

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 142



Харків – УкрНДІЛГА
2023

Головний редактор	д-р с.-г. наук, проф., член-кор. НАН і НААН України	В. П. Ткач
Заступник головного редактора	д-р с.-г. наук, проф.	В. Л. Мешкова
Відповідальний секретар	канд. фіз.-мат. наук, старш. дослідник	І. В. Оболоник

Редакційна колегія:

д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб.	А. М. Білоус
канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	І. Ф. Букша
канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	Н. Ю. Висоцька
д-р с.-г. наук, старш. наук. співроб.	В. П. Ворон
д-р с.-г. наук, проф.	Ю. І. Гайда
канд. с.-г. наук, доцент	К. В. Давиденко
д-р с.-г. наук, доцент	В. О. Крамарець
д-р біол. наук, проф.	Г. Т. Криницький
канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	С. А. Лось
д-р с.-г. наук, проф.	В. П. Пастернак
канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	О. М. Тарнопільська
канд. с.-г. наук, старш. наук. співроб.	І. М. Усцький
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. Пушкінська, 86, УкрНДЦЛГА.
Тел. 8-057-707-80-01, e-mail: Valentynameshkova@gmail.com; obolonik@uriffm.org.ua

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

Л 50

Рекомендовано до друку рішенням Ученої ради УкрНДЦЛГА, протокол № 10 від 27 червня 2023 р.

Лісівництво і агролісомеліорація. – Харків: УкрНДЦЛГА, 2023. – Вип. 142. – 176 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, 2023. – Iss. 142. – 176 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.

Свідоцтво про державну реєстрацію Серія КВ № 15588-4060Р від 12.08.2009

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



Розглянуто зміну продуктивності деревостанів основних лісоутворювальних порід Східного Полісся України. Продуктивність деревостанів аналізували за їхньою найціннішою продукцією – стовбурною деревиною. На підставі тривалих стаціонарних досліджень на постійних пробних площах визначено показники зміни запасу, відпаду, періодичного приросту за запасом деревостанів. Високі показники періодичного приросту за запасом виявлено в середньовікових деревостанах. У 44-річному сосняку свіжого сугрудуватого дубово-соснового субору відносно повною 0,87 поточний середній періодичний приріст за запасом за кожен п'ятирічний період упродовж 2008–2022 рр. становив 9,7–19,5 м³га⁻¹ стовбурної деревини, із нього відпад – 2,8–9,4 м³га⁻¹ (25–48 %). Наявний запас деревостанів, запас відпаду та обсяг вилученої деревини під час проведення рубок слід враховувати для визначення загальної продуктивності лісів. Ступінь використання приросту за запасом деревостанів у регіоні можливо збільшити до 60–70 % шляхом використання запасу відпаду та оптимізації лісокористування. Визначення особливостей динаміки продуктивності деревостанів забезпечить можливість добору заходів щодо підвищення продуктивності й посилення середовищевірних функцій лісів, збереження їхньої біотичної стійкості.

Ключові слова: зміна запасу, відпад, приріст, клас бонітету, тип лісу.

Вступ. Одним із основних відновлювальних природних ресурсів України є ліси, які надають різноманітні та важливі для існування людства екосистемні послуги (ЕП) (Di Cori et al. 2022). В останні десятиріччя згідно з політикою Європейського Союзу, спрямованою на адаптування до зміни клімату (Böhling & Marques Todeschini 2021, Lier et al. 2022), збільшується еколого-економічна значущість саме ЕП лісів (Bontemps 2021, Yao et al. 2021, Zhezkun 2021b). Неринкова вартість ЕП може перевершувати прибуток від реалізації деревини у 4–12 разів і більше (Yao et al. 2021). У складі матеріальних ресурсів лісу найбільшу частку становить деревина.

У лісівничій науці й практиці продуктивність лісостанів як основного матеріального ресурсу визначається сумарною кількістю фітомаси всіх морфологічних частин деревостану певного віку з урахуванням підросту, підліску та живого надґрунтового покриву (Forestry. Terms and definitions 1997). Панівну частину фітомаси (95 % і більше) становить органічна маса деревостану, а решту 5 % – нижні яруси рослинності (Melekov 1980). Стовбурова деревина становить понад 2/3 органічної маси деревостану (Lakyda 2001, Shvydenko & Ostapenko 2001), тобто є основною частиною біологічної продуктивності лісу.

Ліси у світі за певної продуктивності географічно розміщені дуже нерівномірно. Так, європейські ліси поширені на площі 215 млн. га (5,4 % площі світових лісів) і мають запас деревини 35 млрд. м³ (6,5 % світових лісових запасів), тобто є продуктивнішими, ніж у середньому у світі (Bontemps 2021). За останні десятиріччя площа і запас лісів (відповідно, і біологічна продуктивність) у Європі збільшилися, на відміну від регіонів із зворотною тенденцією (зокрема Китаю та Індії).

Сучасний рівень лісокористування в Україні та інших країнах не дає змоги повною мірою використовувати всю органічну масу деревостану. Хоча найбільшу товарну цінність має стовбурна деревина, останніми роками збільшується використання інших компонентів фітомаси: верхівок, гілок дерев, кори, підліску тощо (Fuchilo et al. 2016, Di Cori et al. 2022). Водночас існує думка, що коріння, тонкі гілки, хвоя та листя мають залишатися на лісових ділянках для збереження й підвищення родючості лісових ґрунтів (Bessaad et al. 2021).

Запаси стовбурної деревини становлять фактичну продуктивність деревостану (Turkevich et al. 1973, Turkevich 1977, Siryk et al. 1991, Vedmid & Zhezhkun, 2014). Більшість дослідників для дослідження продуктивності використовують наявний запас деревостанів певних порід без урахування відпаду. Подібна тенденція наявна під час порівняння

за матеріалами лісовпорядкування фактичної продуктивності деревостанів із природною (Vorobyov 1959) або потенційною (Turkevich et al. 1973, Ostapenko & Tkach 2002, Vedmid & Gavrilov 2004, Tkach et al. 2018). Величини середнього запасу на 1 га змінюються внаслідок зміни площі вкритих лісовою рослинністю земель, вікової структури деревостанів та участі деревних порід у складі мішаних деревостанів (Vasiliev 1962, Toïgo et al. 2022).

Продуктивність деревостанів тісно пов'язана з їхнім приростом. Водночас у таксаційних описах лісостанів за окомірної оцінки лісовпорядкування надає лише запаси деревини живих дерев і наявної відмерлої деревини, а загальний приріст і поточний відпад за певний період не визначають. Такі дані можна отримати тільки в результаті тривалих стаціонарних досліджень на пробних площах. Оцінювання зміни таксаційних показників деревостанів за певний часовий період даватиме можливість виконати добір заходів щодо підвищення продуктивності за умови збереження біотичної стійкості й довговічності, виконання захисних та середовищотвірних функцій лісостанів (Forest Code of Ukraine 1994). Визначення динаміки продуктивності лісів дасть змогу оптимізувати лісокористування, визначити обсяги лісовідновлення, прогнозувати ріст і розвиток деревостанів (Turkevich 1977). Динаміку продуктивності деревостанів у Східному Поліссі України у минулі роки не досліджували, що визначає наукову новизну та актуальність досліджень.

Метою роботи було визначення зміни продуктивності деревостанів лісоутворювальних порід у Східному Поліссі України на прикладі ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС».

