Eriophyidae) і мух-галиць (Родина Cecidomyiidae). Пошкодження листя, спричинені комахами із колючо-сисним ротовим апаратом («уколи») та деформації внаслідок інтенсивного висмоктування соку з листків) та комахами-мінерами, що мають гризучий ротовий апарат і потаємний спосіб життя («міни»), становили $3,8 \pm 0,86$ і $3,6 \pm 0,83$ % відповідно. Частка листків із наявністю плям, спричинених розвитком фітопатогенних грибів, становила $2,2 \pm 0,66$ %, а опіків, утворених під впливом техногенного забруднення, – $1,1 \pm 0,44$ %. Різниці між поширенням мін порівнюючи з поширенням уколів, галів і плям не є значущими ($P > 0,1$). Значущим є найменше поширення опіків ($z = 2,15$ – $4,67$).

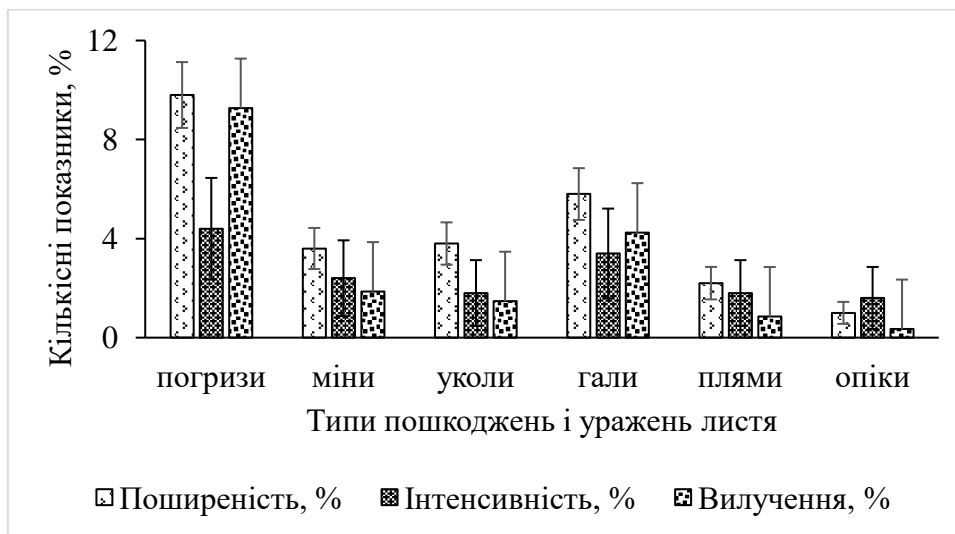


Рис. 7 – Кількісна оцінка пошкодження й ураження листя липи (за всіма обліковими пунктами)
Fig. 7 – Quantitative assessment of linden foliage damage (for all sample points)

Інтенсивність прояву окремих видів пошкоджень і уражень листків липи серцелистої загалом була невисокою, причому також перші місця посідали «погризи» та «гали», хоча різниці усереднених за пунктами обліку показників не є значущими ($z < 1,96$; $P > 0,1$). За однакової поширеності «мін» і «уколів» перші займали в середньому більшу частку площі листка. Показник вилучення, що враховує поширеність та інтенсивність пошкоджень, також має найбільше значення стосовно «погризів», а найменше – стосовно опіків (див. рис. 7).

Зважаючи на особливості екологічних умов у різних типах насаджень, було проаналізовано показники пошкодження й ураження листя липи у насадженнях, згрупованих умовно за рівнем впливу антропогенного навантаження (рис. 8–10).

Поширеність листків липи серцелистої з наявністю погризів, заподіяних комахами з гризучим ротовим апаратом, була найбільшою в лісових насадженнях і зменшувалася в ряді Ліс – Лісопарк – Парки – Двори (рис. 8).

Різниці за поширеністю листків із погризами є значущими для груп насаджень Ліс – Двори та Ліс – Вулиці ($z = 2,26$ і $2,54$ відповідно).

Міни було виявлено лише в насадженнях перших трьох типів. Різниці за поширеністю листків із мінами є значущими для груп насаджень Ліс – Двори, Ліс – Вулиці, Лісопарк – Двори, Лісопарк – Вулиці, Парки – Двори, Парки – Вулиці ($z = 2,02$ – $2,89$).

Поширеність уколів була найбільшою у дворових і вуличних насадженнях, дещо меншою – у парках і найменшою – у Лісопарку та лісових насадженнях. Різниці за поширеністю листків із уколами в різних групах насаджень не є значущими ($z < 1,96$). Поширеність галів була найбільшою в парках, дещо меншою – у Лісопарку та лісових насадженнях, а найменшою – у дворах і на вулицях. Різниці за поширеністю листків із уколами

є значущими лише для груп насаджень Ліс – Вулиці, Лісопарк – Вулиці, Парки – Вулиці та Парки – Двори ($z = 2,38-2,79$).

Плямистості листя, спричинені грибами, були більшою мірою поширені в лісових насадженнях, Лісопарку і парках, а найменшою – у дворах і на вулицях, але різниці не є значущими ($z < 1,96$). Опіки, спричинені забрудненням повітря, виявляли лише у вуличних насадженнях.

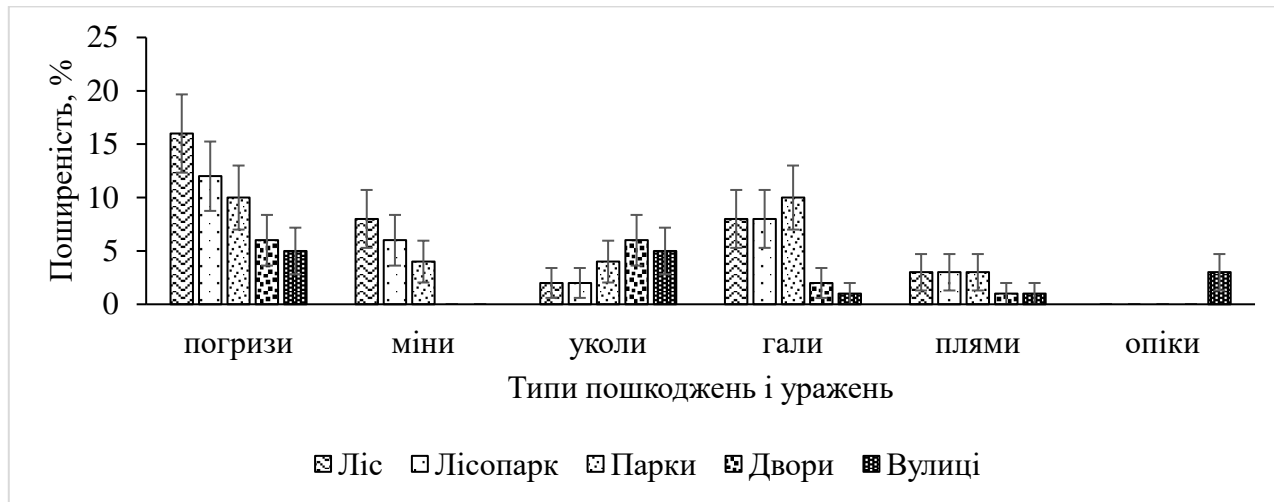


Рис. 8 – Поширеність окремих типів пошкодження й ураження листя липи в різних типах насаджень
Fig. 8 – Prevalence of linden foliage damage depending on plantings

Інтенсивність пошкодження листя липи серцелистої комахами з гризучим ротовим апаратом, як і поширеність, зменшувалася в ряді Ліс – Лісопарк – Парки – Двори (рис. 9).

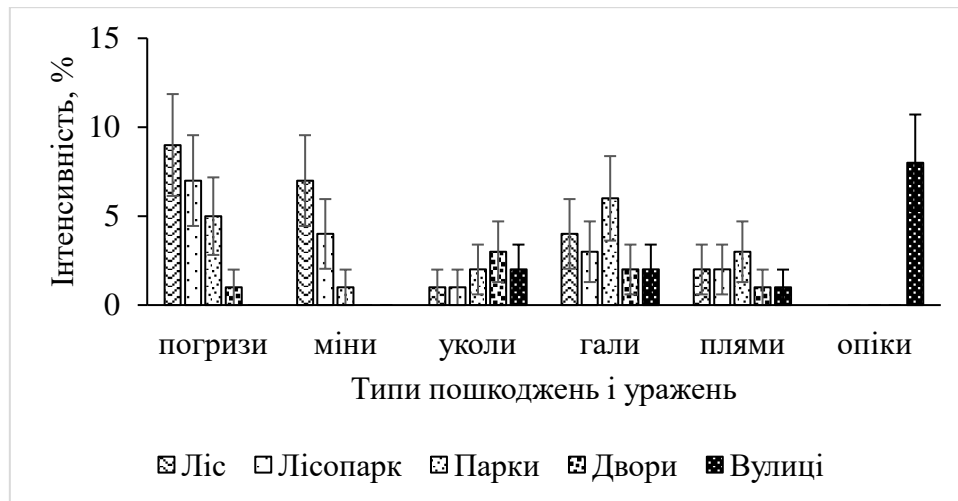


Рис. 9 – Інтенсивність пошкодження й ураження листя липи у різних типах насаджень
Fig. 9 – Severity of linden foliage damage depending on plantings

Статистично значущими є різниці за інтенсивністю поширення погрызів у лісі у порівнянні з вулицями та дворами ($z = 2,6$ і $3,1$ відповідно), у лісопарку у порівнянні з вулицями та дворами ($z = 2,7$ і $2,2$ відповідно), а також у парках у порівнянні з вулицями ($z = 2,3$). Інтенсивність пошкодження листя мінерами також була найбільшою в лісі. Статистично значущими є різниці за інтенсивністю поширення мін на листі між групами насаджень Ліс – Парки ($z = 2,2$), Ліс – Двори ($z = 2,7$), Ліс – Вулиці ($z = 2,7$), Лісопарк – Двори ($z = 2,0$) і Лісопарк – Вулиці ($z = 2,0$). Інтенсивність прояву діяльності комах із колючо-сисним ротовим апаратом («укули») була найвищою у дворових насадженнях, дещо меншою –

у парках і на вулицях і найменшою – у лісових насадженнях і Лісопарку. Інтенсивність пошкодження листя галоутворювачами була найвищою у парках, а найменшою – у дворах і вуличних насадженнях. Інтенсивність розвитку плям на листі була найбільшою в парках, меншою – в Лісопарку та лісових насадженнях і найменшою – у дворах і на вулицях. Водночас статистично значущі різниці за інтенсивністю прояву уколів, галів і плям в різних насадженнях не виявлено.

Найбільше вилучення листя липи серцелистої внаслідок пошкодження визначено в лісових насадженнях під впливом комах, що спричиняють «погризи», але воно становило лише 8,9 % (рис. 10).

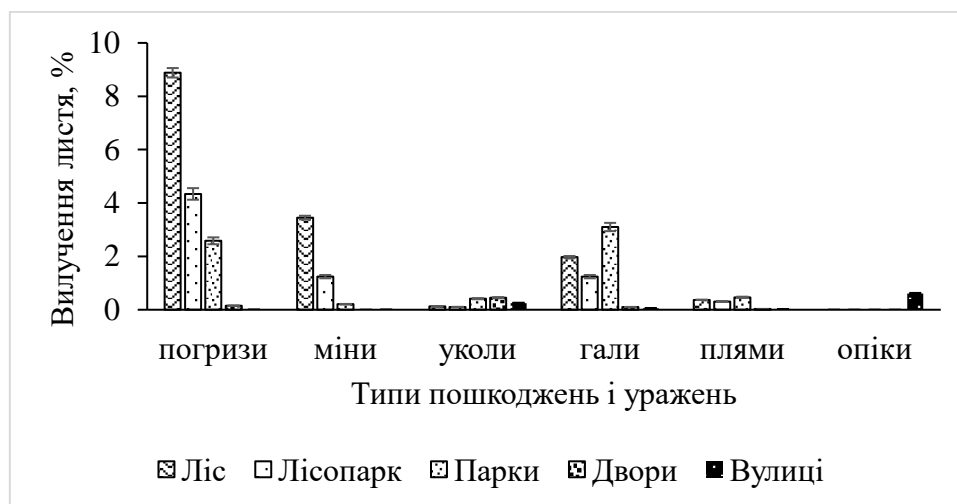


Рис. 10 – Вилучення листя липи залежно від типів пошкоджень, уражень і насаджень

Fig. 10 – Linden foliage removal depending on damage type and plantings

Майже вдвічі меншим було вилучення листя комахами цієї групи у Лісопарку, ще меншим – у парках. Найбільше вилучення листя внаслідок живлення комах-мінерів визначено у лісових насадженнях (3,45 %). Найбільше вилучення листя комахами, що спричиняють уколи, відзначено у дворах і парках (0,45 і 0,41 % відповідно), галоутворювачами – у парках (3,1 %), внаслідок розвитку плямистостей грибного походження – у парках. Опіки листя у вуличних насадженнях спричиняли вилучення 0,6 % листя.

Обговорення. Наші дослідження виявили на листі липи серцелистої два види кліщів, десять видів комах і два види грибів, які спричиняли пошкодження й ураження п'яти типів, за виглядом яких можливо було розпізнати, до якої групи належав чинник (тип ротового апарату, відкритий чи потаємний спосіб життя), а інколи – й видову належність. Інші дослідники визначали у насадженнях м. Харкова 34 види філофагів на липі (Kardash and Sokolova, 2020), оскільки здійснювали обліки у період живлення гусениць весняного комплексу, які заподіюють подібні типи пошкоджень листя. Дослідники відзначають, що видовий склад комах-листогризів є багатшим у лісопарку і втричі меншим – у вуличних насадженнях (Sokolova *et al.*, 2020). У м. Дніпро на листі липи виявлено 20 видів членистоногих із 12 родин 6 рядів (Zaitseva, 2018). Слід зауважити, що ми не визначали представників ряду Coleoptera, які пошкоджували листя липи під час додаткового живлення. Перелік із 33 видів цього ряду наведено у (Sokolova *et al.*, 2020).

У Львові визначено ураження листя липи дрібнолистої і широколистої (*Tilia platyphyllos* Scop.) такими самими видами грибів, як і в наших дослідженнях (Karpyun, 2016). Також відзначено наявність мінера *Stigmella tiliae* Frey, слимаків, клопів, хрущів, липового слизового пильщика (*Caliroa annulipes* Kl.) і ще декількох видів кліщів. У Словаччині на цих видах липи

визначено сім видів галових кліщів (Kollár, 2011). Визначеного нами кліща на липі у Харкові виявляли також у Фінляндії та країнах Центральної Європи (Vainio *et al.*, 2017).

У Львові визначено сильне пошкодження листя лип навесні золотогузом (*Euproctis chysorrhoea* L.) і п'ядуном зимовим навіть у вуличних насадженнях (Karpyn, 2016). У Харкові масові розмноження комах-листогризів зареєстровано у 2012–2016 рр. (Meshkova *et al.*, 2018). Наше дослідження проведено в роки, коли популяції комах-листогризів знаходилися в депресії після спалаху масового розмноження, але все одно в загальній вибірці зразків переважали пошкодження листків типу «погризи». При цьому поширеність листків липи серцелистої з наявністю погризів зменшувалася в ряді Ліс – Лісопарк – Парки – Двори – Вулиці від лісових до вуличних насаджень. Одержані дані збігаються з публікацією (Kardash, 2021), у якій відзначено також зменшення поширеності таких пошкоджень листя у міру збільшення інтенсивності руху транспорту. Подібні висновки стосовно зменшення поширення пошкоджень листя від Лісопарку до вулиць одержано також стосовно кленів (Kukina *et al.*, 2024). Під час досліджень, проведених у 2020 р. (Koliienkina, 2020), відзначено поширення опіків листя липи у вуличних насадженнях з інтенсивним рухом транспорту, що узгоджується і з нашими даними.

Серед мінерів листя липи ми визначили лише один вид – японську міль-строкатку, або липового мінера. Цей вид є інвазійним у багатьох регіонах, але в регіоні наших досліджень він поширений переважно на зволжених ділянках лісу, у Лісопарку, зрідка трапляється в окремих парках і практично відсутній на вулицях (Mikulina, 2011). На відміну від цих даних, у Львові липовий мінер заселяв листя лип у міських насадженнях (Karpyn, 2016), що можна пояснити вологішими умовами в тому регіоні, порівнюючи з Харковом. Поширеність липової попелиці у Польщі також збільшувалася в роки з великою кількістю весняних опадів (Maszkóś-Iwaszko and Lubiartz, 2014). Це пояснює порівняно низьку поширеність пошкоджень, спричинених цим видом у наших дослідженнях.

Порівняння складу комплексу комах-філофагів у листяних насадженнях м. Харків за 50 років виявило, що останнім часом кількість видів із напівпотаємним способом життя майже подвоїлася, а кількість видів із потаємним способом життя – потроїлася (Kardash, 2021a). Це пов'язане з тим, що такі комахи захищені від негативного впливу техногенних викидів і пилу.

У наших дослідженнях уколи листя, спричинені попелицями, були поширені найбільшою мірою у дворових і вуличних насадженнях. Поширеність галів була найбільшою в парках, зменшуючись як у лісових насадженнях, так і у дворах і на вулицях. Водночас статистично значущих різниць за інтенсивністю прояву зазначених пошкоджень у різних типах насаджень не виявлено.

Таким чином, липа серцелиста є порівняно стійкою до пошкодження листя кліщами, комахами та грибами, незважаючи на те, що з нею трофічно пов'язані багато видів цих організмів (Zaitseva, 2018; Sokolova *et al.*, 2020; Kardash, 2021b). Саме тому відмінності поширення й інтенсивності прояву дії цих організмів у різних екологічних умовах можуть бути використані для біоіндикації стану природного середовища.