Матеріали й методи. Східне (Лівобережне) Полісся знаходиться у східно-північній частині України і поділяється на дві фізико-географічні області: Чернігівське Полісся та Новгород-Сіверське Полісся (Porov et al. 1968). У лісовому фонді державних лісогосподарських підприємств Східного Полісся станом на 01.01.2012 (загальна площа – 486,9 тис. га) лісові землі становили 95,8 %, вкриті лісовою рослинністю землі – 89,9 %. До лісів I категорії належать 15,5 %, II категорії – 16,5 %, III категорії – 10,1 %, IV категорії – 57,9 %. За видовим складом переважають соснові (66,4 % вкритих лісовою рослинністю земель), дубові (11,3 %) та березові (10,4 %) деревостани. Домінантними типами лісу є свіжий дубово-сосновий суббір (44,8 %), свіжий бір (9,2 %), вологий дубово-сосновий бір (7,8 %), свіжий липово-дубово-сосновий сугруд (6,6 %), свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (5,8 %), вологий грабово-дубово-сосновий сугруд (5,2 %), сирий чорновільховий сугруд (3,9 %). Середній клас бонітету соснових деревостанів – I^a,9, дубових – I,9. Низькопродуктивні (IV і нижчих класів бонітету) сосняки займають лише 0,3 %, дубняки – 2,3 % вкритих лісовою рослинністю земель. Не вкриті лісовою рослинністю землі (6,4 тис. га) представлені переважно зрубамі (70,7 %), частка галявин і реміз – 28,1 %. До нелісових земель (20,3 тис. га) належать болота (59,6 %), сільськогосподарські угіддя (22,5 %), піски (3,4 %) тощо (Zhezhkun 2021a).

Аналіз продуктивності деревостанів здійснювали за їхньою найбільш цінною продукцією – стовбурною деревиною. Продуктивність деревостанів визначали в об'ємних показниках – кубічних метрах. Загальна продуктивність деревостану (P^3) складалася з наявного запасу (M^H), запасу відпаду (M^B), запасу вилученої деревини у процесі проведення рубок формування й оздоровлення лісів ($M^{B.D}$); її визначали за формулою (1):

$$P^3 = M^H + M^B + M^{B.D} \quad (1)$$

Для записів символів таксаційних показників і формул використовували такі джерела: Anuchin 1982, Kashpor & Strochinskiy 2013, Mensuration and Forest Management. The growth of wood in the forest stand. Classification and Notation. Basic calculation formulas. Terms and Definitions. Industry Standard 56-73-84.

Зміну лісівничо-таксаційних показників деревостанів визначали на постійних пробних площах (ППП), які закладали за загальноприйнятими методиками (Anuchin 1982, Forest Inventory Sample Plots 2007) упродовж 2007–2015 рр. у Слобідському дослідному лісництві

ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС». Нумерація та опис ППП містяться в базі даних (Zhezhkun 2021a). На деревах позначали фарбою порядковий номер і місце вимірювання діаметра на висоті 1,3 м. У деревостанах штучного походження облік дерев здійснювали в кожному ряду. Для кожного дерева визначали діаметр на висоті 1,3 м, клас Крафта (Shvydenko & Ostapenko 2001) і категорію санітарного стану (Sanitary Forests Regulations in Ukraine 2016). Наступні інвентаризації ППП проводили через 5–7 років (табл. 1).

Таблиця 1

Динаміка лісівничо-таксаційних показників деревостанів на постійних пробних площах

№ ППП, площа, га	Рік обліків	Склад	Вік, років	Середня висота, м	Середній діаметр, см	Відносна повнота	Кількість дерев, штга ⁻¹	Запас, м ³ га ⁻¹	Індекс типу лісу
1-Слб, 0,225	2007	10Сз, од.Клг, Взг,Лпд,Дз	44	21,3	25,4	0,87	834	384,0	В ₂ ^с - дС
	2012	10Сз+Клг,од. Лпд,Взг,Дз	49	22,8	26,5	0,89	791	418,6	
	2017	10Сз+Клг+Лпд,од.Взг,Дз	54	26,3	29,4	0,89	742	489,7	
	2022	10Сз+Лпз+Клг+Взг,од.Дз	59	28,5	32,0	0,95	670	520,6	
14-Слб 0,22	2011	I 9,7Яле0,2Бп0,1Сз,Ос	48	24,8	25,3	0,64	815	459,3	С ₂ ⁻ - гдС
		II 9,6Лпд0,4Дз	48	16,4	12,3	0,18	337	34,5	
	2016	I 9,9 Яле0,1СзОс	53	25,2	26,7	0,63	737	482,0	
		II 7,7Лпд2,0Бп0,3Дз	53	17,4	14,1	0,18	314	46,1	
	2021	I 9,8Яле0,1Бп0,1Сз,Ос	58	27,2	27,7	0,67	746	545,1	
		II 9,6Лпд0,4Дз	58	19,0	15,0	0,13	255	42,4	
19-Слб 0,11	2015	I 9,1Бп0,1Дз,Сз,Ос,Лпд	22	13,5	10,7	0,77	2100	121,3	С ₂ ^В - гдС
	2022	I 9,9Бп0,1Ос	29	17,4	13,4	0,74	1427	176,1	
		II 9,7Дз0,2Лпд0,1Врк	29	10,4	9,5	0,14	601	13,7	
21-Слб 0,05	2015	5,3Тпг4,7Бп,од.Сз,Врк	6	5,3	4,3	0,15	1360	8,2	С ₂ - Гдс
	2021	8,1Тпг1,9Бп,од.Врк	12	15,0	15,4	0,57	1300	129,8	

Поточний періодичний приріст дерев за діаметром ($Z_d^{п.п.}$) розраховували за різницею діаметра в певному віці (d_a) та діаметра за попередній період (d_{a-n}) за формулою (2):

$$Z_d^{п.п.} = d_a - d_{a-n} \quad (2)$$

Запас деревостанів (M , м³га⁻¹) на ППП оцінювали за матеріалами обліку дерев із використанням нормативно-довідкових матеріалів (Shvydenko et. al. 1987, Kashpor & Strochinskiy 2013). Клас бонітету визначали за середньою висотою, віком та походженням елементу деревостану, а приріст деревостанів – за вимогами (Mensuration and forest management 1984). Зміну запасів деревостанів (Δ_M , м³га⁻¹) розраховували за різницею запасу деревостану у віці A років (M_A , м³га⁻¹) та запасу деревостану n років тому (M_{A-n} , м³га⁻¹) за формулою (3):

$$\Delta_M = M_A - M_{A-n} \quad (3)$$

Рубок лісу на дослідних об'єктах за період досліджень не проводили. Поточний періодичний приріст за запасом деревостанів ($Z_M^{п.п.}$, м³га⁻¹) визначали як суму зміни запасів (Δ_M , м³га⁻¹) і запасу відпаду ($M_n^в$, м³га⁻¹) за певний період (n) за формулою (4):

$$Z_M^{п.п.} = \Delta_M + M_n^в \quad (4)$$

Запас відпаду становив суму об'ємів стовбурів дерев із урахуванням їхнього приросту на час проведення досліджень. Визначали поточний середній періодичний приріст за запасом за кожен період досліджень. Показники приросту деревостанів порівнювали з даними таблиць ходу росту повних деревостанів певних порід (Shvydenko et. al. 1987, Kashpor &

Strochinskiy 2013). Матеріали досліджень обробляли математичними методами із застосуванням програмного забезпечення Microsoft Excel.

На підставі аналізу результатів досліджень рекомендували заходи щодо підвищення продуктивності лісів Східного Полісся.

Результати та обговорення. Результати аналізу матеріалів лісовпорядкування свідчать, що загальний запас деревостанів у лісовому фонді Східного Полісся станом на 01.01.2012 становить 173,1 млн. м³ деревини (Zhezhkun 2021a). Середній запас на 1 га вкритих лісовою рослинністю земель становить 265 м³, а на 1 га лісової площі – 248 м³. Продуктивність лісів оцінювали у межах лісового фонду окремого лісового масиву або адміністративно-господарської одиниці (підприємства), а також окремого деревостану. Продуктивність лісів підприємства залежить від поділу лісового фонду за категоріями лісових і нелісових земель, поділу лісів за категоріями залежно від основних виконуваних ними функцій, наявності особливо захисних лісових ділянок із режимом обмеженого лісокористування, поділу за панівними породами, класами віку, повнотами, типами лісу та класами бонітету, а також рівня інтенсивності ведення лісового господарства.

Продуктивність лісів у регіоні постійно змінюється та за останні роки має тенденцію до збільшення. Зокрема, у ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» (загальна площа лісового фонду – 2101 га) за ревізійний період (2006–2015 рр.) площа вкритих лісовою рослинністю земель збільшилася на 34,9 га (1,8 %), загальний запас деревини збільшився від 501,9 до 582,9 тис. м³ (16,1 %). На підприємстві частка лісів I категорії становить 52,3 %, II – 3,6 %, III – 16,4 %, IV – 27,7 %. Переважають соснові деревостани (73 % від площі), частка дубняків – 12,7 %, березняків – 5,7 %. Домінантні типи лісу – свіжий грабово-дубово-сосновий сугруд (57 %) і свіжий дубово-сосновий субір (26 %). Середній клас бонітету – I^a,5. Ліси підприємства є подібними до лісового фонду регіону досліджень за переважанням частки лісів I категорії та за особливостями ландшафтно-типологічної диференціації.

Продуктивність деревостану залежить від типу лісу, видового складу, походження, віку, повноти, класу бонітету, впливу стихійних природних чинників (пожежі, вітровали, сніголами, шкідники, хвороби). Зокрема, у ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» упродовж 2006–2015 рр. середній запас на 1 га збільшився від 259 до 295 м³ (13,9 %), а запас стиглих і перестиглих деревостанів – від 267 до 294 м³ (10,1 %). Середній вік деревостанів збільшився з 59 до 68 років, а відносна повнота – з 0,66 до 0,67.

На продуктивність деревостанів, де проводять господарські заходи, також впливають способи лісовідновлення (природний, штучний), лісовирощування (класичний, плантаційний), вчасне та високоякісне проведення рубок формування та оздоровлення лісів. Збільшення обсягів рубок головного користування може призводити до зменшення загальних запасів деревостанів підприємств. Зокрема, у ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» унаслідок зростання інтенсивності лісокористування впродовж 2006–2015 рр. середня зміна запасу зменшилася з 9,0 до 8,9 тис. м³, або з 4,4 до 4,3 м³га⁻¹. При цьому не враховано показників відпаду, що зменшує загальну продуктивність.

Показники відпаду можна визначити за таблицями ходу росту повних деревостанів (Shvydenko et al. 1987). Деревину, що належатиме до відпаду у високоповнотних деревостанах, зазвичай вилучають під час проведення рубок догляду, призначених лісовпорядкуванням. Водночас відпад відбувається і в менш зімкнених і низькоповнотних деревостанах. За нашими розрахунками, упродовж 2006–2015 рр. у ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» зміна запасу становила 81,0 тис. м³, вилучено рубками 40,2 тис. м³, відпад становив 29,0 тис. м³, загальний приріст – 150,2 тис. м³ деревини.

Відпад за кількістю дерев є більшим у молодших деревостанах, а за запасом – у старших. У деревостанах стиглого віку показники відпаду можуть збільшуватися, що є, за інших однакових умов, підставою для призначення рубок головного користування. Перед проведенням кінцевого прийому рівномірно-поступових рубок у соснових деревостанах,

розріджених до відносної повноти 0,3–0,4, відпад дерев (від дії сильних вітрів) може збільшуватися.

Чимале нагромадження запасу деревини приросту відбувається в середньовікових деревостанах, що узгоджується з відповідними табличними даними (Shvydenko et. al. 1987; Kashpor & Stochinskiy 2013). У разі панування у складі 44-річного деревостану сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на ППП 1-Слб, що росте за I^b класом бонітету, упродовж п'яти років відбувається збільшення середньої висоти (на 1,5 м, або на 7 %) та середнього діаметра (на 1,1 см, або на 4,3 %) (див. табл. 1). За наступний п'ятирічний період (2013–2017 рр.) визначено збільшення показників середньої висоти (на 3,5 м, або на 15,3 %) та середнього діаметра (на 2,9 см, або на 10,9 %). Зростання різниці середніх морфометричних показників більше ніж у два рази, порівнюючи з попереднім обліковим періодом, пояснюється збільшенням приросту за діаметром товстих дерев сосни та відпаду дерев менших ступенів товщини.

Розподіл дерев сосни за ступенями товщини (рис. 1) упродовж останніх 15 років свідчить про поступове заміщення тонкомірних дерев товстішими.

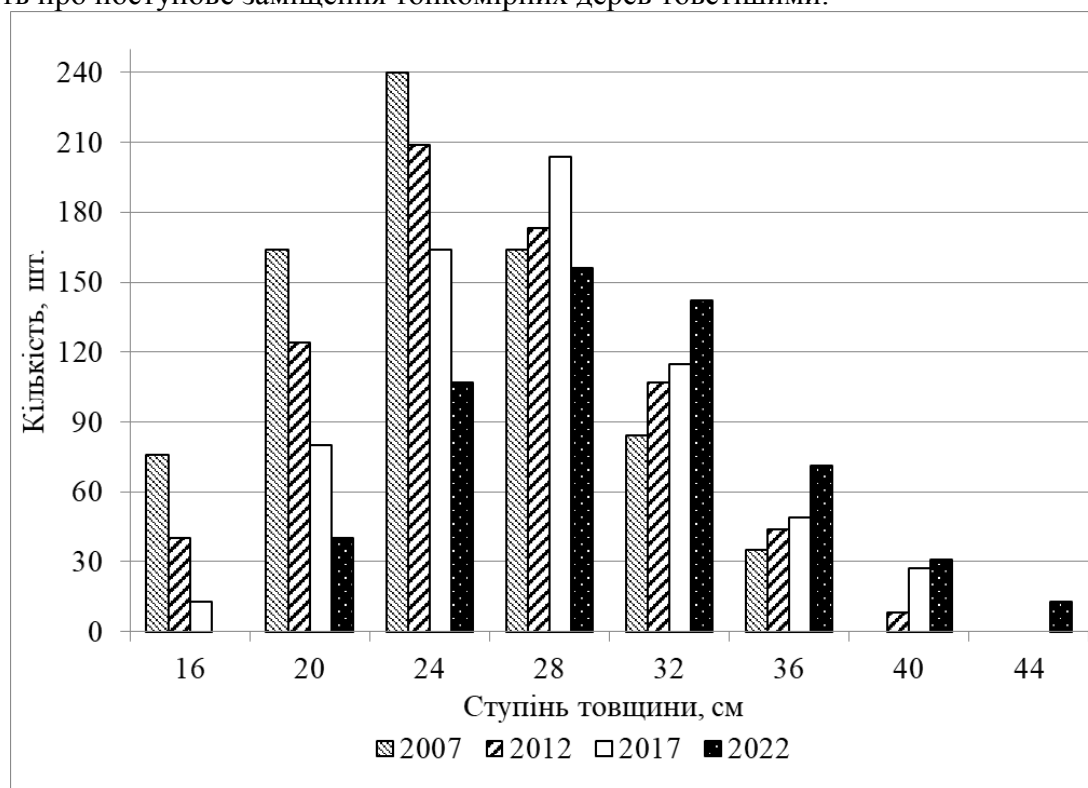


Рис. 1 – Розподіл дерев сосни звичайної за ступенями товщини на ППП 1-Слб

Ряди розподілу дерев характеризуються більшою додатною асиметрією (коефіцієнти асиметрії – 0,12–0,40) та меншою крутістю (коефіцієнти ексцесу – від -0,17 до -0,36). Зміни поточного середнього періодичного приросту дерев за діаметром становили $0,86 \pm 0,069$ см за 2008–2012 рр., $0,90 \pm 0,086$ см за 2013–2017 рр., $1,64 \pm 0,096$ см за 2018–2022 рр., а їхні різниці були неістотними на всіх довірчих інтервалах. Показники поточного середнього періодичного приросту за діаметром дерев сосни мають високу мінливість (коефіцієнти варіації – 58–89 %).