Висновки. На листі липи серцелистої пошкодження й ураження спричиняють членистоногі («погризи», «міни», «уколи», «гали»), гриби («плями») та забруднювачі повітря («опіки»). Членистоногі (Arthropoda) презентовані двома видами класу Arachnida (павукоподібні) і 10 видами класу Insecta (комахи). Визначені види належать до 9 родів 7 родин 4 рядів. Серед них п'ять видів розвиваються лише на липі. Виявлені гриби спричиняють антракноз і церкоспороз

Пошкоджені листки становили в середньому $21,5 \pm 1,84$ % з переважанням «погризів» ($9,8 \pm 1,33$ %) і «галів» ($5,8 \pm 1,05$ %). Поширеність та інтенсивність прояву погризів зменшувалися в ряді Ліс – Лісопарк – Парки – Двори та Вулиці. Поширеність галів була найбільшою в парках. Міни виявлено лише в насадженнях перших трьох типів. Поширеність уколів була найбільшою у дворових і вуличних насадженнях. Плямистості листя, спричинені

грибами, більшою мірою поширені в лісових насадженнях, Лісопарку й парках. Опіки листя виявлено лише у вуличних насадженнях.

Найбільше вилучення листя липи серцелистої визначено в лісових насадженнях під впливом комах, що спричиняють погризи (8,9 %), та мінерів (3,45 %). Найбільше вилучення листя комахами, що спричиняють уколи, відзначено у дворах і парках (0,45 і 0,41 % відповідно), галоутворювачами – у парках (3,1 %). Найбільше вилучення листя внаслідок розвитку плямистостей грибного походження зареєстровано в парках (0,47 %), а від опіків листя – у вуличних насадженнях, 0,6 %.

Подяки. Автори висловлюють подяку анонімним рецензентам за цінні поради, корисні й конструктивні рекомендації та покращення тексту.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання теми досліджень УкрНДІЛГА (№ держреєстрації 0120U101891), замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Andrianjara, I., Cabassa, C., Lata, J.C., Hansart, A., Raynaud, X., Renard, M., ... and Planchais, S. (2024) 'Characterization of stress indicators in *Tilia cordata* Mill. as early and long-term stress markers for water availability and trace element contamination in urban environments', *Ecological Indicators*, 158, 111296. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2023.111296>
- Atramentova, L. O. and Utievska, O. M. (2007) *Group comparison and relations analysis: Biometrics*. Part II. Kharkiv: Ranok (in Ukrainian).
- Blake, E., Bennett, S. and Hruska, A. (2024) 'Insect herbivory on *Acer rubrum* varies across income and urbanization gradients in the D.C. metropolitan area', *Urban Ecosystems*, 27, pp. 2191–2200. <https://doi.org/10.1007/s11252-024-01584-4>
- Branco, M., Nunes, P., Roques, A., Fernandes, M.R., Orazio, C. and Jactel, H. (2019) 'Urban trees facilitate the establishment of non-native forest insects', *NeoBiota*, 52, pp. 25–46. <https://doi.org/10.3897/neobiota.52.36358>
- Ellis, W.N. (2024) *Plant parasites of Europe: leafminers, galls and fungi*. Available at: <https://bladmineerders.nl> (Accessed: 20 September 2024).
- Index Fungorum (2024). Available at: <https://www.indexfungorum.org> (Accessed: 20 September 2024).
- Kabicek, J. (2019) 'Linden trees are favourable host plants for Phytoseiid generalists in urban environments', *Baltic Forestry*, 25(1), pp. 32–37.
- Kardash, Ye.S. (2021a) 'Changes in the complex of phyllophagous insects in deciduous trees of Kharkiv city for 50 years', *Baltic Coastal Zone*, 24, pp. 27–39. Available at: <https://bcz.upsl.edu.pl/index.php/1/article/view/372> (Accessed: 20 September 2024).
- Kardash, Ye.S. (2021b). 'Features of trophic activity of phyllophages in green stands of Kharkiv', *The Kharkiv Entomological Society Gazette*, 29(1), pp. 77–84 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36016/KhESG-2021-29-1-7>
- Kardash, Ye.S. and Sokolova, I.M. (2020) 'The structure of phyllophagous insects' complexes in deciduous plantations in Kharkiv', *Biodiversity, Ecology and Experimental Biology*, 1, pp. 70–81 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2020.22.1.07>
- Karpyn, N.I. (2016) 'Phytopathogens and pests of species of the genus *Tilia* L. in the city of Lviv', *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(4), pp. 76–82 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260412>
- Karsholt, O. and Nieuwerkerken, E.J. van. (2024) *Lepidoptera, Moths*. Fauna Europaea version 2017.06. Available at: <https://fauna-eu.org> (Accessed: 20 February 2024).
- Khavaninzadeh, A.R., Veroustraete, F., Buytaert, J.A.N. and Samson, R. (2014) 'Leaf injury symptoms of *Tilia* sp. as an indicator of urban habitat quality', *Ecological indicators*, 41, pp. 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2014.01.014>
- Kollár, J. (2011) 'Gall-inducing arthropods associated with ornamental woody plants in a city park of Nitra (SW Slovakia)', *Acta Entomologica Serbica*, 16(1/2), pp. 115–126.
- Kolienkina, M.S. (2020) 'Condition of small-leaved lime (*Tilia cordata* Mill.) in urban stands of Kharkiv (according to the spring survey)', *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(5), pp. 25–30 (in Ukrainian).
- Kukina, O., Kardash, E. and Shvydenko, I. (2021). 'Expected harmfulness of gnawing phyllophagous insects in urban stands of Kharkiv city', *Folia Forestalia Polonica*, 63(4), pp. 267–275. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0027>
- Kukina, O., Shvydenko, I. and Kharchenko, L.P. (2024) 'Biotic factors affecting *Acer* L. foliage damage in urban ecosystems of Kharkiv', *Biodiversity, Ecology and Experimental Biology*, 26, 1 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.34142/2708-5848.2024.26.1.03>
- Langellotto, G. A. and Hall, D. (2020) 'Urban insects' in *Routledge Handbook of Urban Ecology*. Routledge, pp. 412–424.

- Mackoś-Iwaszko, E. and Lubiarz, M. (2014) 'Abundance dynamics of the Lime Aphid *Eucallipterus tiliae* (L., 1758) on the Small-Laved Lime (*Tilia cordata* Mill.) in the city of Lublin (South-Eastern Poland)' in Indykiewicz, P. and Böhner, J. (eds) *Urban Fauna. Animal, Man, and the City – Interactions and Relationships*. Bydgoszcz: Uniwersytet Technologiczno-Przyrodniczy w Bydgoszczy; ArtStudio, pp. 77–85.
- Meshkova, V.L., Baidyk, G.V., Berezhnenko, Zh.I. (2018) 'Dynamics of oak leaf damage by insects in forest belts of Kharkiv region', *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Phytopathology and Entomology"*, 1–2, pp. 92–100. Available at: <https://knau.kharkov.ua/vfn201815.html> (Accessed: 20 September 2024) (in Ukrainian).
- Mikulina, I.M. (2011) 'Seasonal development of lime leaf miner, *Phyllonorycter issikii* Kumata, 1963 (Lepidoptera: Gracillariidae) in the green stands of Kharkiv region', *The Kharkiv Entomological Society Gazette*, 19(1), pp. 57–61 (in Ukrainian).
- Oleksiychenko, N.O., Sovakova, M.O., Sovakov, O.V., Kitaev, O.I. and Slyusar, S.I. (2013) *Species of the genus Tilia L. in the plantations of Kyiv*. Kyiv: TSP KOMPRYNT (in Ukrainian).
- Radoglou, K., Dobrowolska, D., Spyroglou, G. and Nicolescu, V.N. (2008) 'A review on the ecology and silviculture of limes (*Tilia cordata* Mill., *Tilia platyphyllos* Scop. and *Tilia tomentosa* Moench.) in Europe' *Romania*, 15, 16. Available at: <http://www.valbro.uni-freiburg.de> (Accessed: 20 September 2024).
- Rahman, M.A., Moser, A., Rötzer, T. and Pauleit, S. (2017) 'Within canopy temperature differences and cooling ability of *Tilia cordata* trees grown in urban conditions', *Building and Environment*, 114, pp. 118–128. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.013>
- Sokolova, I.M., Shvydenko, I.M. and Kardash, E.S. (2020) 'The prevalence of gnawing phyllophagous insects in the deciduous stands of Kharkiv city', *Ukrainian Entomological Journal*, 1–2(18), pp. 67–79 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/282009>
- Vainio, E.J., Velmala, S.M., Salo, P., Huhtinen, S. and Müller, M.M. (2017) 'Defoliation of *Tilia cordata* trees associated with *Apiognomonina errabunda* infection in Finland', *Silva Fennica*, 51(4), 7749. <https://doi.org/10.14214/sf.7749>
- Zaitseva, I.A. (2018) 'Dendrobiont phyllophages of *Tilia* L. in Dnipro plantations: spring phenological group', *Issues of Bioindication and Ecology*, 23 (1), pp. 146–168 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.26661/2312-2056/2018-23/1-12>

PREVALENCE AND SEVERITY OF *TILIA CORDATA* MILL. FOLIAGE DAMAGE IN URBAN AND FOREST PLANTINGS OF KHARKIV REGION

Skrylnyk Y.Y.^{1*}, Kukina O.M.², Zinchenko O.V.³, Vlasenko N.O.⁴, Turenko V.P.⁵

On the leaves of *Tilia cordata* (Mill), "gnaws", "mines", "punctures", and "galls" caused by arthropods, as well as "spots" of fungal lesions and "burns" from air pollutants have been identified. Arthropods were represented by two species of the class Arachnida and 10 species of the class Insecta. These species belong to 9 genera, 7 families, 4 orders, and five species are monophages. Damaged leaves averaged 21.5 ± 1.84 %, with "gnaws" (9.8 ± 1.33 %) and "galls" (5.8 ± 1.05 %) prevailing. The prevalence and intensity of "gnaws" decreased in the following sequence: Forest – Forest Park – Parks – Courtyards and Streets. "Galls" were most prevalent in parks. "Mines" were found only in the first three types of plantings. "Punctures" were most prevalent in yard and street plantings, and "spots" – in forests, the Forest Park, and parks. "Burns" were found only in street plantings. The greatest loss of leaves in forest stands was caused by gnawing insects (8.9 %) and leaf miners (3.45 %). The greatest loss of leaves due to insects causing "punctures" was found in courtyards and parks (0.45 % and 0.41 %, respectively), while the greatest loss due to gall-forming insects occurred in parks (3.1 %). Leaf loss from fungal "spots" was also highest in parks (0.47 %), whereas leaf "burns" resulted in the most significant loss in street plantings (0.6 %).

Key words: anthropogenic load, types of plantings, phyllophagous insects, leaf spots, leaf burns.

Одержано редколегією 30.10.2024

¹ Skrylnyk Yuriy, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: yuriy.skrylnik@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8565-4860>

² Kukina Olga, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5902-8599>

³ Zinchenko Olga, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: zinchoy@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9800-8144>

⁴ Vlasenko Nataliia, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Poltava V.G. Korolenko National Pedagogical University, Ostrohradskoho Street 2, Poltava, 36000, Ukraine. E-mail: vlasnataliia@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-3811-6493>

⁵ Turenko Volodymyr, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Professor, State Biotechnological University, Alchevskykh Street 44, Kharkiv, 61000, Ukraine. E-mail: turenko065@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7432-6965>

* Correspondence: yuriy.skrylnik@gmail.com



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.134>

ПРОГНОЗУВАННЯ РОЗВИТКУ ЗБУДНИКІВ ХВОРОБ І ШКІДНИКІВ НА ПІДСТАВІ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН

В. М. Хрик^{1*}, О. С. Ситник², І. В. Кімейчук³, Т. П. Лозінська⁴, В. П. Масальський⁵

Досліджено проблему зменшення площі лісів унаслідок змін кліматичних умов, що призводить до низки взаємопов'язаних екологічних проблем. Виявлено, що останні кілька десятиліть характеризуються стрімким підвищенням температури та зниженням вологості повітря в багатьох регіонах світу, що дало поштовх до зміни поширення хвороботворних організмів та їхніх переносників. З'ясовано, що значно почастишали випадки появи нових інвазій. Проаналізовано основні тенденції поширення та розвитку патогенних організмів у нових для них географічних умовах. Виявлено закономірності, які дають можливість прогнозувати зміни у видовому складі патогенів, їхніх переносників та лісових екосистем загалом. Виявлено, що почастишали грибкові захворювання деревних рослин і випадки комбінованих бактеріально-вірусних інфекцій лісу в умовах зміни температурного режиму окремих територій. Проаналізовано видовий склад хвороботворних мікроорганізмів та їхніх господарів у змінених кліматичних умовах європейських країн, зокрема України. Зібрано інформацію про сучасні заходи щодо запобігання поширенню інфекцій лісу, про основні програми, які дають можливість локалізувати вплив патогенних організмів на лісові екосистеми.

Ключові слова: патогенні організми, лісові екосистеми, температурний режим, міжнародна співпраця.

Вступ. Однією з найболючіших проблем сьогодення є зменшення площі лісів. Цей процес відбувається на більшості територій планети (FAO, 2022). Причинами цього називають зміну кліматичних умов, антропогенну діяльність, циклічні метеорологічні явища тощо. Більшість учених схиляються до думки, що основною причиною зменшення площі лісів все ж є кліматичні зміни (Buksha, 2009; Jung, 2009; Buksha *et al.*, 2017; Shvydenko *et al.*, 2018; Tykhomuova and Sorkina, 2022). Зазначені зміни зумовлюються як циклічними явищами, так і діяльністю людини. Антропогенний вплив водночас підсилює дію природних чинників, які призводять до підвищення середньорічної температури повітря. Вплив різних видів господарювання полягає у виділенні понаднормової кількості парникових газів, що призводить до парникового ефекту і, відповідно, до загального підвищення середньорічної температури на планеті. Через зміну температури повітря у різних регіонах відбуваються істотні зміни в природних екосистемах. Вони передусім стосуються видового складу біоценозів. Зі зміною співвідношення абіотичних чинників змінюються також поширення та видовий склад шкідників і патогенних мікроорганізмів у ценозах (Meshkova, 2022). Найбільш помітним це є у лісових екосистемах, оскільки вони є полікомпонентними, тобто містять у складі кілька біоценозів, які характеризуються власним мікрокліматом. У зв'язку із впливом зазначених чинників підсилюються процеси інвазії патогенних організмів та їхніх переносників, що також становить істотну проблему, яку необхідно розв'язати (Delgado-Baquerizo *et al.*, 2020).

¹ Хрик Василь Михайлович, доктор педагогічних наук, професор, Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, Біла Церква, 09117, Київська область, Україна. E-mail: hvm2020@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>

² Ситник Олександр Сергійович, кандидат сільськогосподарських наук, Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, Біла Церква, 09117, Київська область, Україна. E-mail: sytnykoleksandr24@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2637-1849>

³ Кімейчук Іван Васильович, Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, Біла Церква, 09117, Київська область, Україна. E-mail: ivan.kimeichuk@btsau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>

⁴ Лозінська Тетяна Павлівна, кандидат сільськогосподарських наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, Біла Церква, 09117, Київська область, Україна. E-mail: lozinskata@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>

⁵ Масальський Владислав Петрович, кандидат біологічних наук, доцент, Білоцерківський національний аграрний університет, Соборна площа, 8/1, Біла Церква, 09117, Київська область, Україна. E-mail: vlad.masalskiy71@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8001-2631>

* Адреса для кореспонденції: hvm2020@ukr.net

Мета роботи – проаналізувати наявність і поширення деяких патогенних організмів у лісових екосистемах європейського континенту в умовах кліматичних змін.

Для досягнення зазначеної мети визначено такі основні завдання дослідження:

1. Проаналізувати літературні джерела, у яких розглянуто проблему поширення шкідливих організмів лісу під впливом метеорологічних чинників, що дасть змогу ширше зрозуміти проблему та стимулювати пошук її оптимального вирішення.

2. Виявити основні закономірності поширення шкідливих видів у лісі внаслідок підвищення температури повітря та зміни його вологості, що забезпечить вчених інформацією про видовий склад шкідливих організмів та їхню пристосованість до нових умов довкілля.

3. З'ясувати основні шляхи прогнозування впливу згаданих чинників на лісові екосистеми, що допоможе врегулювати проблему інвазій та контролювати можливі спалахи шкідливих організмів у лісових екосистемах.

Матеріали й методи. Під час дослідження використовували методи узагальнення та систематизації інформації, отриманої з літературних джерел. Загалом проаналізовано 130 джерел, серед яких 48 використано для написання огляду.

Результати. Лісистість України становить 16,5 %, що є нижчим за середній показник для країн Європи. За площею лісів Україна посідає восьме місце в Європі (State Forest Resources Agency of Ukraine, 2024). Площа лісів у нашій країні швидко зменшується під впливом природних і антропогенних чинників. На знелісених ділянках змінюється мезоклімат, що впливає на клімат навколишньої території.

За останні 30 років середня літня температура повітря в Україні підвищилася на 1,3 °С, середня зимова – на 0,9 °С, середня весняна – на 0,9 °С, а середня осіння – на 0,4 °С (Reshetchenko *et al.*, 2022). Найбільшою мірою середня температура повітря збільшилась у січні (на 2,3 °С) та липні (на 1,4 °С). Влітку підвищилася максимальна температура, тобто стало спекотніше, а взимку – тепліше (Palamarchuk *et al.*, 2010; Orlovsky *et al.*, 2017; Reshetchenko *et al.*, 2022).

У міру підвищення середньої глобальної температури екстремально високі температури стануть частішими, а екстремально низькі – рідшими. Хвилі тепла будуть тривалішими та частішими. Як наслідок, посиляться посухи, зміниться водність річок та озер, з'являться нехарактерні для регіону екстремальні погодні явища (Singh *et al.*, 2023).

Така ж ситуація наявна і в країнах Європи. Влітку 2022 р. великі хвилі тепла охопили частини Центральної, Південної та Західної Європи, спричинивши лісові пожежі, евакуацію людей і численні смертельні випадки (*Climate change explained*, 2023).

Клімат завжди формував ліси світу (Bhatti *et al.*, 2008), але наразі він став теплішим повсюдно й надалі буде змінюватися з безпрецедентною швидкістю. Протягом наступних двох десятиліть за різними сценаріями прогнозується підвищення температури повітря, приблизно на 0–2 °С за десятиліття. Оскільки реакції на збагачення CO₂ можуть варіювати залежно від виду рослин і регіону, слід очікувати широкий спектр реакцій на підвищення рівня CO₂ в атмосфері в усьому світі (Kurz *et al.*, 2008).

Підвищення температури повітря та зміна кількості опадів мають найбільший негативний вплив, що призводить до змін термінів і тривалості вегетаційного періоду й видового складу лісових екосистем. Важливим чинником, що впливає на погодні умови вегетаційного періоду, є розподіл кількості опадів. Останніми роками відбувається значне збільшення кількості опадів у осінньо-зимовий період. У майбутньому така тенденція може призвести до значного зменшення кількості опадів у весняно-літній період та незначного збільшення на початку вегетаційного періоду (*Climate change explained*, 2023).

За даними наукових досліджень, оптимальна температура для фотосинтезу в листяних і хвойних екосистемах становить 17,5 і 16,0 °С відповідно. Опади впливають на інтенсивність фотосинтезу тільки при низьких значеннях (менше ніж 60 мм), тому зміни кліматичних параметрів на початку вегетаційного періоду можуть сприятливо впливати на фотосинтез у насадженнях (Buksha *et al.*, 2017; Budnik *et al.*, 2023).

Також варто зазначити, що зменшення кількості опадів у серпні та вересні може бути згубним для фотосинтезу та розвитку фотосинтетично активної флори. Підвищення температури може також призвести до поширення хвороб у лісових екосистемах (Budnik *et al.*, 2023).

Основною причиною інфекційних захворювань дерев є патогенні організми. Серед збудників хвороб та шкідників рослин налічується понад 600 вірусів та віроїдів, близько 250 видів мікоплазм, бактерій, включаючи рикетсії та актиноміцети, понад 20 тисяч видів грибів і кілька тисяч видів комах. Приблизно 2 % усіх відомих захворювань рослин спричинюють бактерії. Збудниками бактеріозів рослин є різні групи бактерій, які поширені в природі (Shalovylo *et al.*, 2011). Зокрема в Україні *Pseudomonas quercus* Li *et al.* спричинює рак дуба (Orlovsky *et al.*, 2017; Tsvigun *et al.*, 2022). Серед вірусів, що уражують рослини лісових екосистем, відзначають карлавірус, іларвірус тощо. Карлавіруси часто приховано уражують рослини, такі як дикий хміль, ліщина та береза. Зазвичай карлавіруси уражують деревні рослини разом з іларвірусом, ізометричним патогеном розміром близько 32 нм, який поширюється на плодово-ягідних культурах. Отже, лісові екосистеми все частіше зазнають значних уражень складними змішаними інфекціями, що спричиняють епіфітотії бактеріальної та вірусної природи. При цьому вплив клімату на поширення хвороб здійснюється через дію на комах-переносників (Tsvygun *et al.*, 2022).

У разі зміни кліматичних умов на вологіші та тепліші більшого поширення здобудуть ураження листя, наприклад, іржа (збудниками є такі гриби, як *Gymnosporangium tremelloides* Hartig., *Puccinia recondita* Rob. ex Desm f. sp. *tritici* та інші). Згідно з довготерміновими прогнозами, зміни метеочинників призведуть також до інтенсифікації поширення видів фітофтори. Одним із найчисленніших видів фітофтори наразі є ґрунтова *Phytophthora cinnamomi* Rands, яка має найбільший патогенний вплив на лісові рослини. Цей збудник присутній в районах з помірним і субтропічним кліматом, він викликає захворювання більш ніж у 1 000 видів рослин (Jung, 2009). Зараження *P. cinnamomi* та деякими іншими спорідненими видами спричинює кореневу гниль та часто призводить до загибелі рослин. Зміни кліматичних умов за останні 60 років, тобто збільшення середньої зимової температури, зміщення сезонності опадів та підвищення їхньої інтенсивності, призвели до посилення інфікування рослин декількома видами фітофтори в країнах Центральної Європи (Jung, 2009).

Передбачається, що підвищення температури призведе до збільшення потенційного діапазону експансії *P. cinnamomi* вздовж західного узбережжя Європи від однієї до кількох сотень кілометрів на схід від Атлантичного узбережжя протягом одного століття. За прогнозами протягом кількох наступних десятиліть очікується збільшення поширення захворювання дерев на кореневу гниль у помірних широтах північної і південної півкулі та зниження темпів захворюваності рослин у тропіках і субтропіках (Frankel *et al.*, 2011). Така тенденція зберігається і на цей час (Serrano *et al.*, 2022).

У помірних широтах швидко поширюється така хвороба деревних рослин, як дотістромоз, яку викликають гриби-збудники *Dothistroma septosporum* (Dorogin) M. Morelet і *Dothistroma pini* Hulbary. Інтенсифікація поширення цього грибного захворювання може бути пов'язана як із потеплінням та зміною умов вологості, так і з інтенсивним господарюванням у східних і південних регіонах України (Buksha, 2009; Meshkova *et al.*, 2014).

Відомо також, що все більшого поширення у світі набувають збудники хвороб деревних рослин, на які зміни клімату впливають опосередковано. Відбувається зараження основного здорового живителя, де патоген перебуває в латентному стані до впливу стресового чинника. Наприклад, під впливом високих температур і посухи набуває поширення коренева гниль, яку спричинюють гриби *Armillaria* sp. (Lech *et al.*, 2023). За таких погодних умов цей тип кореневої гнилі поширюється дуже швидко, уражуючи ліс на великій площі. Здебільшого в Європі потерпають хвойні ліси, а в Україні це захворювання можна побачити і в листяних лісах (Ustskyi *et al.*, 2024). Отже, зазвичай спалахи цієї інфекції виникають за зниження імунітету рослин певного ценозу під дією як абіотичних, так і біотичних стресорів.

Кліматичні зміни та антропогенна діяльність створюють передумови для зменшення біорізноманіття лісових екосистем, що водночас сприяє посиленню впливу так званих чужоземних (адвентивних) видів, тобто видів організмів, які не є властивими певній місцевості, але поширилися за межі природних ареалів унаслідок діяльності людини (Meshkova, 2022a; 2022b). Комплекси видів природних екосистем є результатом тривалої адаптації до дії екологічних чинників. Чим вищим є біорізноманіття, тим стійкішими є екосистеми до проникнення нових видів. Одним із негативних наслідків вторгнення адвентивних видів у нові регіони є пряма конкуренція з місцевими видами, зокрема за поживні ресурси (Tokarieva *et al.*, 2022). Адвентивні види можуть переносити патогени чи паразитів під час свого переміщення до нових регіонів або самі бути патогенами чи паразитами. Якщо місцеві види виявляються сприйнятливими до нових патогенів або паразитів, виникає загроза епіфітотії (Shvydenko *et al.*, 2018; Velasquez *et al.*, 2018).

Як уже зазначалося, останнім часом у лісових екосистемах ослаблення дерев спричиняють як патогени, так і шкідники, зокрема комахи. В Україні серед адвентивних видів лісових комах переважають мінери, роль яких стає значнішою, як порівняти з хвоєлистогризами (Meshkova *et al.*, 2014; Lahlali *et al.*, 2024). Це зумовлено їхньою адаптацією до високого рівня техногенного забруднення, дефіциту вологи, дії інсектицидів, а також здатністю давати кілька поколінь на рік.

Серед інвазійних молей-мінерів (*Lepidoptera: Gracillariidae*) листя гіркокаштану звичайного (*Aesculus hippocastanum* L.: Hippocastanaceae) пошкоджує каштановий мінер (*Cameraria ohridella* Deschka et Dimić, 1986), липи дрібнолистої (*Tilia cordata* Mill.: Tiliaceae) – японська липова міль-строкатка (*Phyllonorycter issikii* Kumata, 1963), білої акації (*Robinia pseudoacacia* L.: Fabaceae) – білоакацієва міль-строкатка (*Parectopa robinella* Clemens, 1863) та білоакацієвий мінер (*Macrosaccus robinella* Clemens, 1859), платана східного (*Platanus orientalis* L.: Platanaceae) – платанова міль-строкатка (*Phyllonorycter platani* Meschkow) (Antyukhova and Meshkova, 2011; Meshkova *et al.*, 2014).

До другої групи комах, які успішно поширюються, входять види із сисним ротовим апаратом, зокрема клопи й попелиці. Серед видів, присутність яких доведено в насадженнях сосни (*Pinus* sp.) у різних областях України, є насінний клоп-крайовик *Leptoglossus occidentalis* Heidemann.

Одним з найбільш поширених інвазійних видів комах-шкідників є білий американський метелик *Hyrphantria cunea* (Drury, 1773). На території України цей вид поширений переважно в південних областях, але з потеплінням клімату очікується збільшення його чисельності також на півночі країни (Matsiakh and Kramarets, 2020). Прогнозують збільшення інтенсивності поширення цього виду у східній та південній Європі (Nie *et al.*, 2023) через зміни природних умов.

Останніми роками значну небезпеку становить подальше поширення та збільшення чисельності низки комах: *Aproceros leucopoda* Takeuchi, 1939, *Corythucha arcuata* (Say, 1832), *Metcalfa pruinosa* (Say, 1830). Клоп дубовий мереживний *Corythucha arcuata* в останні кілька десятиліть суттєво поширився в південній Європі (зокрема в Італії), а в Україні він уражує деревостани південних областей (наприклад Херсонщини). У разі подальшого потепління клімату є загроза його поширення в північніші регіони. Цикадка біла *Metcalfa pruinosa* також поширюється північніше, ніж у попередні роки. В Україні її основні осередки виявлено на Одещині та Закарпатті, у Європейських країнах – в Італії, Іспанії. Очікують подальшої експансії цього виду (Matsiakh and Kramarets, 2020). Ясенова смарагдова вузькотіла златка *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) проникла в Україну у 2019 р. і вже поширилася від Луганської до Харківської й Київської областей. Прогнозовано подальше поширення цього шкідника у зв'язку з кліматичними чинниками (Meshkova *et al.*, 2023), лісорослинними умовами, складом і структурою насаджень (Meshkova *et al.*, 2024).

Серед нових хвороб лісових порід найбільшу увагу вчених і практиків Європи привертає відмирання ясена (*Fraxinus* sp.) (Kowalski, 2007). Наразі встановлено, що причиною всихання

Fraxinus excelsior в Європі є поширення патогенного гриба *Hymenoscyphus fraxineus* (T. Kowalski) Baral, Queloz & Hosoya 2014. Основні симптоми хвороби включають поступове відмирання крон, некротичні плями на корі пагонів, знебарвлення деревини та листя, некрози листя, передчасне опадання листя та некрози стовбура (Davuydenko and Meshkova, 2017). Інше захворювання ясена звичайного (туберкульоз) спричиняють фітопатогенні бактерії (*Pseudomonas syringae* pv. *savastanoi* (Smith 1908) Young *et al.*, 1978) (Hordiienko *et al.*, 1996; Kirisits *et al.*, 2010; Goychuk *et al.*, 2021).

Обговорення. В останні десятиліття найбільшого поширення в країнах європейського континенту набувають захворювання лісових рослин, спричинені грибами, а також комплексні бактеріально-вірусні інфекції. Це відбувається через зміну температурних умов та вологості середовищ існування, а також унаслідок поширення переносників таких хвороб на більші відстані та завоювання ними нових ареалів.

Унаслідок впливу інфекцій нового типу ослаблення лісових екосистем набуває глобального масштабу, тому необхідно розширювати дію європейських програм запобігання поширенню хвороб рослин та створювати нові, які б узгоджувались із законодавством всіх країн-учасниць (Bulman *et al.*, 2016; Macpherson *et al.*, 2018; Kleczkowski *et al.*, 2019; Roberts *et al.*, 2020; Riseh *et al.*, 2024).

Подібні програми рекомендують кілька етапів менеджменту: моніторинг, прогнозування, планування та розроблення стратегій. Зазвичай, обираючи стратегію, збирають інформацію про географічну зону, де знаходяться ці ліси, стан наукової галузі та наявність професіоналів, які мають необхідні знання та володіють інструментами для використання, фінансові та людські можливості тощо. Також визначають місця розведення та висаджування дерев, стійких до нових для регіону інфекцій.

Моніторинг є однією з найважливіших частин згаданих програм, оскільки він дає змогу зібрати максимум інформації про стан лісових екосистем, економічні та людські ресурси тощо. Надійність даних моніторингу буде максимальною, якщо систематичні обстеження стану дерев, смертності та росту, як дистанційні, так і наземні, проводитимуть кваліфіковані працівники, бажано на рівні ділянки, вододілу та ландшафту, із регулярними інтервалами. Для виявлення тенденцій росту та стану окремих видів дерев, у поширенні збудників хвороб та інших шкідливих організмів можливо використовувати ділянки інвентаризації лісів. Ефективність заходів з управління лісами може бути підвищено також із урахуванням поширення пожеж (Beukema *et al.*, 2007).

Застосування моделей викликає певні труднощі, серед яких: часто високий ступінь невизначеності вхідних даних (наприклад дані щодо поширення хвороб у лісі); нелінійні взаємозв'язки між кліматичними змінними та епідеміологічними реакціями (може бути недостатньо даних для чітких прогнозів); часте ігнорування потенціалу генетичної адаптації як рослин, так і патогенів (Frankel *et al.*, 2011).

В Україні подібні програми також існують. Вони є державними та такими, які розробляють у співробітництві з Європейськими країнами (наприклад, проєкт Forest Recovery, програма «Масштабне заліснення України», Система лісопатологічного моніторингу тощо) (Tukhomyrova and Sorkina, 2022; Utskyi *et al.*, 2024).

Як уже зазначено вище, потепління клімату змінить оптимальні екологічні показники для лісових екосистем. Так, збільшення літніх екстремальних температур несе загрозу зникнення окремих видів та появи нових (зокрема інвазійних) видів, що вплине на видовий склад та площу лісів. Ареали деяких порід будуть змінені через переміщення меж природних зон, у деяких випадках окремі продуктивні види повністю зникнуть. Зміняться режими, типи, інтенсивність і частота впливу на ліс різних негативних чинників – комах, збудників хвороб, пожеж, відбудуться зміни в балансі поживних елементів. Є ймовірність зміни репродуктивних циклів лісових порід, динаміки сукцесій. І найголовніше, відбудуться зміни екологічних і соціальних функцій лісів, зменшиться біорізноманіття, особливо стенотопних видів (Buksha *et al.*, 2017). Збільшення зимових температур може спричинити пом'якшення клімату

і розширення ареалу існування певних видів шкідників. Зміна режиму, інтенсивності та частоти опадів також є негативним чинником впливу на лісові екосистеми, що спричиняє погіршення санітарного стану лісів, послаблення та масове всихання деревостанів і підвищення пожежної небезпеки (Buksha *et al.*, 2017; Burdon and Zhan, 2020).

Унаслідок зміни метеоумов певних територій можливе також доволі швидке оновлення видового біорізноманіття в окремих регіонах через загибель одних видів та додавання інших, для яких нові умови будуть комфортними. Це також не може не відбитися на видовому складі шкідливих організмів і на веденні лісового господарства (Hossain *et al.*, 2019). Як зазначено вище, через зміну температурних умов та вологості повітря все більшої ваги набуває проблема інвазій. Інвазійні шкідливі організми загрожують здатності лісів у всьому світі надавати цінні екосистемні послуги (Soloviy and Kuleshnyk, 2008). Проте здатність виявляти такі інвазії патогенів – і, відповідно, розробляти своєчасні заходи з контролю інфекцій є доволі низькою. Серед варіантів систем управління, які могли би підвищити стійкість лісу до патогенів, є: збільшення різноманіття видів дерев. Для вирішення кризових питань, пов'язаних із розвитком інфекційних захворювань на тлі змін температурного режиму, та запобігання таким змінам необхідно створювати та розвивати міжнародне співробітництво в галузі ведення лісового господарства та спостереження за якістю лісових екосистем (Dobson *et al.*, 2020; Pfenning-Butterworth and Buckley, 2024).

Висновки.

1. Підвищення температури повітря суттєвим чином впливає на поширення шкідливих організмів.

2. Оскільки шкідливі організми зазвичай мають широкий спектр адаптаційних можливостей, порівнюючи, наприклад, з деревними рослинами, то їхній вплив на рослину-живителя істотно збільшиться через зміни кліматичних умов для лісів, де ростуть довговічні види.