У міру збільшення товщини дерев поточний приріст за діаметром зазвичай збільшується (рис. 2). Зокрема, упродовж 2008–2012 рр. найбільший поточний приріст за діаметром (4,8 см) мало дерево № 153 (діаметр на висоті 1,3 м – 35,0 см, клас Крафта – I), упродовж 2013–2017 рр. – 3,9 см, дерево № 12 (діаметр на висоті 1,3 м – 33,3 см, клас Крафта – I), за 2018–2022 рр. – 3,5 см, дерево № 139 (діаметр на висоті 1,3 м – 40,6 см, клас Крафта – I). Найменші показники поточного середнього періодичного приросту за діаметром мали тонші

дерева діаметром 14–20 см (III–V^a класи Крафта). Ці тонші дерева формували основну кількість дерев відпаду. Відмирання дерев сосни та утворення сухостою відбувалося внаслідок конкуренції із сусідніми товщими деревами, а вітровальних – унаслідок буревіїв 2010 та 2022 рр. Проте навіть деякі товстіші дерева діаметром 24 см і більші також мали низькі значення періодичного приросту (0,1–0,2 см), що пояснюється їхньою внутрішньовидовою мінливістю. Деякі товстіші дерева сосни можуть відмирати у середньовікових деревостанах, збільшуючи відпад. Загалом відмерлі сухостійні дерева мали періодичні прирости за п’ятирічні періоди від 0 до 0,4 см. Дерева, що належали до відпаду, мали також низький поточний приріст за висотою.

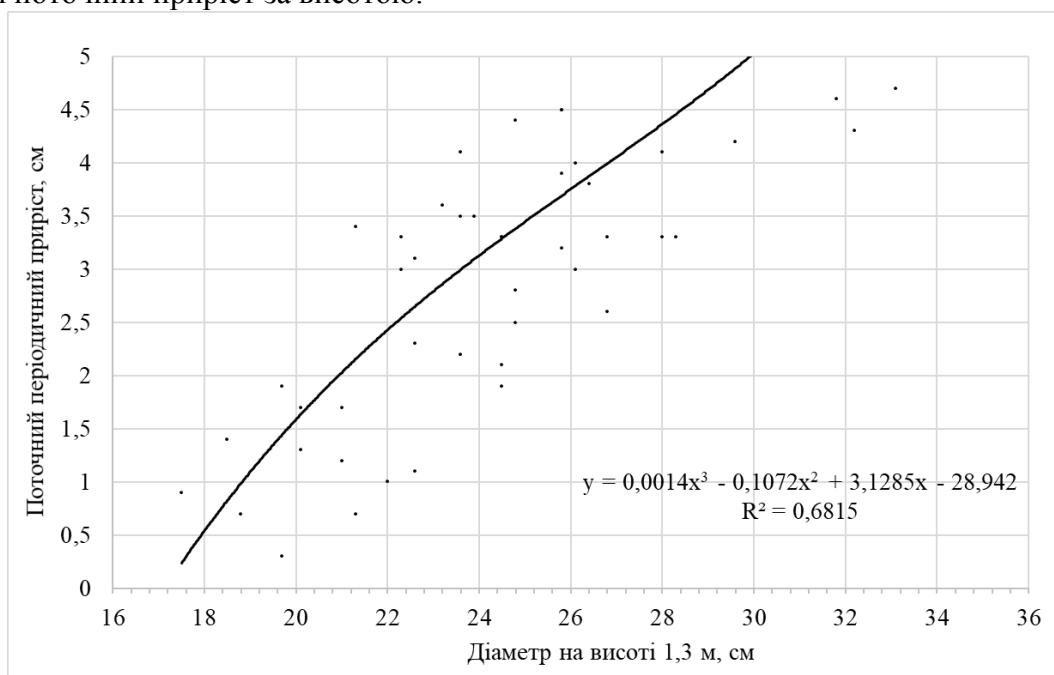


Рис. 2 – Залежність поточного середнього періодичного приросту за діаметром дерев сосни звичайної від діаметра на висоті 1,3 м на ППП 1-Слб

Упродовж 2007–2022 рр. відбулася зміна кривих висот деревостану (рис. 3). Унаслідок приросту дерев сосни середні висоти за ступенями товщини збільшилися.

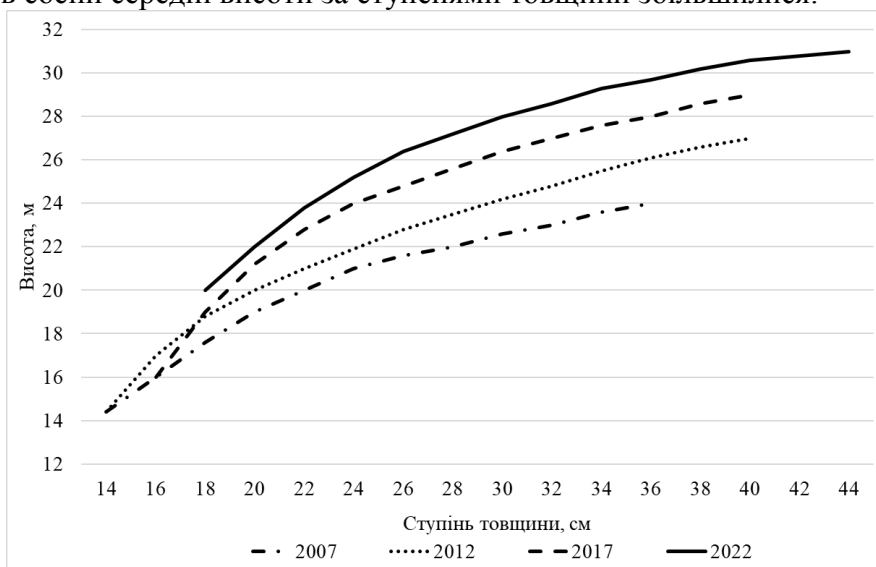


Рис. 3 – Залежність значень середньої висоти сосни звичайної від діаметра на висоті 1,3 м на ППП 1-Слб упродовж 2007–2022 рр.

Збільшення значень приростів за діаметром і висотою дерев підвищує інтегральний показник приросту за об'ємом дерев, а також за запасом деревостану. Динаміка приростів за запасом зі збільшенням віку середньовікового соснового деревостану на ППП 1-Слб має тенденцію до зростання (табл. 2). Упродовж 2013–2017 рр. поточна середня періодична зміна запасу в сосновому деревостані збільшилася на $3,3 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (на 48 %), порівнюючи з попереднім п'ятирічним періодом, а поточний середній періодичний приріст – на $4,1 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (на 42 %). Поточний середній періодичний приріст 54-річного деревостану не поступався за цим показником табличним даним повних штучних соснових деревостанів Полісся України (Shvydenko et. al. 1987). За наступний п'ятирічний період (2018–2022 рр.) показники зміни запасу майже не змінилися, але відпад збільшився у 2,6 рази, що визначило перевищення поточного середнього періодичного приросту за запасом на $5,8 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (на 42 %), як порівняти з минулим п'ятиріччям. Відпад становили 76 шт.га^{-1} (12 %) сухостійних дерев сосни діаметром 16–30 см та 13 шт.га^{-1} (2 %) вітровальних дерев діаметром 28–34 см.