3. Зміни температурних умов і вологості середовища будуть сприятливими для поширення чужоземних організмів та їхніх переносників.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в рамках науково-дослідного плану «Комплексне дослідження вікових деревостанів та дерев» (0124U003613).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Beukema, S.J., Robinson, D.C.E. and Greig, L.A. (2007) 'Forests, insects and pathogens and climate change' in *Workshop Report*. Prineville, OR, USA: WesternWildlands Environmental Threat assessment Center, 60(1), pp. 133–149. <https://doi.org/10.13140/2.1.4058.4961>
- Bhatti, J.S., Lal, R., Apps, M.J. and Price, M.A. (2008) 'Climate change and managed ecosystems', *Agricultural Systems*, 98(1), pp. 62–63. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2007.10.003>
- Budnik, Z.M., Hrytsiuk, V.V., Kondratiuk, N.V., Pysarenko, V.O. and Tsipan, Yu.R. (2023) 'Influence of climate factors on the forest ecosystems of the Rivne region', *Bulletin National University of Water and Environmental Engineering*, 102, pp. 18–30 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.31713/vs220232>
- Buksha, I. (2009) 'Climate change and forestry of Ukraine', *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 7, pp. 11–17. Available at: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/482> (Accessed: 12 September 2024) (in Russian).
- Buksha, I.F., Shvidenko, A.Z., Bondaruk, M.A., Tselyshev, O.G., Pyvovar, T.S., Buksha, M.I., Pasternak, V.P. and Krakovska, S.V. (2017) 'Methodology of modelling of the impact of climate change on forest phytocenoses in Ukraine', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 266, pp. 26–38. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/nvnau_lis_2017_266_5 (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Bulman, L.S., Bradshaw, R.E., Fraser, S., Martín-García, J., Barnes, I., Musolin, D.L., La Porta, N., Woods, A.J., Diez, J.J., Koltay, A., Drenkhan, R., Ahumada, R., Poljakovic-Pajnik, L., Queloz, V., Piškur, B., Doğmuş-Lehtijärvi, H.T., Chira, D., Tomešová-Haataja, V., Georgieva, M., Jankovský, L., Anselmi, N., Markovskaja, S., Papazova-Anakieva, I., Sotirovski, K., Lazarević, J., Adamčíková, K., Boroń, P., Bragança, H., Vettraino, A.M., Selikhovkin, A.V., Bulgakov, T.S. and Tubby, K. (2016) 'A worldwide perspective on the management and control of Dothistroma needle blight', *Forest Pathology*, 46, pp. 472–488. <https://doi.org/10.1111/efp.12305>
- Burdon, J.J. and Zhan, J. (2020) Climate change and disease in plant communities. *PLoS Biology*, 18(11), e3000949. <https://doi.org/10.1371/journal.pbio.3000949>

- Climate change explained* (2023). Bulletin of Department for Energy Security and Net Zero 20 June 2023. Available at: <https://www.gov.uk/guidance/climate-change-explained> (Accessed: 12 September 2024).
- Davydenko, K. and Meshkova, V. (2017) The current situation concerning severity and causes of ash dieback in Ukraine caused by *Hymenoscyphus fraxineus*/ R. Vasaitis & R. Enderle (eds), *Dieback of European Ash (Fraxinus spp.): Consequences and Guidelines for Sustainable Management*. Uppsala. 220–227. ISBN (print version) 978-91-576-8696-1
- Delgado-Baquerizo, M., Guerra, C.A., Cano-Díaz, C., Egidi, E., Wang, J.-T., Eisenhauer, N., Singh, B. K. and Maestre, F.T. (2020) ‘The proportion of soil-borne pathogens increases with warming at the global scale’, *Nature Climate Change*, 10, pp. 550–554. <https://doi.org/10.1038/s41558-020-0759-3>
- Dobson, A.P., Pimm, S.L., Hannah, L., Kaufman, L., Ahumada, J.A., Ando, A.W., Bernstein, A., Busch, J., Daszak, P., Engelmann, J., Kinnaird, M.F., Li, B.V., Loch-Temzelides, T., Lovejoy, T., Nowak, K., Roehrdanz, P.R. and Vale, M.M. (2020) ‘Ecology and economics for pandemic prevention’, *Science*, 369(6502), pp. 379–81. <https://doi.org/10.1126/science.abc3189>
- FAO (2022) *The State of the World’s forests*. Available at: <https://openknowledge.fao.org/server/api/core/bitstreams/8f599970-661d-45f5-a598-2ea46ca1605f/content/src/html/deforestation-land-degradation.html> (Accessed: 12 September 2024).
- Frankel, S.J., Brown, A.V., Hennon, P.E., Kliejunas, J.T., Lewis, K.J., Worrall, J.J., Woods, A.J. and Sturrock, R.N. (2011) ‘Climate change and forest diseases’, *Plant Pathology*, 60, pp. 133–149. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3059.2010.02406.x>
- Goychuk, A., Kulbanska, I. and Shvets, M. (2021). ‘Tuberculosis pathology of *Fraxinus excelsior* L. in Ukraine: symptomatology, etiology, pathogenesis’, *Scientific Horizons*, 24(5), pp. 69–80, [https://doi.org/10.48077/scihor.24\(5\).2021.69-80](https://doi.org/10.48077/scihor.24(5).2021.69-80)
- Hordiienko, M.I., Goichuk, A.F., Hordiienko, N.M. and Leontiak, H.P. (1996). *Ash Trees in Ukraine*. Kyiv: Silhosposvita (in Ukrainian).
- Hossain, M., Veneklaas, E. J., Hardy, G. and Poot, P. (2019) ‘Tree host – pathogen interactions as influenced by drought timing: linking physiological performance, biochemical defence and disease severity’, *Tree Physiology*, 39, pp. 6–18. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpy113>
- Jung, T. (2009) ‘Beech decline in Central Europe driven by the interaction between *Phytophthora* infections and climatic extremes’, *Forest Pathology*, 39, pp. 73–94. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2008.00566.x>
- Kirisits, T., Matlakova, M., Mottinger-Kroupa, S., Halmschlager, E. and Lakatos, F. (2010) ‘*Chalara fraxinea* associated with dieback of narrow-leafed ash (*Fraxinus angustifolia*)’, *Plant Pathology*, 59, pp. 4–11.
- Kleczkowski, A., Hoyle, A. and McMenemy, P. (2019) ‘One model to rule them all? Modelling approaches across OneHealth for human, animal and plant epidemics’, *Philosophical Transactions of the Royal Society*, 374(20), pp. 180–225. <https://doi.org/10.1098/rstb.2018.0255>
- Kowalski, T. (2007) ‘*Chalara fraxinea* – a newly described species of fungus on dying ash trees in Poland’, *Sylwan*, 151, pp. 44–48 (in Polish).
- Kurz, W.A., Dymond, C.C., Stinson, G., Rampley, G.J., Neilson, E.T., Carroll, A.L., Ebata, T. and Safranyik, L. (2008) ‘Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change’, *Nature*, 452, pp. 87–90. Available at: <https://www.nature.com/articles/nature06777> (Accessed: 12 September 2024)
- Lahlali, R., Taoussi, M., Laasli, S.-E., Gachara, G., Ezzouggar, R., Belabess, Z., Aberkani, K., Assouguem, A., Meddich, A., El Jarroudi, M. and Barka, E.A. (2024) ‘Effects of climate change on plant pathogens and host-pathogen interactions’, *Crop and Environment*, 3(3), pp. 159–170. <https://doi.org/10.1016/j.crope.2024.05.003>
- Lech, P., Mychayliv, O., Hildebrand, R. and Orman, O. (2023). ‘Weather conditions drive the damage area caused by *Armillaria* root disease in coniferous forests across Poland’, *The Plant Pathology Journal*, 39(6), pp. 548–565. <https://doi.org/10.5423/PPJ.OA.07.2023.0098>
- Macpherson, M.F., Kleczkowski, A., Healey, J.R. and Hanley, N. (2018) ‘The effects of disease on optimal forest rotation: a generalisable analytical framework’, *Environment and Resource Economy*, 70, pp. 565–588. <https://doi.org/10.1007/s10640-016-0077-4>
- Matsiakh, I. and Kramarets, V. (2020) ‘Invasions of phyllophage insects into the territory of Ukraine’, *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, pp. 11 – 23.
- Meshkova, V. (2022a). ‘Alien phytophagous insects in forest and urban stands of Ukraine’, *Bucovina Forestieră*, 22(1), pp. 29-40. <https://doi.org/10.4316/bf.2022.004>
- Meshkova, V. (2022b) ‘Who, where, when, and how damages forest – challenges for prediction and control’, *Environmental Sciences Proceedings*, 22, 71. <https://doi.org/10.3390/IECF2022-13044>
- Meshkova, V., Borysenko, O., Kucheryavenko, T., Skrylnyk, Y., Davydenko, K. and Holusa, J. (2023) ‘Potential Westward Spread of Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae) from Eastern Ukraine’, *Forests*, 14, 736. <https://doi.org/10.3390/f14040736>
- Meshkova, V., Borysenko, O., Kucheryavenko, T., Vysotska, N., Skrylnyk, Y., Davydenko, K. and Holusa, J. (2024) ‘Forest Site and Stand Structure Affecting the Distribution of Emerald Ash Borer, *Agrilus planipennis* Fairmaire, 1888 (Coleoptera: Buprestidae), in Eastern Ukraine’, *Forests*, 15, 511. <https://doi.org/10.3390/f15030511>

- Meshkova, V.L., Turenko, V.P. and Bajdyk, G.V. (2014) Adventive injurious organisms in Ukrainian forests, *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series "Phytopathology and Entomology"*, 3, pp. 1–2. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Vkhnau_ento_2014_1-2_18 (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Nie, P., Yang, R., Cao, R., Hu, X. and Feng, J. (2023) ‘Niche and range shifts of the fall webworm (*Hyphantria cunea* Dury) in Europe imply its huge invasion potential in the future’, *Insects*, 14(4), 316. <https://doi.org/10.3390/insects14040316>
- Orlovsky, A.V., Boyko, A.A., Sus, N.P. and Tsvigun, V.O. (2017) ‘Bacterial and viral disease foci of tree plants in forest biocenoses’, *Agroecological Journal*, 4, pp. 114–117 (in Ukrainian).
- Palamarchuk, L.V., Gnatyuk, N.V., Krakowska, S.V., Shedemenko, I.P. and Diukel, G.O. (2010) ‘Seasonal climate changes in Ukraine in the 21st century’, *Scientific works of UkrNDGMI*, 59, pp. 104–120. Available at: <http://dspace.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/58536/07-Palamarchuk.pdf> (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Pfenning-Butterworth, A. and Buckley, L.B. (2024) ‘Interconnecting global threats: climate change, biodiversity loss, and infectious diseases’, *Lancet Planet Health*, 8(4), pp. 270–283. [https://doi.org/10.1016/S2542-5196\(24\)00021-4](https://doi.org/10.1016/S2542-5196(24)00021-4)
- Reshetchenko, S., Boryskina, Y. and Hrekova, Y. (2022) ‘Distribution of air temperature in the territory of Ukraine against the background of current climate changes’, *Problems of Continuous Geographic Education and Cartography*, (35), pp. 25–31 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.26565/2075-1893-2022-35-03>
- Riseh, S.R., Fathi, F., Lagzian, A., Vatankhah, M. and Kennedy, J.F. (2024) ‘Modifying lignin: A promising strategy for plant disease control’, *International Journal of Biological Macromolecules*, 271, pp. 132–696. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2024.132696>
- Roberts, M., Gilligan, C.A., Kleczkowski, A., Hanley, N., Whalley, A.E. and Healey, J.R. (2020) The effect of forest management options on forest resilience to pathogens, *Frontiers for Global Change*, 3, 7. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2020.00007>
- Serrano, M., Romero, M., Homet, P. and Gómez-Aparicio, L. (2022) ‘Climate change impact on the population dynamics of exotic pathogens: The case of the worldwide pathogen *Phytophthora cinnamomi*’, *Agricultural and Forest Meteorology*, 322, 109002. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2022.109002>
- Shalovylo, Yu.I., Kovaleva, V.A. and Gou, R.T. (2011) ‘Types of bacterial diseases of conifers’, *Scientific Bulletin of UNFU*, 21(13), pp. 68–71 (in Ukrainian).
- Shvidenko, A.Z., Buksha, I.F. and Krakowska, S.V. (2018) *Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change*. Kyiv: Nika Center, Available at: https://www.researchgate.net/publication/327558601_Vulnerability_of_Ukraines_forests_to_climate_change (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Singh, B.K., Delgado-Baquerizo, M., Egidi, E., Guirado, E., Leach, J.E., Liu, H. and Trivedi, P. (2023) ‘Climate change impacts on plant pathogens, food security and paths forward’, *Nature Reviews Microbiology*, 21, pp. 640–656. <https://doi.org/10.1038/s41579-023-00900-7>
- Soloviy, I.P. and Kuleshnyk, T.Ya. (2008) ‘Climate change and forestry: mutual influences, alternatives, prospects’, *Scientific Bulletin of UNFU*, 18(11), pp. 209–216. Available at: https://nv.ntlu.edu.ua/Archive/2008/18_11/209_Solowij_18_11.pdf (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- State Forest Resources Agency of Ukraine (2024) *General Characteristics of Ukrainian Forests*. Available at: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisi-ukrayini/zagalna-harakteristika-lisiv-ukrayini> (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Tokarieva, O., Meshkova, V. and Puzrina, N. (2022). *Pest management in forests of Eastern Europe (Manual)*. NUBiP of Ukraine, 2022. 285 pp. ISBN 978-617-8184-75-9.
- Tsvigun, V., Gumeniuk, I., Levishko, A. and Sus, N. (2022) ‘Viral and bacterial diseases of plants of forest ecosystems of Ukraine’, in *Proceedings of XV Scientific conference of young scientists "Microbiology in modern agricultural production"*. Chernihiv: Institute of Agricultural Microbiology and Agro-Industrial Production of NAAS, pp. 161–163. Available at: https://www.researchgate.net/publication/374412898_Virusni_ta_bakteryalni_hvorobi_roslin_lisovih_ekosistem_Ukraini (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Tykhomyrova, T. S. and Sorkina, D. K. (2022) ‘Actions of Ukraine and the world on global climate change issues’, in *Proceedings of the International scientific and practical conference with the participation of young scientists "Sectoral Problems of Environmental Safety – 2022", 27 October 2022, Kharkiv*. Kharkiv: Kharkiv National Automobile and Highway University, pp. 205–207. Available at: <https://api.dspace.khadi.kharkov.ua/server/api/core/bitstreams/f498e0af-e76e-4bad-a7ab-43f11d708970/content> (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Ustskiy, I.M., Zhadan, S.V. and Dyshko, V.A. (2024) *Forest pathology monitoring system* [Online]. Available at: <https://uriffm.org.ua/uk/news/645> (Accessed: 12 September 2024) (in Ukrainian).
- Velasquez, A.C., Castroverde, C.D.M. and He, S.Y. (2018) ‘Plant–pathogen warfare under changing climate conditions’, *Current Biology*, 28, pp. 619–634. <https://doi.org/10.1016/j.cub.2018.03.054>

FORECASTING THE DEVELOPMENT OF PATHOGENS AND PESTS BASED ON CLIMATE CHANGES

Khryk V.M.^{1*}, Sytnyk O.S.², Kimeichuk I.V.³, Lozinska T.P.⁴, Masalsky V.P.⁵

The article delves into the pressing issue of forest area reduction driven by climatic changes, which, in turn, trigger a series of interconnected ecological problems. A particularly concerning problem is the spread of pathogenic organisms, which not only affect individual tree species but also have far-reaching impacts on entire forest ecosystems. The review of existing literature highlights that in the past few decades, there has been a significant rise in global temperatures accompanied by a decline in air humidity in many regions around the world. These climatic changes have contributed to the alteration of the geographical distribution of pathogenic organisms and their vectors, resulting in more frequent invasion events. The article identifies major trends in the dispersal and development of pathogenic organisms in new geographical areas. It presents patterns that enable the forecasting of shifts in the species composition of pathogens, their carriers, and the broader forest ecosystems. An interesting and notable trend is the increasing prevalence of fungal diseases in trees, alongside cases of complex bacterial-viral infections in forests. These occurrences are closely linked to the changing temperature regimes in certain regions, which create conditions conducive to the spread and establishment of these diseases. Additionally, the article provides an in-depth analysis of the species composition of pathogenic microorganisms and their hosts under the altered climatic conditions observed in European countries and Ukraine. This analysis is crucial for understanding the dynamics of forest health in these regions and for developing targeted management strategies. The article also collates information on contemporary preventive measures designed to curb the spread of forest infections. It discusses the primary programs and initiatives that have been put in place to contain the impact of pathogenic organisms on forest ecosystems. The international scientific community is taking proactive steps to address the ecological challenges facing forests, particularly on the European continent. These efforts are part of a broader strategy of globalising all processes and fostering international cooperation. One of the key strategies highlighted is the establishment of various international programs. These programs are essential for coordinating the efforts of different countries in developing and implementing joint and localised planning measures. They also focus on monitoring the spread of pathogens and carrying out practical actions aimed at preventing and stopping the proliferation of forest infections. Moreover, these international initiatives are not limited to preventive measures alone; they also encompass research and development aimed at understanding the underlying mechanisms driving the spread of pathogenic organisms. This includes studying the genetic adaptations of pathogens that enable them to thrive in new environments and developing resistant tree species through selective breeding and genetic modification. Such comprehensive approaches are vital for safeguarding the biodiversity and ecological balance of forest ecosystems.

К е у о р д s : pathogens, forest ecosystems, temperature conditions, international collaboration.

Одержано редколегією 08.10.2024

¹ Khryk, Vasyl, Dr. habil. (Pedagogical Sciences), Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. E-mail: hvm2020@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1912-3476>

² Sytnyk, Oleksandr, PhD (Agricultural Sciences), Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. E-mail: sytnykoleksandr24@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0002-2637-1849>

³ Kimeichuk, Ivan, Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. E-mail: ivan.kimeichuk@btsau.edu.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9100-1206>

⁴ Lozinska, Tetiana, PhD (Agricultural Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. E-mail: lozinskatat@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7119-0759>

⁵ Masalsky, Vladislav, PhD (Biological Sciences), Associate Professor, Bila Tserkva National Agrarian University, Soborna Square 8/1, Bila Tserkva, 09117, Ukraine. E-mail: vlad.masalskiy71@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8001-2631>

* Correspondence: hvm2020@ukr.net

ЕКОНОМІКА, МИСЛИВСТВОЗНАВСТВО

УДК 338.34:338.27+51-7:630.6

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.145.2024.143>



ВТРАТИ РЕСУРСІВ ДЕРЕВИНИ ТА БІОРІЗНОМАНІТТЯ ЛІСІВ УКРАЇНИ

А. О. Калашніков^{1*}, І. М. Жежкун², А. С. Торосов³

Розглянуто за літературними джерелами основні тенденції в динаміці площ лісів у світі та в Україні (1990–2020 рр.), проблеми в боротьбі зі знелісненням та в запровадженні заходів щодо збільшення площ лісорозведення. Визначено роль підтримання рослинного біорізноманіття лісів у забезпеченні сталого розвитку країн та підвищенні ресурсного потенціалу економіки. Наведено дані щодо негативного впливу воєнного стану на економіку лісового господарства та лісопромислового сектору України. Визначено втрати від тривалих військових дій ресурсів деревини, доступних для використання лісовим господарством України, зокрема внаслідок пожеж, а також збитки, заподіяні екоцидом з боку РФ природно-заповідному фонду держави. Розкрито зміст екологічних, соціальних та економічних ризиків від втрати Україною біорізноманіття та їхній взаємозв'язок під час широкомасштабної російської агресії, запропоновано шляхи щодо зменшення негативного впливу війни на економіку лісового сектору та біорізноманіття лісів України.

Ключові слова: динаміка площі лісів у світі, ресурси деревини України, рослинне біорізноманіття, ризики для лісових екосистем, вплив війни.

Вступ. Ліси України є важливим компонентом ландшафтів країни, вони виконують переважно екологічні та соціальні функції. Окрім того, ліси є джерелом різноманітних відновлювальних природних ресурсів і, насамперед, деревини. Тому використання лісоресурсного потенціалу має забезпечити можливість ефективного споживання лісового фонду для виробництва деревини. Згідно з даними FAO, ліси наразі становлять 30,8 % площі світової суші. Загальна площа лісів становить 4,06 млрд га, або приблизно 0,5 га на людину, але ліси розподілені на земній кулі нерівномірно. Більш ніж дві третини світових лісів знаходяться в 11 країнах світу, причому одна з них – це Україна. Площа лісів у відношенні до загальної земельної площі зменшилася з 32,5 до 30,8 % за три десятиліття (від 1990 до 2020 рр.). Це означає чисту втрату 178 млн га лісу. Водночас середня швидкість чистої втрати площі лісів знизилася приблизно на 40 % між 1990–2000 та 2010–2020 рр. (від 7,84 млн га на рік до 4,74 млн га на рік), що є результатом зменшення втрат лісових площ у деяких країнах і приросту лісів в інших (FAO, 2020). Втрата лісів переважно зумовлена розширенням площ для ведення сільського господарства, тоді як збільшення площі лісів відбувається через природне розповсюдження лісів, зокрема на покинутих сільськогосподарських землях, або в результаті лісорозведення (зокрема завдяки сприянню природному відновленню) чи самозаліснення.

Тоді як екологічна, економічна та соціальна ролі лісів дедалі більше посилюються в усьому світі, знижується їхня спроможність надалі виконувати свої функції. Збільшення чисельності населення, швидка урбанізація та високий рівень бідності супроводжуються підвищенням площ вирубань лісів. Так, Африка втрачала 4 млн га лісів на рік у 2010–2020 рр. – це найбільші показники серед усіх континентів (Berrahtouni and Mansourian, 2021). Якщо не змінити поточні моделі вирубань лісів у світі, вони можуть

¹ Калашніков Андрій Олегович, кандидат економічних наук, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: kalashnickov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1164-2119>

² Жежкун Ірина Миколаївна, кандидат економічних наук, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: zhezhkun.irina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5314-7557>

³ Торосов Артем Сергійович, кандидат економічних наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: torosov@uriffm.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7694-6773>

* Адреса для кореспонденції: kalashnickov@gmail.com

спровокувати екологічні зміни, що матиме значний вплив на світову економіку. Згідно зі звітом WWF, якщо світ і надалі йтиме таким шляхом, погіршення стану навколишнього середовища може призвести до загальних втрат у розмірі 9,9 трлн доларів США до 2050 р. (Roxburgh *et al.*, 2020). У такому разі лише США втрачатимуть 83 млрд доларів у своїй економіці щороку до 2050 р. через втрату лісових ресурсів. Такі економічні зміни призведуть до глобального збільшення цін на велику кількість товарів (не лише виробів з деревини, але й продовольчих), що матиме значний негативний вплив на ринки, які розвиваються.

В останні десятиріччя разом із боротьбою зі знелісненням оцінювання біорізноманіття лісів набуло вагомого значення в контексті як підвищення дієвості впливу лісоресурсного потенціалу на темпи соціально-економічного розвитку, так і розширення меж поширення лісової рослинності та збільшення обсягів лісових ресурсів. Деградація та зникнення видів флори у світі зумовлені глобальними змінами клімату й діяльністю людини. За даними Міжнародного союзу охорони природи і природних ресурсів за останні 500 років зникли 123 види рослин (Bhatt, 2023). Додають проблем цілям збереження біорізноманіття також війни, одна з яких триває зараз в Україні з 2022 р.

З огляду на специфіку та видову структуру біорізноманіття лісів, його функції дещо відрізняються від функцій біорізноманіття загалом, що зумовлене особливостями матеріальної складової лісоресурсного потенціалу та несировинних властивостей лісу. Надважливим є те, що ліси відіграють не лише екологічну, але й економічну та соціальну ролі в суспільстві. Відтак, основним завданням є збільшити використання лісової продукції і водночас захистити біорізноманіття та лісові насадження. За сталого управління лісами з метою захисту біорізноманіття та багатогранного використання лісових ресурсів заходи щодо поширення використання лісової продукції з часом сприятимуть також збереженню лісових насаджень і навколишнього середовища.

Досягти підвищення ефективності господарського використання лісових ресурсів можна через стійкі підходи, що замість монокультурного виробництва пропонують інвестування в більш розгалужену структуру з використанням повного спектру лісових ресурсів. Завдяки збільшенню попиту, обсягів виробництва та використання сталої лісової продукції запаси лісу стабілізуються, і можна запобігти знищенню певних джерел деревини, знелісненню та руйнуванню довкілля.

Лісові екосистеми є критично важливим компонентом світового біорізноманіття, оскільки ліси можуть бути різноманітнішими за інші екосистеми. Таким чином, площа вкрита лісами, є одним із показників «17 Цілей сталого розвитку» (Ціль 15 «Збереження екосистем суші», 15.1.1 — збільшення площі лісів як частки загальної площі землі) (United Nations, 2015). Крім того, Стратегічний план ООН щодо лісів на 2017–2030 рр. ставить на меті подолати втрату лісового покриву в усьому світі за допомогою сталого управління лісами, разом із захистом, відновленням, залісненням та лісовідновленням, а також активізувати зусилля щодо запобігання деградації лісів і зробити внесок у глобальні зусилля щодо вирішення проблеми зміни клімату. Поставлено завдання збільшити площу лісів у всьому світі на 3 % до 2030 р. (United Nations, 2017).

Україна долучилася до цих амбітних світових планів щодо значного збільшення площі лісів у 2021 р. (*About Some Measures for the Preservation of Forests and Forestation*, 2021). Водночас лісорозведення, розпочате за ініціативою Президента України «Масштабне заліснення України» з 2021 р. супроводжується зменшенням нелісових типів площ, зокрема луків. На таких ділянках відбуваються зміни видового складу флори і не завжди у бік збільшення біорізноманіття. Зі свого боку, заходи щодо збереження біорізноманіття флори в лісах України мають бути спрямовані на підтримання складної структури насаджень завдяки, зокрема, збільшенню площ природного відновлення замість створення однопорідних лісових культур. Міські водно-болотні угіддя в урбанізованому середовищі можуть стати «ковчегами біорізноманіття» для видів, що зникають. Організаційні заходи та відповідне облаштування міст відпочинку в приміських лісах зелених зон також сприятимуть

збереженню біорізноманіття флори. Захист біорізноманіття є однією з основних глобальних екологічних проблем, зазначених у «Порядку денному ООН щодо сталого розвитку на період до 2030 року» (*Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development*, 2018). Сучасні шляхи збереження біорізноманіття в країнах мають охоплювати нові сфери впровадження природозберігальних технологій у галузях промисловості, енергетиці, фармації, на транспорті, разом із відповідною екологічною політикою.

Окрім безпосереднього економічного ефекту та внеску лісів в економічний ріст в усьому світі, використання лісопродукції має непрямий довгостроковий ефект, оскільки відкриває численні можливості для створення робочих місць у глобальних та локальних ланцюгах доданої вартості. Так, будівельний сектор може створювати робочі місця, пов'язані з вирощуванням, охороною, заготівлею, обробленням будівельного лісу, а також додатковими послугами в лісовому господарстві. За оцінками світових дослідників, кожне робоче місце в лісовому господарстві створює додаткові 1,5–2,5 робочих місця в економіці (Nair and Rutt, 2009). Наразі лісова економіка забезпечує від 45 до 50 млн прямих і непрямих робочих місць у всьому світі та має загальний внесок у світову економіку понад 1,3 трлн доларів. Лише у світовому лісопромисловому секторі працюють 13,2 млн людей, а його вартісна оцінка становить 600 млрд доларів щороку (UNFF14 Issue Brief, 2019).

В Україні станом на 01.01.2024 чисельність штатних працівників у лісогосподарській галузі становила 31 104 штатні одиниці і зменшилася проти минулого року на 3 609 штатних одиниць, або на 10 %. У ДП «Ліси України» чисельність штатних працівників станом на 01.01.2024 становила 29 818 штатних одиниць, що є на 3 576 штатних одиниць, або на 11 %, меншим, ніж на початок 2023 р. Слід зазначити, що однією з основних перешкод у виробничій діяльності лісового сектору економіки України в умовах російської військової агресії стає дефіцит кваліфікованого персоналу через мобілізацію робітників та фахівців до лав збройних сил України (SFRAU, 2024).

Негативний вплив війни на економіку лісового господарства України позначився і через зменшення частки лісової ренти у ВВП країни з 0,21 % у 2021 р. до 0,16 % у 2022 р. та 0,15 % у 2023 р. Зазначимо, що взагалі питома вага лісового господарства у ВВП України завжди була невеликою, у межах від 0,26 до 0,37 %. Водночас за 2023 р. лісовою галуззю сплачено податків та платежів до бюджетів усіх рівнів на 10,8 млрд грн (близько 300 млн доларів США), що свідчить про її значний внесок в економіку країни. Слід наголосити, що зазначена сума в 41 раз перевищила суму коштів, виділених лісовій галузі з Державного бюджету на ведення лісового господарства, охорону і захист лісів (утримання природно-заповідного фонду (ПЗФ), національну інвентаризацію лісів, лісовпорядкування) (SFRAU, 2024).

У 2023 р. в Україні зафіксовано зростання обсягів реалізованої продукції промисловості, а саме на 14,1 % (але це було після падіння у попередньому 2022 р. на 17,6 %) та ще суттєвіше – у переробній промисловості, на 24,1 %, за зменшення у 2022 р. майже на 30 % (State Statistics Service of Ukraine, 2024). У 2023 р. частка обсягів реалізованої продукції з виготовлення виробів з деревини, паперу та поліграфічної діяльності становила 3,4 % від усієї промислової реалізації продукції та 65,0 % від реалізації у переробній промисловості. Ріст реалізації продукції деревини, паперу та поліграфічної діяльності у 2023 р. становив 18,3 % за падіння у попередньому році на 11,0 %. Обсяги реалізації меблів, іншої продукції, ремонту й монтажу машин і устаткування у 2023 р. становили 2,3 % у загальній реалізації продукції промисловості та 20,8 % – у реалізації продукції переробної промисловості. Вони збільшились у 2023 р. на 30,8 % за зменшення у 2022 р. на 23,9 %. Отже 2023 р. характеризувався певною стабілізацією промислової діяльності, зокрема в секторах економіки з переробки деревної сировини після першого року широкомасштабної російської агресії проти України.

Отже, метою досліджень є виявлення особливостей динаміки обсягів ресурсів деревини та фактичних змін площ лісів в Україні в контексті світових тенденцій, впливу на них та їхнє

біорізноманіття широкомасштабної російської агресії і додаткових соціальних та еколого-економічних ризиків, що виникають під час війни для біорізноманіття лісових екосистем.

Матеріали й методи. У дослідженні застосовано кількісні методи статистики, групування, порівняння, табличного й графічного моделювання, економічного аналізу та синтезу.

Вхідною інформацією для аналізу були відкриті дані Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO, сайт <https://www.fao.org/home/en/>), Державної служби статистики України (сайт <https://www.ukrstat.gov.ua/>), ДП «Ліси України» (сайт <https://e-forest.gov.ua/>), Державного агентства лісових ресурсів України (ДАЛРУ) (сайт <https://forest.gov.ua/>), законодавчо-нормативна документація України та наукові публікації за тематикою дослідження.

Статистичний метод економічного аналізу використано як основний метод дослідження під час проведення розрахунків втрат лісового господарства в обсягах випуску продукції. Узагальнене оцінювання зниження обсягів заготівлі деревини в Україні в 2022 р. внаслідок військових дій здійснювали шляхом попереднього визначення втрат лісоресурсного потенціалу (через площі тимчасово окупованих вкритих лісом територій) (*The list of territorial communities that are located in the area of military (combat) operations or are under temporary occupation, 2022*).

Результати. Україна, як і більшість європейських країн, впродовж 2000–2020 рр. мала позитивну динаміку площ лісів (рис. 1).

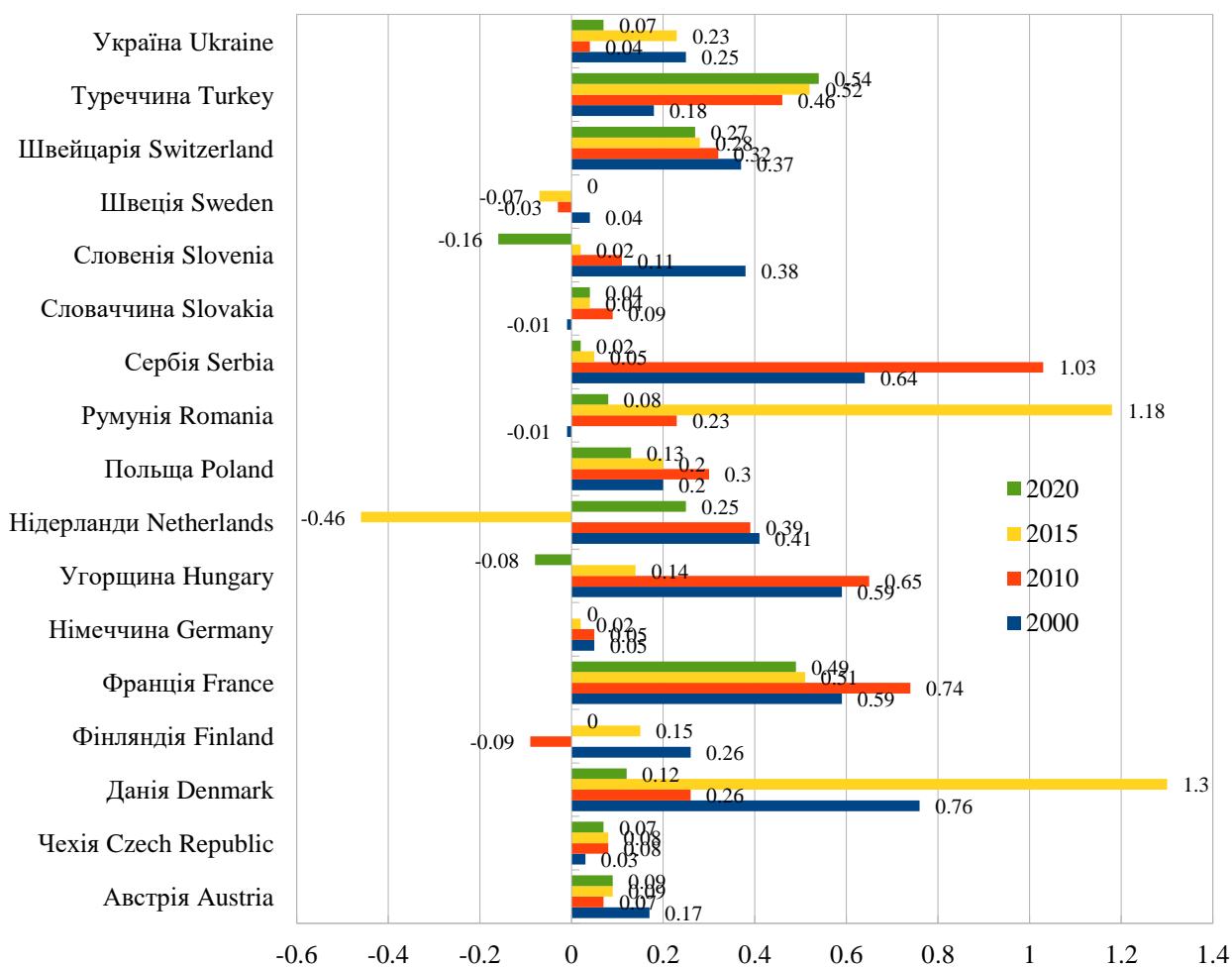


Рис. 1 – Щорічні чисті темпи змін площі лісів за європейськими країнами у 2000–2020 рр., %

Fig. 1 – Forest area annual net change rate in 2000–2020, %

Джерело: складено за даними Продовольчої та сільськогосподарської організації ООН (FAO)

Source: Compiled according to the UN Food and Agriculture Organisation (FAO)

Прямі економічні втрати лісгосподарської галузі України від зменшення обсягів рубок унаслідок втрати лісоресурсного потенціалу під впливом військових дій станом на 2022 р. орієнтовно становили 1 576,8 тис. м³ деревини. У цінах знеособленого кубометра заготовленої деревини підприємствами ДАЛРУ (без ПДВ) за підсумками першого півріччя 2022 р. (SFRAU, 2022) це становить майже 2,56 млрд грн (табл. 1).

Таблиця 1

Лісоресурсний потенціал деревини в Україні та його втрати під час військових дій, 2022 р.