Таблиця 2

Поточний середній періодичний приріст деревостанів за запасом на постійних пробних площах

№ ППП	Елемент деревостану	Вік, років	Період, років	Поточні середні періодичні значення, $\text{м}^3\text{га}^{-1}$		
				зміни запасу	відпаду	приросту
1-Слб	Сз	49	5	6,40	2,80	9,20
	Разом	49	5	6,92	2,80	9,72
	Сз	54	5	9,76	3,54	13,30
	Разом	54	5	10,22	3,54	13,78
	Сз	59	5	10,12	9,36	19,48
	Разом	59	5	10,18	9,36	19,54
14-Слб	Яле	53	5	6,38	3,36	9,74
	Разом	53	5	6,86	3,76	10,62
	Яле	58	5	10,84	1,08	11,92
	Разом	58	5	11,88	1,38	13,26
19-Слб	Бп	29	7	9,26	0,38	9,64
	Разом	29	7	9,78	0,40	10,18
21-Слб	Тпг	12	6	16,73	–	16,73
	Бп	12	6	3,47	–	3,47
	Разом	12	6	20,23	–	20,23

ППП 1-Слб є контрольною секцією на стаціонарному дослідному об'єкті з проведення рубок догляду, тому рубки догляду тут не проводили. У 59-річному сосняку сугрудуватого дубово-соснового субору дерева відпаду залишаються на перегнивання, що знижує ступінь використання приросту. Дерев дуба звичайного (*Quercus robur* L.), липи серцелистої (*Tilia cordata* Mill.) та клена гостролистого (*Acer platanoides* L.) природного походження ростуть під наметом сосни, поступово формуючи другий ярус широколистяно-соснового деревостану, що сприятиме збільшенню його продуктивності, поліпшенню стійкості та збереженню біорізноманіття соснових лісів у регіоні дослідження.

Ялина європейська (*Picea abies* (L.) Karst.) є цінною хвойною породою. Ялинові деревостани в Східному Поліссі займають 5,2 тис. га (1,2 % площі вкритих лісовою рослинністю земель) (Zhezhkun 2021a). У свіжих і вологих сугрудах регіону ялинники характеризуються доволі високою продуктивністю. Запас стовбурної деревини у 48-річному липово-ялиновому деревостані в умовах свіжого грабово-дубово-соснового сугруду на ППП 14-Слб становив $494 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (див. табл. 1). Упродовж наступних 10 років ріст ялиннику продовжувався за I^b класом бонітету.

За останні п'ять років поточний середній періодичний приріст деревостану за запасом збільшився на $2,6 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (на 25 %), порівнюючи з попереднім п'ятирічним періодом, зокрема ялини – на $2,2 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ (на 22 %). Поточний періодичний приріст за діаметром дерев ялини за 2012–2016 рр. становив у середньому $1,10 \pm 0,100$ см, а за 2017–2021 рр. – $0,83 \pm 0,072$ см. Розбіжність середніх значень поточних періодичних приростів за діаметром за ці періоди

є істотною на 95 % рівні значущості ($t_{\text{ф}} = 2,33$, $t_{\text{кр}} = 1,96$). Показники поточного середнього періодичного приросту за діаметром ялини характеризуються високою мінливістю (коефіцієнти варіації 86–90 %). Зокрема, дерево ялини № 20 (діаметр 27 см, клас Крафта І) на ППП 14-Слб за перший п'ятирічний період мало найбільший поточний періодичний приріст за діаметром – 5,0 см, за наступний – лише 0,1 см, тобто майже припинило свій ріст. Показники найтовстішого дерева ялини № 16 (діаметр 36,3 см) становили за періодами 2,7 та 1,8 см відповідно, а для дерев липи – 0–2,2 см. Зменшення приросту за діаметром 58-річних дерев ялини європейської свідчить про досягнення етапу досягання деревостану, що слід враховувати для визначення віку стиглості ялиників, які ростуть у рівнинних умовах регіону дослідження.

Упродовж 2017–2021 рр. відбулося істотне збільшення зміни запасу ялини (на $5,0 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, або на 73 %) проти попереднього п'ятиріччя, що пояснюється зменшенням відпаду у 2,7 разу. За останні п'ять років відпад був представлений сухостійними деревами III–V^a класів Крафта, що розмішені на ППП 14-Слб стохастично. Поточний приріст за діаметром дерев, що надійшли до відпаду, становив від 0 до 0,7 см. За попередні п'ять років до відпаду також належали 9 шт. га^{-1} вітровальних дерев ялини (діаметром 26–36 см, I–II класів росту за Крафтом).

Водночас упродовж останніх 10 років за високих показників приросту за санітарним станом ялиновий деревостан був ослабленим (індекс санітарного стану ялини – 1,9). На дослідній ділянці рубок не проводили, проте в сусідніх ділянках середньовікових ялинових деревостанів чистого складу внаслідок відмирання дерев ялини після посухи 2010 р. було проведено суцільні та вибіркові санітарні рубки. Як доведено (Zhezhkun 2012, 2021a, Rogohnyach 2017), для збереження та поліпшення біотичної стійкості ялиників у регіоні слід вирощувати деревостани мішаного складу та складної формової будови. Середня зміна запасу 58-річного ялини з другим ярусом липи та інших листяних порід на ППП 14-Слб становить $10,1 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$, що відповідає вимогам для швидкорослих порід (Pogrebnyak 1968). Зважаючи на одержані дані, у сучасних умовах глобальної зміни клімату з метою попередження всихання вік стиглості ялинових деревостанів в експлуатаційних лісах слід зменшити від 81–90 до 61–70 років.

Береза повисла (*Betula pendula* Roth.) у регіоні формує похідні деревостани. Березняки займають 45 тис. га, або 10,4 % вкритих лісовою рослинністю земель (Zhezhkun 2021a). Березові деревостани відіграють високу захисну роль у лесових типах ландшафтів регіону та корисні властивості в рекреаційно-оздоровчих лісах, а також є постачальником цінних лісоматеріалів та якісної паливної продукції. У свіжих і вологих сугрудах береза повисла є швидкорослою деревною породою та накопичує значні запаси деревини. Зокрема, у 22-річному березняку штучного походження на ППП 19-Слб, що росте за I^c класом бонітету, запас становить $121 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (див. табл. 1).

Упродовж 2016–2022 рр. поточна середня періодична зміна запасу ($9,8 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$) перевищувала на 12 % цей показник для повних 29-річних березових деревостанів Полісся України (Shvydenko et. al. 1987). У деревостані за останні сім років поточний середній періодичний відпад становив лише $0,4 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (див. табл. 2). Відпад відбувався за низовим типом (відмерлі дерева діаметром 2–6 см представлені сухостоєм). Середньовіковий березовий деревостан із домішкою осики (*Populus tremula* L.), дуба звичайного, липи дрібнолистої та інших порід є ослабленим (середня категорія санітарного стану берези – II,34). Для поліпшення санітарного стану та використання деревини відпаду в наступні роки слід призначити в деревостані рубку догляду – проріджування. Похідні березові деревостани до віку стиглості (61–70 років) у ТЛУ C₂ й C₃ мають високі показники приросту за запасом деревини (Zhezhkun 2012).

Високу продуктивність у регіоні також мають тополеві деревостани. У свіжих та вологих сугрудах і грудах осикові деревостани накопичують у віці стиглості (41–50 років) чималі запаси деревини – понад $400 \text{ м}^3 \text{ га}^{-1}$ (Zhezhkun 2021a). Осичники мають переважно

паросткове походження та низьку технічну якість деревини. У регіоні розпочато впровадження швидкорослих порід гібридів тополь 'Тронко', 'СС-38', 'Новоберлінський' та інших. На ППП 21-Слб за плантаційним способом вирощування з розміщенням садивних місць 4×2 м навесні 2010 р. було висаджено з почерговим типом змішування в ряду $1\ 250$ шт.га⁻¹ живців гібридних тополь і 2–3-річних дичок берези повислої. У 4-річному віці культури переведено до вкритих лісовою рослинністю земель за I класом якості відповідно до інструкції (About approval 2010). У віці 6 років гібриди тополь вже панували за запасом у складі деревостану (див. табл. 1). Найкращі особини мали поточний річний приріст за висотою 1,0–1,5 м. За наступні шість років збереженість лісових культур становила 100 %.

Поточний середній періодичний приріст за висотою тополевого елемента деревостану упродовж 2016–2021 рр. становив $16,7$ м³га⁻¹ (див. табл. 2) та перевершував цей показник дерев берези повислої майже у п'ять разів. У 12-річному віці береза поступалася тополі за середньою висотою на 3,6 м (на 24 %), а за середнім діаметром – на 5,5 см (на 36 %). Найбільші дерева гібридів тополі (№ 58) мали діаметр 25,2 см, висоту 17 м, а берези (№ 44) – 14,2 см та 13,4 м відповідно. Поточний періодичний приріст за діаметром упродовж 2016–2012 рр. становив у дерева № 58 – 13,8 см, у дерева № 44 – 6,9 см (вдвічі менше). За повноти 0,58 відбулося змикання крон дерев поміж рядами, що прискорюватиме їхню диференціацію, збільшуватиме приріст і технічну якість стовбурної деревини. Стовбури дерев є очищеними від сучків на висоті 0,5–0,8 м, висота до першої живої гілки у тополі – 3 м, у берези – 2 м.

Для підвищення продуктивності березово-тополевого деревостану та поетапного отримання деревини у віці 25–30 років слід вилучити дерева тополі та дорошувати березовий деревостан із домішкою дерев природного походження до віку стиглості (61–70 років). Для регулювання конкуренції між деревами в процесі формування деревостану та використання деревини очікуваного відпаду в наступні роки слід вчасно проводити рубки догляду.

Отже, в умовах інтенсифікації лісогосподарського виробництва відпад і приріст слід враховувати для визначення загальної продуктивності деревостанів. Під час інвентаризації лісів необхідно визначати загальну продуктивність і використання відпаду в користуванні деревиною, частку користування деревиною з урахуванням загального приросту (з відпадом), а не лише зміни запасів. За таких умов загальна продуктивність деревостанів ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» упродовж 2006–2015 рр. становила: $P^3 = 582,9 + 29,0 + 40,2 = 652,1$ тис. м³. Частка користування деревиною становила лише 6,2 % ($(40,2 / 652,1) \times 100$ %) від загальної продуктивності деревостанів.

Ступінь використання приросту деревостанів (із урахуванням використання відпаду) є важливим показником інтенсивності ведення лісового господарства підприємств, індикатором їхнього сталого розвитку та наближеного до природи лісівництва. У ДП «Новгород-Сіверська ЛНДС» за 2006–2015 рр. частка користування деревиною становила 26,8 % від загального приросту або 49,6 % від показника зміни запасу. Подібна тенденція наявна також і для інших державних лісогосподарських підприємств регіону (Zhezhkun 2021a). Ступінь використання приросту за запасом можливо збільшити до 60–70 % шляхом використання запасу відпаду й оптимізації лісокористування.

Зниження продуктивності лісів відбувається внаслідок невідповідності породного складу деревостанів типам лісу, особливо з великою часткою (понад 10 %) похідних деревостанів, у результаті невідповідності фактичних запасів модальних деревостанів оптимальним запасам еталонних деревостанів або запасам деревостанів за цільовими програмами лісовирощування. У найпоширеніших типах лісу Східного Полісся середньозважений показник використання потенційної продуктивності (без урахування відпаду) соснових деревостанів становить 68 % (Tkach et al. 2018, Zhezhkun 2021a), а дубових – 40,6 % (Zhezhkun 2021a).

Вікова структура деревостанів у регіоні є розбалансованою, що не забезпечує рівномірність лісокористування та призводить до зниження продуктивності лісів.

Продуктивність лісів у межах лісового масиву або адміністративно-господарських одиниць також може зменшуватися внаслідок дії природних чинників (знищення або пошкодження дерев до ступеня припинення росту в результаті лісових пожеж, вітровалів, сніголамів, поширення шкідників і хвороб, зміни рівня ґрунтових вод, посухи внаслідок глобальної зміни клімату тощо), а також надмірних рубок, за яких вилучається обсяг деревини, що перевершує приріст насаджень. Продуктивність деревостанів може зменшуватися в клімаксових угрупованнях (Spur & Barnes, 1984) унаслідок розладнання панівного ярусу, коли відпад перевершує зміни наявного запасу. Тому важливим завданням лісівників має бути збільшення продуктивності лісів за умови збереження їхньої біотичної стійкості й посилення інших корисних (природоохоронних, захисних, рекреаційних, оздоровчих та інших) функцій.

Збільшення продуктивності лісів забезпечується шляхом поліпшення породного складу, оптимізації вікової структури, формування високоповнотних деревостанів із найбільшим приростом цінної деревини. Позитивній динаміці продуктивності лісів сприяє раціональне використання не лише стовбурової деревини, але й інших фракцій фітомаси, недопущення втрат під час лісозаготівлі, поліпшення логістичних операцій, переробки та маркетингу лісової продукції.

Підвищення продуктивності можна досягти створенням лісових культур на невикритих лісовою рослинністю землях, сприянням успішному природному лісовідновленню, запобіганню виникненню й поширенню лісових пожеж, вітровалів, вітроломів, шкідників і хвороб, створенням культур швидкорослих порід, вчасним проведенням рубок догляду, реконструктивних рубок, рубок переформування, меліорацією місцезростань тощо.

Удосконалення вивчення динаміки продуктивності лісів визначатиметься впровадженням досягнень науки і практики для поліпшення обліку та відпуску лісової продукції, закладання мережі стаціонарних тривалих досліджень на ППП від утворення до рубки або загибелі лісів за універсальними методиками та високим рівнем фахівців-дослідників.

Висновки. Продуктивність деревостанів за запасами стовбурової деревини у регіоні має тенденцію до збільшення. Високі показники поточного середнього періодичного приросту за запасом визначено в середньовікових деревостанах. За умови інтенсифікації лісогосподарського виробництва під час визначення загальної продуктивності деревостанів доцільно враховувати відпад і приріст. Під час інвентаризації лісів слід визначати загальну продуктивність та використання відпаду в користуванні деревиною, частку користування деревиною з урахуванням загального приросту (із відпадом), а не лише зміни запасів. Визначення динаміки продуктивності деревостанів за певний період забезпечить добір заходів щодо підвищення продуктивності за умови збереження їхньої біотичної стійкості та довговічності, виконання захисних і середовищевірних функцій лісостанів.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

About approval of the Instruction on design, technical acceptance, accounting and quality assessment of forestry objects. 2010. [Electronic resource]. Order of the State Forestry Committee of Ukraine №1046/18341 dated November 5. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1046-10#Text> (accessed 02.02.2023) (in Ukrainian).

Anuchin, N. P. 1982. Forest Mensuration. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 552 p. (in Russian).

Bessaad, A., Bilger, I., Korboulewsky, N. 2021. Assessing biomass removal and woody debris in whole-tree harvesting system: Are the recommended levels of residues ensured? *Forests*, 12(6): 807. <https://doi.org/10.3390/f12060807>

Bontemps, J.-D. 2021. Inflation of wood resources in European forests: The footprints of a big-bang. *PLoS ONE* 16(11): e0259795. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259795>

Böhling, K., Marques Todeschini, M. F. 2021. The Forest Sector in the 2030 EU Climate Policy Framework: Looking back to assess its future. *Journal for European Environmental & Planning Law*, 1–2: 124–142. <https://doi.org/10.1163/18760104-18010008>

Di Cori, V., Robert, N., Franceschinis, C., Pettenella, D.M., Thiene, M. 2022. Framework proposal to quantify the contribution of non-wood forest products to the European Union forest-based bioeconomy. *Forests*, 13(3): 362. <https://doi.org/10.3390/f13030362>.