Table 1

Forest resource potential of wood in Ukraine and its loss during military operations, 2022

Природна зона, область Natural zone, region	Площа лісових ділянок, вкритих лісовою рослинністю, тис. га The area of forest areas covered with forest vegetation, thousand ha		Загальний запас деревостанів, тис. м ³ Total standing volume, thousand m ³		Обсяг рубок, тис. м ³ Logging, thousand m ³	Втрати запасу деревостанів, де можна проводити заготовлю деревини, тис. м ³ Losses of the standing volume in the forests where wood can be logging, thousand m ³	Втрати обсягу рубок від військових дій Logging losses from military operations	
	разом total	де можна проводити заготовлю деревини where wood can be logging	разом total	де можна проводити заготовлю деревини where wood can be logging			тис. м ³ thousand m ³	млн грн. million UAH
Полісся Polissia	3 021,2	2 325,6	661 468,03	501 449,93	8 637,9	11 109,76	150,5	245,65
Чернігівська Chernihiv	665,7	487,4	175 357,58	126 207,60	1 709,8	11 109,76	150,5	245,65
Лісостеп Forest-steppe	2 816,0	1 788,3	646 621,24	413 707,41	7 011,4	56 595,11	1 076,2	1 688,68
Сумська Sumy	425,0	309,3	109 230,49	78 510,52	1 138,1	32 346,33	468,9	1 194,34
Харківська Kharkiv	378,3	107,2	81 126,18	24 248,78	607,3	24 248,78	607,3	494,34
Степ Steppe	1 339,6	163,5	158 761,24	25 772,29	751,1	13 046,00	350,1	620,63
Дніпропетровська Dnipropetrovsk	179,2	-	19 780,21	-	86,3	0	7,0	6,71
Донецька Donetsk	184,1	-	25 727,00	-	74,5	0	74,5	137,18
Запорізька Zaporizhzhya	101,0	-	6 383,85	-	22,2	0	18,2	33,51
Луганська Luhansk	292,4	66,4	44 593,89	13 046,00	181,5	13 046,00	181,5	334,20
Миколаївська Mikolayiv	98,2	-	7 370,20	-	34,1	0	16,4	12,36
Херсонська Kherson	116,3	-	11 554,24	-	52,5	0	52,5	96,67
Україна Ukraine	9 573,9	5 591,8	2 099 943,55	1 253 912,96	20 869,6	80 750,87	1 576,8	2 554,96

Джерело: складено за власними розрахунками.

Під час війни разом із прямим знищенням лісів, мінуванням та окупацією лісових земель велику загрозу лісоресурсному потенціалу України та лісовому біорізноманіттю становлять збільшення площ лісових пожеж і, відповідно, загибель від них лісових насаджень через складнощі їхнього ліквідування на прифронтових територіях (рис. 2, табл. 2).

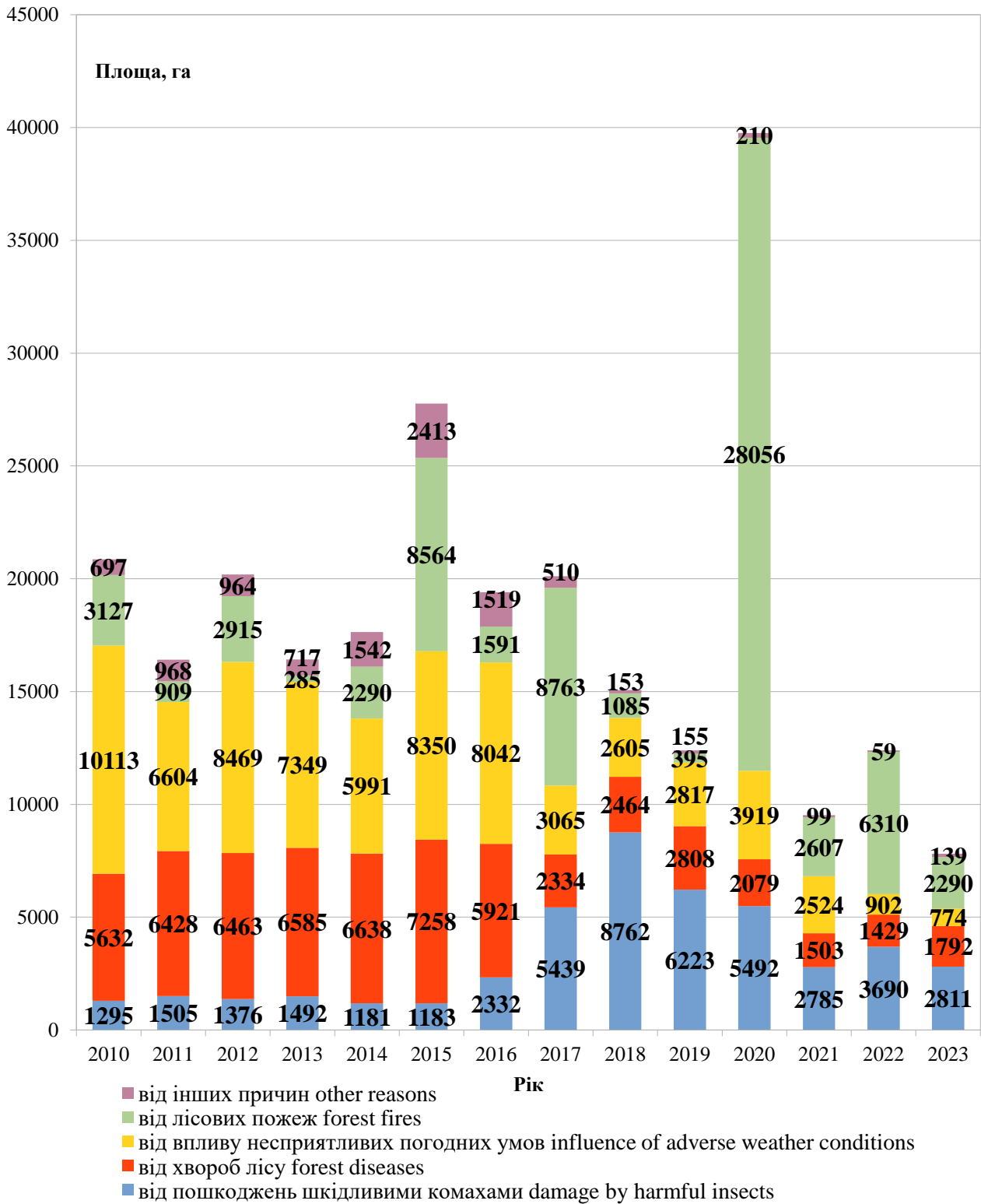


Рис. 2 – Загибель лісових насаджень лісового фонду України за причинами в 2010–2023 рр.

Fig. 2 – Forests death in forest fund of Ukraine by causes in 2010–2023

Джерело: складено за даними Державної служби статистики України

Source: Compiled according to the State Statistics Service of Ukraine

Таблиця 2

Збитки, заподіяні лісовими пожежами лісовому фонду України, 2015–2023 рр.

Table 2

Losses of forest fund of Ukraine caused by forest fires, 2015–2023

Показники Indicators	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Кількість лісових пожеж, од. Number of forest fires	3 813	1 249	3 131	1 301	1 263	2 608	660	1 052	1 278
Площа лісових земель, пройдена пожежами, тис. га Area of forest lands damaged by fires, thousand ha	14,7	1,2	5,9	1,5	1 091,7	75,0	0,3	15,8	51,0
Збитки, заподіяні лісовими пожежами, млн грн Damage caused by forest fires, million UAH	20,2	32,9	45,9	29,5	6 822,1	19,1	2,1	302,4	2 047,3

Джерело: складено за даними Державної служби статистики України.

Шкода, заподіяна довкіллю України російською агресією, яку фіксує екологічна інспекція країни, зростає щодня, разом із шкодою найбільш цінному для збереження біорізноманіття його компоненту – ПЗФ – і становить станом на 17.09.2024 628,25 млрд грн (табл. 3). Задokumentовано знищення та пошкодження лише у ПЗФ 9,7 млн шт. дерев та рослин на площі понад 21 тис. га.

Таблиця 3

Збитки, заподіяні природно-заповідному фонду України (станом на 17.09.2024)

Table 3

Losses of the Nature Reserve Fund (NRF) of Ukraine (as of 17.09.2024)

Показники негативного впливу військових дій на компоненти ПЗФ, од. виміру Indicators of the negative impact of military actions on the components of the NRF, unit	Обсяг / % Quantity / %
Шкода від знищення та пошкодження дерев і рослин, млрд грн Losses from the destruction and damage of trees and plants, billion UAH	506,52 / 80,6
Кількість знищених та пошкоджених дерев та інших рослин, екз. The number of destroyed and damaged trees and other plants, specimens.	9 685 804
Шкода від пошкодження рослинного світу, млрд грн Losses from damage to flora, billion UAH	94,21 / 15,0
Площа пошкодженого рослинного світу, га Area of damaged vegetation, ha	21 051
Шкода від лісових пожеж та знищення інших насаджень, млрд грн Losses from forest fires and destruction of other plantings, billion UAH	26,75 / 4,3
Площа згорілих лісів та інших насаджень, га Area of burned forests and other plantings, ha	773
Шкода від забруднення ґрунтів, млн грн Losses from soil pollution, million UAH	489,38
Площа забруднених ґрунтів, м ² Area of polluted soil, m ²	10 000
Шкода від засмічення земель, млн грн Losses from contaminated lands, million UAH	181,84
Площа засмічених земель, м ² Area of contaminated lands, m ²	1 076
Шкода від знищення об'єктів тваринного світу, млн грн Losses from the destruction of objects of the animal world, million UAH	161,99
Знищено об'єктів, шт. Destroyed objects, units	75019
Всього завданих збитків ПЗФ України, млрд грн Total losses caused to the NRF of Ukraine, billion UAH	628,25

Джерело: складено за даними офіційного ресурсу Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України.

Втрати біорізноманіття в лісах України внаслідок військових дій супроводжуються екологічними, соціальними та економічними ризиками (рис. 3).



Рис. 3 – Взаємозв'язок екологічних, соціальних та економічних ризиків від втрати біорізноманіття лісів
Fig. 3 – Interrelationship of ecological, social and economic risks from the loss of forest biodiversity

Джерело: розроблено за результатами власних досліджень

Source: Developed based on own research

Обговорення. Щорічний чистий приріст площ лісів в Україні до широкомасштабного російського вторгнення становив від 0,07 % у 2020 р. до 0,25 % у 2000 р. (рис. 1). У європейських країнах максимальні показники таких змін у цей період становили у 1,3 % у Данії та 1,18 % у Румунії (*United Nations*, 2015). Низка країн (Нідерланди, Румунія, Словаччина, Словенія, Угорщина, Фінляндія) в окремі роки мали негативні темпи зміни площ лісів. Отже, незважаючи на наявність проблем із самовільними рубками лісу, в останні 20 років лісову політику України було спрямовано на розширення власного лісоресурсного потенціалу.

Військове вторгнення РФ на територію України у 2022 р. катастрофічно вплинуло на соціально-економічний стан країни та суттєво змінило тенденції розвитку. Враховуючи масштаби бойових дій в Україні у 2022–2024 рр., негативні економічні наслідки для її галузей є у рази більшими, порівнюючи з попередньою стадією російської агресії (з 2014 р.). Стосується це й лісового господарства та пов'язаних із ним галузей, що позначилося на стабільності функціонування ринку деревини в Україні. Загальні збитки, заподіяні лісовій галузі протягом двох років військових дій, сягнули близько 20 млрд грн (540 млн доларів США), зруйновано обладнання на суму 420 млн грн (11,5 млн доларів США) та пошкоджено об'єктів нерухомості на 1,2 млрд грн (32,5 млн доларів США) (*EcoZagroza*, 2024).

Прямі економічні втрати від бойових дій у лісогосподарській галузі України виникли у 2022–2024 рр., зокрема через зменшення пропозиції деревини споживачам круглого лісу внаслідок окупації або мінунання частини території країни. Станом на 2022 р. під впливом російської агресії опинилися 1 349,4 тис. га вкритих лісовою рослинністю земель (14,1 % від їхньої загальної площі) (див. табл. 1). Із них на степову природну зону припадало 54,6 % (або 737,4 тис. га), на Лісостеп – 41,0 % (або 553,4 тис. га), на Полісся – решта 4,4 % (або 58,6 тис. га). За нормативною грошовою оцінкою земель (*Directory of indicators of normative monetary valuation of agricultural land in Ukraine*, 2020) частка Степової зони в сумарній оцінці лісових земель, що зазнали впливу бойових дій, становила 46,9 %, Лісостепу – 48,6 %, Полісся – 4,5 %. Лісогосподарські підприємства Харківської, Донецької, Луганської та Херсонської областей зазнали найбільших втрат під час ведення господарської діяльності – 100 % їхніх територій опинилися під впливом бойових дій; у Запорізькій області цей показник становить 82,1 %, у Миколаївській – 48,1 %, Сумській – 41,2 %, Чернігівській – 8,8 %; Дніпропетровській – 8,1 %. Для Донецької, Запорізької, Луганської та Херсонської областей, де підприємства, підпорядковані ДАЛРУ, не заготовлювали деревину в першій половині 2022 р., а ціну знеособленого м³ деревини брали на рівні середньої в Україні (1 841,3 грн). Питома вага Лісостепової зони в загальному обсязі збитків лісогосподарської галузі України від недоотримання деревини становить 66,1 %, Степової зони – 24,3 %, Полісся – 9,6 %.

Пожежі здебільшого негативно впливають на лісоресурсний потенціал, біорізноманіття, здоров'я людей і регіональний клімат. Незважаючи на те, що пожежа є фактором стимулювання росту рослин, наприклад через покращення проростання насіння та збільшення у деяких випадках кількості видів трав'яної рослинності, якщо вона охоплює великі площі або відбувається дуже часто, то завдає непоправної шкоди біорізноманіттю. Постраждали від пожежі території, насамперед ліси, є дуже уразливими до подальшої деградації та схильними до небажаних сукцесій деревної й кущової рослинності. Майбутнє прогнозоване більшення інтенсивності та площ пожеж у світі, викликане кліматичними змінами, матиме суттєвий вплив на природне середовище через ускладнення процесу збереження флористичного біорізноманіття та порушення функціонування екосистем.

За період 2015–2023 рр. найнесприятливіший за горимістю лісів в Україні 2019 рік (площа лісових земель, пройдених пожежами, становила 1,09 млн га) (табл. 2) мав наслідком найбільшу площу загибелі лісових насаджень із цієї причини у наступному 2020 р. (понад

28 тис. га) (рис. 2). Під час широкомасштабної російської агресії у 2022–2023 рр. лише на підконтрольній Україні території площа земель, пройдених лісовими пожежами, становила 15,8 тис. га у 2022 р. та 51,0 тис. га у 2023 р., а збитки, заподіяні лісовими пожежами, проти передвоєнних років (за винятком аномального 2019 р.) збільшились у рази і становили 302,4 млн грн та 2 047,3 млн грн відповідно. Ріст обсягів збитків від пожеж до рівня 2021 р. становив 144 рази у 2022 р. та 975 разів у 2023 р. Враховуючи інтенсивність бойових дій та складнощі з гасінням лісових пожеж на прифронтових територіях, слід очікувати подальшого погіршення ситуації з горимістю лісів та збільшення обсягів екоциду, шкоди довкіллю та збитків лісогосподарській галузі України через зниження лісоресурсного потенціалу.

У структурі збитків ПЗФ України станом на вересень 2024 р. (табл. 3) лівова частка (80,6 %) припадає саме на шкоду від знищення та пошкодження дерев та інших рослин, які є основними ресурсними компонентами лісових екосистем. Ще 15,0 % становлять збитки від пошкодження рослинного світу та 4,3 % – шкода від лісових пожеж і пожеж в інших насадженнях. На всі інші компоненти довкілля ПЗФ (забруднення ґрунтів, засмічення земель, знищення тваринного світу) нарахований обсяг шкоди (0,833 млрд грн) становить лише 0,1 %. Отже, заходи післявоєнної відбудови України мають враховувати також значні суми на відтворення біорізноманіття флори.

Слід зазначити, що існує певна неузгодженість наявних методик розрахування шкоди компонентам довкілля України від військових дій із нормами міжнародного права з погляду ймовірності стягнення нарахованих збитків із країни-агресора через міжнародні судові інституції. Вітчизняні методики здебільшого спираються на нормативну оцінку втрат, а за нормами міжнародного права необхідно розраховувати обсяги коштів, що потрібні на відновлення втрачених компонентів довкілля.

Варто зазначити, що втрата біорізноманіття лісів та економічна система глибоко взаємопов'язані, а ризики, пов'язані з одним, можуть мати значний вплив на інше (рис. 3). Можна виділити декілька окремих ключових моментів, які слід першочергово враховувати. Економіка значною мірою залежить від обсягів запасів лісових ресурсів та їхньої якості. Відтак, їхня втрата може порушити ланцюги постачання та стабільність ринків, що призведе до підвищення волатильності цін на основні товари. Це може мати хвилеподібні наслідки загальноекономічного характеру, впливаючи як на промисловість, так і на споживачів. Також економіка залежить від екосистемних послуг, таких як вода, родючість ґрунту та чисте повітря. Їхнє порушення призведе до збільшення витрат як суб'єктів господарювання, так і держави (на мікро- та макрорівнях) на обслуговування та ремонт об'єктів інфраструктури, оскільки екосистеми більше не забезпечують природний захист від ерозії, повеней та інших екологічних небезпек. Втрата лісового генетичного різноманіття може спричинити зниження стійкості сільськогосподарських культур і худоби до шкідників, хвороб і зміни умов навколишнього середовища. Це може загрожувати продуктивності сільського господарства, а відтак і продовольчій безпеці. Економіка певних регіонів та країн залежить від біорізноманіття лісів для туризму та відпочинку (національні природні парки, заповідники, тощо). Його втрата може знизити привабливість цих напрямів, що призведе до зниження податкових надходжень до місцевих та загальних бюджетів, зниження доходів населення і втрати можливостей працевлаштування в цих секторах та місцевості. Загалом, взаємопов'язані ризики між втратою біорізноманіття лісів та економічною системою підкреслюють потребу в подальшому дотриманні практик і політики сталого управління лісами, що й надалі сприятиме збереженню та захисту біорізноманіття. Нездатність усунути ці ризики може мати далекосяжні наслідки як для навколишнього середовища, так і для економіки.