Forest Code of Ukraine. 1994. [Electronic resource]. Law, Code of January 21, 1994 No. 3852-XII. Edition as of 03/23/2023. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/3852-12#Text> (accessed 02.02.2023) (in Ukrainian).

Forest Inventory Sample Plots. Establishing Method. Corporate standart 02.02.-37-476:2006. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Ministry for Agrarian Policy of Ukraine, 32 p. (in Ukrainian).

Forestry. Terms and definitions. State Standard of Ukraine 3404-96. 1997. Valid from July 1, 1997. Kyiv, Ukrainian State Forestry Research and Production Technology Center, 39 p. (in Ukrainian).

Fuchilo, Y. D., Karpuk, A. I., Sbitna, N. V. 2016. Ways of increasing the productivity of forests and using wood for energy purposes. Kyiv, Comprint, 206 p. (in Ukrainian).

Kashpor, S. M. and Strochinskiy, A. A. 2013. Forest taxation guide. Kyiv, Vinichenko Publishing House, 496 p. (in Ukrainian).

Lakyda, P. I. 2001. Phytomass of forests of Ukraine. Ternopil, Zbruch, 256 p. (in Ukrainian).

Lier, M., Köhl, M., Korhonen, K. T., Linser, S., Prins, K., Talarczyk, A. 2022. The new EU forest strategy for 2030: A new understanding of sustainable forest management? *Forests*, 13(2): 245. <https://doi.org/10.3390/f13020245>.

Melehov, I. S. 1980. Forest Science. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 408 p. (in Russian).

Mensuration and Forest Management. Wood Increment in a Forest Stand. Classification and Notation. Basic Calculation Formulas. Terms and Definitions. Industry standard 56-73-84. 1984. Moscow, Standards Publishing House, 8 p. (in Russian).

Ostapenko, B. F. and Tkach, V. P. 2002. Forest typology. Kharkiv, Pleyada, 204 p. (in Ukrainian).

Pogrebnyak, P. S. 1968. General forestry. Moscow, Kolos, 440 p. (in Russian).

Popov V. P., Marynich A. M., Lanko A. I. 1968. Physical and geographical zoning of Ukrainian Soviet Socialist Republic. Kyiv, Publishing House of Kyiv University, 683 p. (in Russian).

Porohnyach, I. V. 2017. The current condition and characteristics of formation of spruce stands in Novgorod-Severske Polissya. PhD thesis. Kharkiv, 211 p. (in Ukrainian).

Sanitary Forests Regulations in Ukraine. 2016. [Electronic resource]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/756-2016-%D0%BF#n11> (accessed 02.02.2023) (in Ukrainian).

Shvydenko, A. Y. and Ostapenko, B. F. 2001. Forest science. Chernivtsi, Zelena Bukovyna, 358 p. (in Ukrainian).

Shvydenko, A. Z., Strochinsky, A. A., Savich, Yu. N., Kashpor, S. N. (Eds.). 1987. Regulatory reference materials for forest inventory in Ukraine and Moldova]. Kyiv, Urozhay, 559 p. (in Russian).

Siryk, A.A., Svistula, G. E., Morozova, T. G. 1991. Productivity and economic assessment of protective forest stands on the Nizhny Dnipro sands. *Forestry and Forest Melioration*, 93: 3–7 (in Ukrainian).

Spur, S. G. and Barnes, B. V. 1984. Forest ecology. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 479 p. (in Russian).

Tkach, V. P., Kobets O. V., Rumiantsev M. G. 2018. Use of Forest site capacity by forests of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 132: 3–12 (in Ukrainian).

Toïgo, M., Castagneyrol, B., Jactel, H., Morin, X., Meredieu, C. 2022. Effects of tree mixture on forest productivity: tree species addition versus substitution. *European Journal of Forest Reserch*, 141: 165–175. <https://doi.org/10.1007/s10342-021-01432-6>

Turkevich, I. V. 1977. Cadastral valuation of forests. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 168 p. (in Russian).

Turkevich, I. V., Medvedev L. A., Mokshanina I. M., Lebedev V. E. 1973. Methodological recommendations for determining the potential productivity of forest lands and the efficiency of their use. Kharkiv, URIFFM, 72 p. (in Russian).

Vasiliev, P. V. 1962. Potential and effective forest productivity. *Forestry*, 10: 49–54 (in Russian).

Vedmid, M. M. and Gavrilov, V. A. 2004. To the question of determining the potential productivity of forest lands. *Forestry and Forest Melioration*, 107: 14–19 (in Ukrainian).

Vedmid, M. M. and Zhezhkun A. M. 2014. Derivatives and low-value stands and their reconstruction in the forests of the Left Bank Ukraine. Sumy, Sumy National Agrarian University, 258 p. (in Ukrainian).

Vorobyov, D. V. 1959. Natural and actual productivity of forest area. *Forestry*, 11: 10–13 (in Russian).

Yao, R. T., Palmer, D. J., Payn, T. W., Strang, S., Maunder, C. 2021. Assessing the broader value of planted forests to inform forest management decisions. *Forests*, 6: 662. <https://doi.org/10.3390/f12060662>

Zhezhkun, A. M. 2012. The dynamics of the derived types of stands of fairly fertile and fertile site types in Eastern Polissia. *Scientific Herald of NULES of Ukraine*, 171.3: 122–130 (in Ukrainian).

Zhezhkun, A. M. 2021a. Forests of the Eastern Polissia of Ukraine: structure, productivity, formation and restoration. *Mena, Dominant*, 384 p. (in Ukrainian).

Zhezhkun, I. M. 2021b. State and prospects of the use of forest ecosystem services in Ukraine. In: European integration of environmental policy of Ukraine: Proceedings of the 3rd All-Ukrainian Scientific and Practical Conference. Odesa, Odesa State Environmental University, p. 110–114 (in Ukrainian).

Zhezhkun A. M.¹, Zhezhkun I. M.², Porohnyach I. V.¹

STAND PRODUCTIVITY DYNAMICS IN EASTERN POLISSIA OF UKRAINE

¹*State Enterprise “Novgorod-Siverska Forest Research Station”*

²*Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky*

The article considers changes in the productivity of stands of the main forest-forming species in the Eastern Polissia of Ukraine. The productivity of the stands was analysed according to their dominant and most valuable product – stem wood. Based on long-term stationary research on permanent sample plots, the changes in the growing stock, tree mortality, and periodic growing stock increment of the stands have been established. The highest values of growing stock increment were found in middle-aged stands. In a 44-year-old pine stand of fresh relatively moist and relatively fertile site types with a relative density of stocking of 0.87, the current average periodic growing stock increment for each 5-year period during 2008–2022 was 9.7–19.5 m³·ha⁻¹ of stem wood, of which tree mortality was 2.8–9.4 m³·ha⁻¹ (25–48%). The available standing volume, the tree mortality volume, and the volume of wood removed during felling should be taken into account to determine the total productivity of forests. It is possible to increase the degree of use of growing stock increment of stands in the region up to 60–70% due to the use of tree mortality volume and forest management optimization. Determining the stand productivity dynamics will allow the selection of proper measures to increase the productivity of forests, preserve their biological stability and enhance their environmental functions.

К e y w o r d s : change in growing stock, tree mortality, growing stock increment, site class, forest type.