Слід зауважити, що страхування відіграє важливу роль як інструмент нейтралізації фінансових (економічних) ризиків (див. рис. 3) як окремих суб'єктів господарювання, так і галузей загалом. Страхування об'єктів ПЗФ є важливим аспектом природоохоронних зусиль

для захисту цих цінних екосистем. Це надає фінансову підтримку у разі різноманітних подій, які можуть завдати значної шкоди заповіднику та його біорізноманіттю. Маючи страхове покриття, об'єкти ПЗФ можуть швидко відновлюватися та продовжувати свою природоохоронну роботу, не стикаючись зі значним фінансовим тягарем. Це допомагає забезпечити довгострокову фінансову стійкість і захист цих важливих територій для майбутніх поколінь.

Для вирішення проблеми надходження коштів на відновлення об'єктів ПЗФ, постраждалих від надзвичайних подій, Міндовкілля затвердило порядок та умови страхування відповідальності за шкоду, заподіяну територіям та об'єктам ПЗФ (*On Approval of the Procedure and Terms of Liability Insurance for Damage Caused by Fires and Accidents to the Territory and Objects of the Nature Reserve Fund*, 2024). Суб'єкти господарювання, що здійснюють діяльність у межах чи поруч із територіями та об'єктами ПЗФ, можуть застрахувати виникнення подій (наприклад, пожеж та/або аварій), які потенційно завдаватимуть шкоди цим об'єктам. Потерпілі від аварій та пожеж адміністрації установ ПЗФ, землевласники та землекористувачі, на ділянках яких створено або оголошено території та об'єкти ПЗФ, зможуть отримати від страхувальника відшкодування за отримані збитки. Надалі потерпілі можуть використати отримані виплати для виконання заходів із відновлення порушених природних комплексів.

Висновки. Наведені тенденції щодо функціонування лісового сектору в Україні існуватимуть і протягом наступних декількох років, враховуючи, що військові дії в країні досі тривають. Цілком очевидно, що для відновлення та розвитку лісоресурсного й виробничого потенціалів лісгосподарської та деревообробної галузей, як і економіки держави загалом, знадобиться певний період після закінчення військових дій у країні.

У сучасному світі боротьба зі знелісненням та захист біорізноманіття, зокрема рослинного, є однією з глобальних проблем людства. Існують певні складнощі як під час оцінювання, так і в процесі лісорозведення, підтримання біорізноманіття та сталого використання лісових ресурсів і біорізноманіття світової флори. Загальні проблеми зі збереження лісоресурсного потенціалу та біорізноманіття флори в Україні ускладнюються та збільшуються в результаті тривалих широкомасштабних військових дій. Успішність відновлення та розвитку лісоресурсного потенціалу та рослинного біорізноманіття України, втраченого або пошкодженого через військові дії 2022–2024 рр., здебільшого залежатимуть від удосконалення національного законодавства з екологічних питань та від залучення необхідних інвестицій на багатоканальній основі від держави, приватних структур, міжнародних спонсорів, а також коштом репарацій, отриманих від країни-агресора.

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання теми досліджень УкрНДЦЛГА (тема № 3), замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України (№ Держреєстрації 0120U101889).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- About Some Measures for the Preservation of Forests and Forestation.* (2021). Decree of the President of Ukraine No. 228/2021 dated 07 June 2021. Available at: <https://www.president.gov.ua/documents/2282021-39089> (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- Berrahmouni, N. and Mansourian, S. (2021) *Review of forest and landscape restoration in Africa*. Accra. FAO and AUDA-NEPAD.
- Bhatt, R.P. (2023) *Impact on Forest and Vegetation Due to Human Interventions*. IntechOpen. Available at: <http://dx.doi.org/10.5772/intechopen.105707> (Accessed: 30 October 2024).
- Directory of indicators of normative monetary valuation of agricultural land in Ukraine as of 01.01.2020 (hryvnia per hectare).* (2020). Available at: https://buh.ligazakon.net/news/192374_oprilyudnena-normativna-groshova-otsnka-slsgogospodarskikh-zemel-stanom-na-01012020-r (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- EcoZagroza (2024) *Official resource of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine*. Available at: <https://ecozagroza.gov.ua/damage/forest> (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- FAO (2020) *Global Forest Resources Assessment 2020: Main Report*. Food and Agricultural Organization of the United Nations. Available at: <http://www.fao.org/3/ca9825en/CA9825EN.pdf> (Accessed: 30 October 2024).

- Nair, C. and Rutt, R. (2009) ‘Creating Forestry Jobs to Boost the Economy and Build a Green Future’, in Background Paper Prepared for “Impacts of Global Economic Turbulence on the Forest Sector” at the nineteenth session of the FAO Committee on Forestry, Rome, 20 March. Available at: <http://www.fao.org/docrep/012/i1025e/i1025e02.htm> (Accessed: 30 October 2024).
- On Approval of the Procedure and Terms of Liability Insurance for Damage Caused by Fires and Accidents to the Territory and Objects of the Nature Reserve Fund* (2024). Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated April 1, 2024 No. 331. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0709-24#Text> (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- Roxburgh, T., Ellis, K., Johnson, J.A., Baldos, U.L., Hertel, T., Nootenboom, C., and Polasky, S. (2020) *Global Futures: Assessing the global economic impacts of environmental change to support policy-making*. Summary report, January 2020. Available at: <https://www.wwf.org.uk/globalfutures> (Accessed: 30 October 2024).
- SFRAU (2022) *Materials regarding the results of the enterprises of the State Forest Resources Agency of Ukraine for the first half of 2022*. Kiev: SFRAU (in Ukrainian).
- SFRAU (2024) *Public report of the Head of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2023*. Available at: https://www.kmu.gov.ua/storage/app/sites/1/17-civik-2018/zvit2023/zvit_lis_%202023.pdf (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- State Statistics Service of Ukraine (2024) *Turnover of industrial enterprises by type of economic activity in 2010–2023*. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua/> (Accessed: 30 October 2024) (in Ukrainian).
- The list of territorial communities that are located in the area of military (combat) operations or are under temporary occupation, surrounded (blockade) as of July 23, 2022* (2022). Order of the Ministry of Reintegration of the Temporarily Occupied Territories of Ukraine dated April 25, 2022 No. 75. Kyiv (in Ukrainian).
- Transforming our World: The 2030 Agenda for Sustainable Development* (2018). United Nations Development Programme. Available at: <https://www.undp.org/ukraine/publications/transforming-our-world-2030-agenda-sustainable-development> (Accessed: 30 October 2024).
- UNFF14 Issue Brief (2019) *Forests, inclusive and sustainable economic growth and employment*. UNFF14 Issue Brief, No. 2 – FORESTS AND SDG8. April 2019. Available at: <https://www.un.org/esa/forests/wp-content/uploads/2019/05/UNFF14-brief-Forests-SDG8.pdf> (Accessed: 30 October 2024)
- United Nations (2015) *Transforming our world: the 2030 Agenda for Sustainable Development, outcome document of the United Nations summit for the adoption of the post-2015 agenda*, RES/A/70/L.1. Resolut. Adopt. Gen. Assem. Available at: https://www.un.org/en/development/desa/population/migration/generalassembly/docs/globalcompact/A_RES_70_L1_E.pdf (Accessed: 30 October 2024)
- United Nations (2017) *United Nations strategic plan for forests 2017–2030*. A/RES/71/285. Resolution adopted by the General Assembly on 27 April 2017.

LOSS OF WOOD RESOURCES AND BIODIVERSITY IN UKRAINIAN FORESTS

Kalashnikov A.O.^{1*}, Zhezhkun I.M.², Torosov A.S.³

The main trends in the dynamics of forest areas in the world and in Ukraine (1990–2020), problems in combating deforestation and introducing afforestation are considered based on literary sources. The role of maintaining forest plant biodiversity in ensuring sustainable development of countries and increasing the resource potential of their economies is determined. Data on the negative impact of martial law on the economy of the forestry sector of Ukraine are presented. The losses of the resource potential of wood by Ukrainian forestry from the ongoing military operations (in particular as a result of fires) are determined, as well as the damage caused by the ecocide to the Ukrainian nature reserve fund by Russia. The ecological, social and economic risks to Ukraine’s biodiversity and their interrelationships during the large-scale Russian aggression are revealed and ways are proposed to reduce the negative impact of the war on the economy of the forest sector and the biodiversity of Ukrainian forests.

Key words: world forests dynamics, wood resources of Ukraine, plant biodiversity, risks to forest ecosystems, impact of war.

Одержано редколегією 15.11.2024

¹ Kalashnikov Andrii, PhD (Economics), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: kalashnickov@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-1164-2119>

² Zhezhkun Iryna, PhD (Economics), Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: zhezhkun.irina@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5314-7557>

³ Torosov Artem, PhD (Economics), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, Hryhoriia Skovorody Street 86, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: torosov@uriffm.org.ua, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7694-6773>

* Correspondence: kalashnickov@gmail.com

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Загальна інформація

Редколегія збірника «Лісівництво і агролісомеліорація» (Україна, 61024, Харків-24, вул. Григорія Сковороди, 86, УкрНДЛГА) приймає до друку оригінальні статті, а також повідомлення та оглядові статті з лісівництва й лісознавства та суміжних галузей обсягом до 10 сторінок.

Статті до збірника приймаються українською та англійською мовами.

Плата за редакційну обробку і публікацію відсутня.

Усі рукописи рецензують щонайменше два незалежні рецензенти. Редакційна колегія ухвалює остаточне рішення щодо можливості опублікування роботи. Редакція залишає за собою право вносити в текст необхідні виправлення, що не змінюють авторської думки.

До редколегії подають електронний варіант статті, який слід надсилати на адресу:

Valentynameshkova@gmail.com або obolonik@uriffm.org.ua

Рукопис

Основні вимоги до статей – новизна, актуальність і обґрунтованість наведених фактів, відтворюваність експериментальних даних за наведеними методиками та оформлення рукопису відповідно до вимог збірника. Оригінальна робота має спиратися на науково обґрунтовані експерименти, спостереження чи аналіз масивів багаторічних даних (наприклад, кліматичних показників, матеріалів лісовпорядкування, результатів моніторингу стану лісів тощо) та надавати значний обсяг нової інформації. Стаття має містити посилання на релевантні джерела (переважно за останні п'ять років), перелік яких надають у розділі «Посилання».

Текст статті має відповідати загальним вимогам до написання наукових праць і бути відповідно структурованим. Структура наукової (експериментальної) статті має містити такі розділи: **Вступ, Матеріали й методи, Результати, Обговорення** (окремий розділ), **Висновки, Подяки** (за потреби), **Джерела фінансування, Посилання**.

Структура оглядової статті може мати різну кількість структурних розділів із довільними назвами, але обов'язково має містити такі розділи: **Вступ (з обґрунтуванням і формулюванням мети дослідження), Висновки, Посилання**.

У «Вступі» необхідно стисло викласти стан питання та обґрунтувати необхідність виконання досліджень, представлених у поданій статті. Сформулювати мету досліджень, яка не повинна дублювати назву статті, та **за необхідності** основні завдання.

У розділі «**Матеріали й методи**» слід чітко вказати, де проведено дослідження. За необхідності надати стисло характеристику кліматичним, ґрунтовим та іншим умовам, навести координати пунктів, де проведено обліки, та показати їхнє розташування на карті. Чітко зазначити джерела даних, які показники вимірювали, яким чином, якими приладами, які реактиви чи препарати застосовували у дослідах, одиниці виміру, норми витрати тощо. Необхідно обґрунтувати застосування тих чи інших методів статистичного аналізу з посиланням на сучасні літературні джерела, зазначити пакет програм, використаний для обчислення, та критерії оцінювання значущості (вірогідності) результатів.

Текст розділу «**Результати**» викладають згідно із метою дослідження. Не дублюють методіку. Розміщують таблиці та рисунки з мінімумом тексту. Всі пояснення до рисунків і таблиць та порівняння з даними інших авторів розміщують у розділі «**Обговорення**».

У розділі «**Обговорення**» демонструють значущість отриманих результатів у контексті наявних досліджень, висвітлюють обмеження дослідження та перспективи його поглиблення.

«**Висновки**» мають бути чіткими та стислими й відповідати поставленим завданням, можуть містити пропозиції чи рекомендації для дослідників або практиків.

У розділі «**Подяки**» зазначають осіб, які не відповідають критеріям авторства, але надали професійні послуги зі збору матеріалу, написання чи редагування статті. Автори мають упевнитися, що зазначені особи погоджуються бути згаданими у розділі «Подяки».

Зразки розділу «Подяки» (Acknowledgments):

Подяки. Автори вдячні дослідникам лабораторії... Інституту...

Acknowledgments. The authors would like to thank the researchers of the Laboratory ... and the anonymous reviewers for their valuable advice, useful and constructive recommendations and text revision.

Дані про «Джерела фінансування» мають містити як мінімум посилання на бюджетну чи господарську договірну тему, гранти тощо. Усі джерела фінансування дослідження, про яке повідомляється в статті, мають бути задекларовані. Якщо спонсор відігравав певну роль у розробленні концепції, дизайні, зборі даних, аналізі, прийнятті рішення про публікацію або підготовці рукопису, про це має бути повідомлено.

Зразки розділу «Джерела фінансування» (Sources of Funding):

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання тем досліджень УкрНДІЛГА (тема №), замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України, ...

Sources of Funding. This work was supported by (grant number xxxx).

«Посилання» містять перелік лише тих джерел (публікацій, вебсайтів тощо), на які є посилання у тексті. Всі посилання, що є у тексті, мають бути описані у розділі «Посилання».

Текст рукопису набирати у текстовому редакторі Word, подавати у форматі *.doc (*.docx). Стилі не застосовувати. Текст статті набирати шрифтом Times New Roman 12 pt, між рядками одинарний інтервал, розмір паперу А4, береги: угорі та внизу – 2,1 см, бокові – 2 см; номери сторінок у файлі не ставити. Рівняння тексту – по ширині, абзацний відступ 0,8 см.

У лівому верхньому куті зазначити УДК (10 pt). НАЗВУ СТАТТІ набирати великими літерами (12 pt, напівгрубий, рівняння по центру). Нижче вміщувати ініціали та прізвища авторів через кому з відповідною виноскою внизу сторінки конкретно по кожному автору із зазначенням такої інформації:

- прізвище, ім'я, по батькові автора;
- науковий ступінь та наукове звання;
- повна офіційна назва установи, де працює автор, її юридична адреса;
- електронна адреса;
- номер ORCID.

Зірочкою (*) позначити автора, який буде вести кореспонденцію на всіх етапах рецензування та публікації, а також після неї.

Анотацію українською мовою (120–150 слів) розміщувати після прізвищ авторів, набирати шрифтом 10 pt, наприкінці її вміщувати ключові слова (до п'яти слів або словосполучень). Ключові слова не повинні повторювати слова із назви статті.

Анотацію англійською мовою набирати за такими ж правилами, як і українською, але вміщувати після «ПОСИЛАНЬ». Перед текстом анотації англійською мовою (10 pt) вміщувати назву статті, прізвища та ініціали авторів через кому з відповідною виноскою внизу сторінки конкретно по кожному автору із зазначенням повної інформації про авторів англійською мовою (прізвище, ім'я автора; науковий ступінь та наукове звання; повна офіційна назва установи, де працює автор, її юридична адреса; електронна адреса; ORCID). **Увага!** Назву установи англійською мовою слід наводити так, як її зазначено в англійській версії офіційного сайту установи. Після тексту анотації навести ключові слова англійською мовою.

Родові та видові назви рослин і тварин під час першого згадування наводити латинською мовою курсивом.

Таблиці і рисунки

Таблиці й рисунки повинні мати назви та єдину нумерацію, бажано розміщувати їх після першого згадування. Ілюстрації не повинні дублювати таблиці, а текст – цифри з таблиць і рисунків.

Таблиці й рисунки надавати лише в книжному форматі.

У статтях, написаних українською мовою, підписи до рисунків і заголовки таблиць, примітки до них, заголовки головок і боковиків таблиць потрібно подавати двома мовами – українською та англійською.

Зразок оформлення ТАБЛИЦІ:

Статистичні показники значення щільності забруднення лісових ґрунтів ¹³⁷Cs за різної кількості спостережень (2020 р.)

Таблиця 4

Table 4

Statistical values for the density of forest soil contamination with ¹³⁷Cs for different numbers of observations (2020)

№ кварталу Compartment number	Кількість зразків Number of samples	Статистичні параметри значення щільності радіоактивного забруднення, кБк·м ⁻² Statistical values for the density of radioactive contamination, kBq·m ⁻²						
		<i>M</i>	$\pm m$	$\pm\sigma$	max	min	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %
82	35	133,3	10,52	62,2	355,2	37,0	46,7	7,9

Зразок оформлення підписів до РИСУНКІВ

Рис. 2 – Динаміка втрати води тканинами листя різних клонів тополь

Fig. 2 – Dynamics of water loss by leaf tissues of different poplar clones

Графіки й діаграми виконують засобами *Microsoft Excel*. Використовують лише чорно-біле забарвлення та штрихування. Назви рисунків набирають у тексті, а не на рисунку. Окремо додають файл *.xls для зручності редагування. У випадку великого тексту легенди в ній указують скорочені назви або цифрові позначення, які розшифровують у дужках у підписі до рисунку. Якщо рисунки виконані в іншій програмі та не відповідають вимогам до оформлення, їх повертають авторам для виправлення.

Скановані чорно-білі рисунки або фотографії подають у форматі *.jpg. На мікрофотографіях зазначають збільшення.

Посилання

Всі бібліографічні посилання рукопису, незалежно від мови статті, яку подають, мають бути наведені латиницею та оформлені за **Гарвардським стилем цитування (Harvard Referencing Style)**: <https://www.mendeley.com/guides/harvard-citation-guide/>

Посилання на інші публікації в тексті слід оформлювати таким чином:

- одноосібний автор: (Meshkova, 2006);
- два автори: (Meshkova and Davydenko, 2006);
- три або більше авторів: (Meshkova *et al.*, 2006); “*et al.*” завжди слід писати курсивом;
- без автора: (*Monitoring and increasing the resilience of man-made forests*, 2011).
- кілька посилань в одному місці тексту оформлюють в одних дужках, розділивши їх крапкою з комою; перелічувати їх слід у порядку року публікації: (Catal and Carus, 2011; Yan *et al.*, 2016; Kollas *et al.*, 2018; Pilichowski *et al.*, 2018);
- кілька джерел одного автора, які опубліковані в різні роки: (Morey, 2010; 2019);
- кілька джерел одного автора, які опубліковані в одному році, важливо розрізнити у посиланнях, ставлячи після року в першому джерелі, на яке посилаються автори статті, літеру «а», у другому – «b» і так далі: (Danylenko *et al.*, 2021a), (Danylenko *et al.*, 2021b).

Автоматичні посилання на джерела **заборонені**. Прізвища авторів наводити у транслітерації латиницею або в англійському варіанті написання.

Розділ ПОСИЛАННЯ – REFERENCES вміщувати після тексту статті. Джерела не нумерувати, наводити за абеткою, використовуючи наведені нижче рекомендації щодо стилю. За наявності ідентифікатора DOI та ISBN зазначити їх наприкінці посилання.

Назви періодичних видань наводити повністю.

Роботи, написані латиницею, подавати мовою оригіналу.

Роботи, написані кирилицею, подавати таким чином: імена авторів англійською мовою (або транслітеровані), рік, переклад назви статті англійською мовою, транслітерована або загальноприйнята назва видання англійською мовою, том, номер, діапазон сторінок; далі у квадратних дужках – імена авторів та оригінальна назва статті; наприкінці посилання зазначити мову оригіналу (in Ukrainian). Якщо стаття, надрукована кирилицею, має англійську анотацію, то використовувати наведену в цій анотації назву статті та зазначений варіант написання імен авторів.

Зразки оформлення ПОСИЛАНЬ

Книга:

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) *Назва книги*. Видання (2-ге, 3-тє, ...; зазначається за потреби, якщо не перше). Місце видання: Видавництво. ISBN (за наявності)

Зразок:

Hrom, M.M. (2007) *Forest mensuration*. 2nd edn. Lviv: RVV NLTU. [Гром М. М. Лісова таксація] (in Ukrainian).

Частина книги:

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) ‘Назва розділу’ in Прізвище редактора, Ініціали. (ed(s.)) *Назва книги*. Місце видання: Видавництво, номери сторінок. ISBN (за наявності)

Зразок:

Davydenko, K. and Meshkova, V. (2017) ‘The current situation concerning severity and causes of ash dieback in Ukraine caused by *Hymenoscyphus fraxineus*’ in Vasaitis, R. and Enderle, R. (eds.) *Dieback of European Ash (Fraxinus spp.): Consequences and Guidelines for Sustainable Management*. Uppsala: SLU Service/Repro, pp. 220–227. ISBN 978-91-576-8696-1

Книга з редактором:

Прізвище редактора, Ініціали. (ed(s.)) (Рік видання) *Назва книги*. Видання (зазначається за потреби, якщо не перше). Місце видання: Видавництво. ISBN (за наявності)

Зразок:

Didukh, Ya.P. (ed.) (2009) *Red Book of Ukraine. Plant World*. Kyiv: Global consulting. [Дідух Я. П. Червона книга України. Рослинний світ] (in Ukrainian).

Книга без редактора:

Назва книги (Рік видання). Місце видання: Видавництво. ISBN (за наявності)

Зразок:

Monitoring and increasing the resilience of man-made forests. (2011). Kharkiv: Nove slovo. [Моніторинг і підвищення стійкості штучних лісів] (in Ukrainian).

Статті у періодичних виданнях:

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) ‘Назва статті’, *Назва журналу*, том(випуск), номери сторінок.

Зразок:

Danylenko, O.M., Yushchuk, V.S., Rumiantsev, M.H. and Mostepaniuk, A.A. (2021) ‘Some features of the growth and condition of pine plantations created by different planting material’, *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1), pp. 26–29. [Даниленко, О. М., Ющик, В. С., Румянцев, М. Г., Мостепанюк, А. А. Особливості росту та стану соснових культур, створених різним садивним матеріалом, у Південно-східному лісостепу України] (in Ukrainian). <https://doi.org/10.36930/40310104>

Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Shlonchak, H. A., Samoday, V. P. and Neyko, I. S. (2015) ‘Results of pine and oak plus trees selection in the plains of Ukraine and in Crimea in 2010–2014’, *Forestry and Forest Melioration* [Лісівництво і агролісомеліорація], 126, pp. 139–147. [Лось С. А., Терещенко Л. І., Шлончак Г. А., Самодай В. П., Нейко І. С. Результати відбору плюсових дерев сосни і дуба в рівнинній частині України та Криму у 2010–2014 рр.] (in Ukrainian).

Матеріали конференцій

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) ‘Назва публікації’, in Прізвище редактора, Ініціали. (Ed.), *Назва матеріалів конференції, яка може містити місце та дату (дати) проведення*. Місце видання: Видавництво, номери сторінок. ISBN (за наявності)

Зразок:

Slobodyan, P.Ya. (2013) ‘Classification of trees in stands for forest protection needs’, in *Forestry Education and Science: History, current State and Development Prospects. Proceedings of the International Scientific and Practical Conference* [Лісівнича освіта і наука: історія, сучасний стан та перспективи розвитку: матеріали міжнародної науков-практ. конф.]. Kharkiv: KhNAU, pp. 155–158. [Слободян П. Я. Класифікація дерев у лісостані для потреб лісозахисту] (in Ukrainian).

Millers, M. and Magaznieks, J. (2012) ‘Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stem wood and bark moisture and density influencing factors’, in *Research for Rural Development. International Scientific Conference*. Jelgava: LLU, Vol. 2, pp. 91–98.

Дисертації

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) *Назва дисертації*. PhD thesis. Місце захисту: Університет

Зразок:

Sydorenko, S.G. (2017) *Postpyrogenic growth of Scots pine stands in the Left-bank Forest Steppe of Ukraine*. PhD thesis. Kharkiv: URIFFM. [Сидоренко С. Г. Постпірогенний розвиток сосняків Лівобережного Лісостепу України. Дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук] (in Ukrainian).

Автореферати дисертацій

Прізвище автора, Ініціали. (Рік видання) *Назва документу*. Extended abstract of PhD thesis. Місце захисту: Університет.

Зразок:

Bobrov, I.O. (2016) *Spread and injuriousness of pine bark bug in the stands of Novgorod-Siverske Polissya*. Extended abstract of PhD thesis. Kharkiv: URIFFM. [Бобров І. О. Поширеність і шкідливість соснового підкорового клопа в насадженнях Новгород-Сіверського Полісся. Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук] (in Ukrainian).

Стандарти:

Зразок:

Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006. (2007). Valid from May 1, 2007. Kyiv: Ministry of Agrarian Policy of Ukraine. [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. СОУ 02.02-37-476:2006] (in Ukrainian).

Електронні ресурси:

Статті

Прізвище автора, Ініціали. (Рік) ‘Назва статті’, *Назва журналу*, том(випуск), номери сторінок. Available at: URL (Accessed: День Місяць Рік).

Зразок:

Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F. and Bernard, L. (2020) ‘ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform’, *International Journal of Digital Earth*, 14(3), pp. 338–356. Available at: <https://climatecharts.net> (Accessed: 13 March 2023).

Записи джерел для веб сторінок без чітко визначеного автора можуть починатися з назви відповідного сайту або організації:

Організація (Рік останнього оновлення сторінки) *Заголовок веб-сторінки*. Available at: URL (Accessed: День Місяць Рік).

Зразок:

Google (2019) *Google terms of service*. Available at: <https://policies.google.com/terms?hl=en-US> (Accessed: 27 January 2020).

UNECE (2023) *The European Forest Sector Outlook Study II (2010-2030)*. Available at: <https://unece.org/forests/publications/european-forest-sector-outlook-study> (Accessed: 5 January 2023).

Публікація без автора:

Коли джерело не має чітко визначеного автора, часто існує відповідне корпоративне джерело – організація, відповідальна за джерело, – яке можна зазначити як автора. Якщо ж це не так, можна просто замінити його назвою джерела як у внутрішньотекстовому посиланні, так і в списку використаних джерел, наприклад:

Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 756 dated 26 October 2016. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (Accessed: 30 April 2023) [Санітарні правила в лісах України. Постанова Кабінету міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756] (in Ukrainian).

Окремим файлом (формат ***.doc (*.docx), *.rtf**) до статті необхідно подати **розширене резюме (SUMMARY) англійською мовою (загальна кількість знаків без пробілів 2700–3000)**. Резюме має бути відповідним чином структурованим, зокрема має містити такі структурні елементи: **Introduction, Materials and Methods, Results, Conclusions, Keywords**. Таке резюме у паперовому варіанті друкуватися не буде, але є обов’язковим для розміщення на веб-сторінці видання.

Сайт збірника «Лісівництво і агролісомеліорація»: <https://forestry-forestmelioration.org.ua>

ДОВІДКА РЕЦЕНЗЕНТА

Рецензент статей, які можуть бути надруковані у збірнику наукових праць «Лісівництво і агролісомеліорація», має звернути увагу на такі аспекти.

1. Назва статті – чи відображає зміст і мету статті, чи є достатньо унікальною (з уточненням регіону, лісорослинних умов тощо) і достатньо лаконічною.

2. Чи тема відповідає науковому профілю збірника?

3. Чи є тема актуальною, чи має дослідження новизну та практичне значення?

4. Анотація – чи відповідає змісту та висновкам, чи достатнього обсягу (120–150 слів)?

5. Резюме англійською мовою, яке має розміщуватися на сайті, має містити 2700–3000 знаків без пробілів і бути структурованим: *Introduction. Materials and Methods. Results. Conclusions. Keywords.*

6. Ключові слова мають бути адекватні змісту статті (до 5 слів чи словосполучень). Вони не повинні повторювати слова із назви статті.

7. У Вступі має бути наведено стан питання, зазначено, що не вивчено або вивчено недостатньо, які є суперечні дані. В кінці вступу має бути сформульована мета дослідження. Мета не повинна дублювати назву статті.

8. Матеріали й методи. Де, коли і як проведено дослідження? Які статистичні методи використано для аналізу одержаних даних? Чи надано достатні подробиці, щоб незалежний дослідник міг відтворити роботу? Якщо методика вже опубліковано, на них має бути посилання. Будь-які зміни в існуючих методиках також мають бути описані.

9. Результати. Чи результати дослідження правильно презентовано? Чи коректно побудовано таблиці та графіки? Чи на всі таблиці та рисунки є посилання у тексті? Звернути увагу на точність округлення цифр у графіках і таблицях, на наявність пояснень символів у примітках.

10. Обговорення. Чи наявний аналіз отриманих даних, порівняння з подібними публікаціями з інших регіонів? Дати можливі пропозиції за необхідності.

11. Чи висновки повно і правильно ілюструють результати дослідження, чи вони впливають із результатів? Чи є висновки чіткими та стислими?

12. Чи можуть або мають деякі частини статті бути скорочені, вилучені, розширені або перероблені? Чи є рекомендації з погляду стилю й мови?

13. Список літератури. Чи є задовільною кількість літературних джерел? Чи є доцільними всі посилання? Чи оформлений список літератури за абеткою та згідно із сучасними вимогами, чи на всі джерела списку є посилання в тексті?

14. Рекомендації:

a. опублікувати без змін

b. може бути опублікована після незначних змін

c. може бути опублікована після значних змін

d. має бути відхилена

Додаткові думки, зауваження та рекомендації рецензента:

Підпис рецензента

ЗМІСТ

ЛІСІВНИЦТВО	
Назаренко В. В., Пастернак В. П., Склярів В. О. Динаміка показників лісового фонду філії «Зміївське ЛГ» Nazarenko V. V., Pasternak V. P., Sklyarov V. O. Dynamic of indicators of forest fund of the Branch “Zmiivske Forestry”	3
Тарнопільська О. М., Тарнопільський П. Б., Мусянко С. І., Лук'янець В. А. Особливості лісовідновлення насаджень сосни звичайної на зрубках в умовах Малої Поліссія Tarnopilska O. M., Tarnopilskiy P. B., Musienko S. I., Lukyanets V. A. Features of pine stand reforestation in clear-cuts of Male Polissia	13
СЕЛЕКЦІЯ, ДЕНДРОЛОГІЯ	
Шлончак Г. А., Яшчук І. В., Митроченко В. В., Лавренюк О. А. Характеристика насіння з різновікових насінних плантацій сосни звичайної (<i>Pinus sylvestris</i> L.) державного підприємства «Клавдієвська лісова науково-дослідна станція» Shlonchak G. A., Yashchuk I. V., Mytrotchenko V. V., Lavrenyuk O. A. Characteristics of Scots pine (<i>Pinus sylvestris</i> L.) seeds from seed orchards of different ages in the State Enterprise “Klavdiievo Forest Research Station”	26
ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ	
Даниленко О. М., Румянцев М. Г., Тарнопільський П. Б., Лук'янець В. А. Особливості росту лісових культур дуба звичайного, створених різним садивним матеріалом, у ДП «Харківська ЛНДС» Danylenko O. M., Rumiantsev M. H., Tarnopilskiy P. B., Lukianets V. A. Features of the growth of English oak forest plantations established with different planting materials in Kharkiv Forest Research Station	38
Тупчій О. М. Різноманіття трав'яної рослинності полязахисних лісових смуг, трансформованих у насадження орно-польового агролісівництва, у Правобережному Лісостепу України Tupchii O. M. Diversity of grass vegetation in field shelterbelts transformed into silvoarable agroforestry plantings in the Right-Bank Forest-Steppe of Ukraine	46
Ющик В. С. Приживлюваність і показники росту культур сосни звичайної, створених різними видами садивного матеріалу у південно-східній частині Лівобережного Лісостепу України Yushchik V. S. Survival and growth characteristics of forest pine plantations established with different planting stock types in the south-eastern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine	57
ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ	
Орлов О. О., Жуковський О. В., Курбет Т. В., Шевчук В. В. Інтенсивність акумулювання ¹³⁷ Cs та ⁴⁰ K конвалією звичайною (<i>Convallaria majalis</i> L.) у Житомирському Поліссі Orlov O. O., Zhukovskiy O. V., Kurbet T. V., Shevchuk V. V. Intensity of ¹³⁷ Cs and ⁴⁰ K accumulation by lily-of-the-valley (<i>Convallaria majalis</i> L.) in Zhytomyr Polissia	65
Сидоренко С. Г., Балабух В. О., Мельник Є. Є., Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. В. Оцінювання ймовірних змін пожежної небезпеки у лісах України в умовах зміни клімату Sydorenko S. H., Balabukh V. O., Melnyk Ye. Ye., Voron V. P., Koval I. M., Sydorenko S. V. Assessment of potential changes in the fire danger in the Ukrainian forests under the climate change	76
ЗАХИСТ ЛІСУ	
Давиденко К., Скряльник Ю. С., Воробей Є. В., Батуркін Д., Мешкова В. Л. Ясенова смарагдова вузькотіла златка: стратегія контролювання з урахуванням ризику Davydenko K., Skrylnyk Y., Vorobei E., Baturkin D., Meshkova V. L. Ysenova smaragdova vuz'kotila zlatka: strategiya kontrolyuvannya z urakhuvannya rizyku	90
Булат А. Г. Ефективність застосування фунгіцидів для захисту катальпи бігніонієвидної від борошнистої роси Bulat A. G. Effectiveness of fungicides for protection of <i>Catalpa bignonioides</i> against powdery mildew	103
Дишко В., Боровик П., Ошако Т., Давиденко К. Мікоризні асоціації сосни: види, їхні характеристики та роль у лісових екосистемах Dyshko V., Borovyk P., Oshako T., Davydenko K. Mycorrhizal associations of pine: Species, their characteristics, and role in forest ecosystems	112
Скряльник Ю. С., [Кукіна О. М.], Зінченко О. В., Власенко Н. О., Туренко В. П. Поширеність та інтенсивність пошкодження листя <i>Tilia cordata</i> Mill. у міських і лісових насадженнях Харківщини Skrylnyk Y. Y., [Kukina O. M.], Zinchenko O. V., Vlasenko N. O., Turenko V. P. Prevalence and severity of <i>Tilia cordata</i> Mill. foliage damage in urban and forest plantings of Kharkiv region	123

<i>Хрик В. М., Ситник О. С., Кімейчук І. В., Лозінська Т. П., Масальський В. П. Прогнозування розвитку збудників хвороб і шкідників на підставі кліматичних змін</i> <i>Khryk V.M., Sytnyk O.S., Kimeichuk I.V., Lozinska T.P., Masalsky V.P. Forecasting the development of pathogens and pests based on climate changes</i>	134
ЕКОНОМІКА, МИСЛИВСТВОЗНАВСТВО	
<i>Калашніков А. О., Жежкун І. М., Торосов А. С. Втрати ресурсів деревини та біорізноманіття лісів України</i> <i>Kalashnikov A. O., Zhezhkun I. M., Torosov A. S. Loss of wood resources and biodiversity in Ukrainian forests</i>	143
ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ	155
ДОВІДКА РЕЦЕНЗЕНТА	160