E-mail: desna-90@ukr.net

Одержано редколегією 08.02.2023



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.15>

В. П. ПАСТЕРНАК^{1,3}, О. А. ГІРС², А. В. ГАРМАШ³

**ДИНАМІКА ТОВАРНОЇ СТРУКТУРИ ШТУЧНИХ СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ
СЛОБОЖАНСЬКОГО ЛІСОТИПОЛОГІЧНОГО РАЙОНУ**

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

²Національний університет біоресурсів і природокористування України

³Державний біотехнологічний університет

Досліджено розподіл соснових деревостанів Слобожанського лісотипологічного району за походженням, типами лісу, повнотою та продуктивністю. Здійснено аналіз лісівничо-таксаційних показників на дослідних ділянках. Розглянуто таксаційну будову та товарну структуру соснових деревостанів регіону дослідження. Розраховано моделі мінливості діаметрів і відношення мінливості ділової частини до загальної мінливості діаметра деревостану з урахуванням мінімального та максимального діаметрів у модальних деревостанах. Виявлено залежність між часткою ділових стовбурів і віком модальних соснових деревостанів штучного походження. Побудовано таблиці динаміки товарної структури модальних соснових деревостанів із урахуванням розподілу об'ємів ділових стовбурів за класами й підкласами товщини, узгодженими з європейськими підходами щодо таксації круглих лісоматеріалів. Для складання нормативів застосовували нормативи ходу росту модальних сосняків штучного походження Лівобережного Лісостепу. Під час порівняння розроблених для Слобожанського лісотипологічного району нормативів з нормативами, розробленими для штучних соснових деревостанів Придонецького Степу, виявлено, що в останніх вихід ділової деревини нижчий у зв'язку з лісорослинними умовами регіону та станом деревостанів.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., модальні деревостани, товарність, класи товщини.

Вступ. Проблема розвитку лісового господарства набуває важливого значення у національній економіці України, зважаючи на важливість екосистемних і сировинних функцій лісів. На сучасному етапі актуальним є розроблення відповідних нормативно-інформаційних матеріалів для оцінювання динаміки товарної структури деревостанів головних лісоутворювальних порід із урахуванням зональних особливостей. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) є одним із найпоширеніших деревних видів на території Лівобережного Лісостепу України, значну частину якого становить Слобожанський лісотипологічний район (Gensiruk 2002, Ostapenko & Tkach 2002). У зв'язку з цим, розроблення нормативів для соснових деревостанів штучного походження Лівобережного Лісостепу є важливим кроком для збалансованого ведення господарства в них.

Дослідженням продуктивності, таксаційної будови й товарної структури соснових деревостанів України присвячено роботи багатьох науковців (Strochinskiy et al. 2005, Girs 2011, Tarnopil'ska 2012, Svynchuk et al. 2014, Yarotskiy et al. 2016, Girs & Sodolinskiy 2021, Terentiev 2023). Під час дослідження сосняків Українського Полісся за діаметром виявлено, що таксаційна будова штучних соснових деревостанів характеризується суттєвими відмінностями, як порівняти з природними. Зокрема, показник відносної мінливості діаметра дерев у таких лісостанах є меншим, а концентрація стовбурів у центральних ступенях товщини – більшою, ніж у природних деревостанах. Це зумовлює особливості їхнього росту, продуктивності й товарної структури (Strochinskiy et al. 2005).

Соснові деревостани штучного походження Лівобережного Лісостепу характеризуються порівняно простою структурою як за видовим складом, так і за таксаційною будовою (Yarotskiy et al. 2016). Результати статистичного аналізу дослідних рядів розподілу дерев за діаметром у заповідних лісах Центрального Полісся свідчать, що коефіцієнт мінливості діаметра стовбурів у деревостанах у середньому становить 41,2 %. Показники асиметрії та ексцесу характеризуються доволі значною мінливістю. Мінімальне редуційне число за діаметром змінюється в межах 0,2–0,5, максимальне – в межах 1,5–3,0, а їхні середні значення дорівнюють 0,32 і 2,0 відповідно, тоді як в однорідних помірно зріджених насадженнях вони знаходяться зазвичай в діапазоні від 0,5 до 1,7. Дослідні деревостани характеризуються також більшим розмахом діаметрів стовбурів (Svynchuk et al. 2014).

Для Слобожанського лісотипологічного району детальних досліджень динаміки товарної структури штучних соснових деревостанів не проводили. Це й зумовило актуальність роботи.

Метою наших досліджень є виявлення особливостей таксаційної будови й товарної структури штучних соснових деревостанів Слобожанського лісотипологічного району.

Матеріали й методи. За лісогосподарським районуванням регіон досліджень (Слобожанський лісотипологічний район лісотипологічної області свіжого груду (2 d) (Ostapenko & Tkach 2002)) займає частину Лівобережно-Дніпровського (Північний та Південний райони Полтавської рівнини) і Середньоруського лісостепових округів Лісостепової області (Gensiruk 2002).

Матеріали лісовпорядкування – повидільна таксаційна база даних «Лісовий фонд» станом на 01.01.2017 – слугували основою для проведення досліджень щодо розподілу соснових деревостанів Слобожанського лісотипологічного району за походженням, типами лісу, повнотою та продуктивністю. Загалом проаналізовано майже 60 тис. таксаційних виділів.

Для детального дослідження таксаційної будови й товарної структури закладено 27 пробних площ у соснових деревостанах штучного походження у філіях «Вовчанське ЛГ», «Жовтневе ЛГ», «Чугуєво-Бабчанське ЛГ», «Тростянецьке ЛГ», «Лебединське ЛГ», «Конотопське ЛГ» та Скрипаївському НДЛГ. Крім того, використано 10 переліків на лісосіках рубок головного користування у філіях «Гадяцьке ЛГ», «Гутянське ЛГ» та Скрипаївському НДЛГ, а також дані, зібрані на 13 ділянках інтенсивного моніторингу лісів у філії «Жовтневе ЛГ», Скрипаївському НДЛГ та НПП «Слобожанський». Лісотаксаційні роботи на пробних площах виконано з урахуванням стандарту організацій України «Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання» (Forest inventory sample plots 2006).

З метою виявлення закономірностей розподілу таксаційних показників соснових деревостанів проведено їхній статистичний аналіз із використанням прикладних програм MS Excel, SPSS і Statistica. Основні характеристики – середнє арифметичне (X), середнє квадратичне відхилення (σ), асиметрію (As), ексцес (Es), мінімальне (min) та максимальне (max) значення в натуральних величинах – для досліджуваних деревостанів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Статистична характеристика таксаційних показників соснових деревостанів на пробних площах

Таксаційний показник	Статистика					
	X	σ	As	Es	min	max
Вік A , років	75	20	0,590	-0,321	44	120
Середній діаметр D , см	29,8	6,4	0,514	-0,587	19,1	45,4
Середня висота H , м	24,7	3,5	-0,476	-0,219	16,5	31,5
Запас M , м ³ ·га ⁻¹	416	92	-0,486	1,851	113	607
Відносна повнота P	0,72	0,13	-0,578	0,574	0,33	0,94

Аналіз статистичних показників свідчить, що для віку A , середньої висоти H , середнього діаметра D та повноти P показники асиметрії та ексцесу в натуральних величинах не перевищують допустимі значення ($As < 1,0$; $Es < 1,2$). Для віку та діаметра визначено правосторонню асиметрію. Розподіли значень віку, діаметра та висоти характеризуються туповершинною кривою, інших показників – гостровершинною. Досліджувана база даних пробних площ достатньо повно описує соснові деревостани регіону і придатна для моделювання таксаційної будови та товарної структури.

Для визначення ступеня тісноти зв'язку між таксаційними показниками соснових деревостанів Слобожанського лісотипологічного району на пробних площах побудовано кореляційну матрицю (табл. 2).

Кореляційна матриця основних таксаційних показників деревостанів на пробних площах

Показник	Вік A , років	Середня висота H , м	Середній діаметр D , см	Відносна повнота P	Запас M , м ³ ·га ⁻¹
Вік A , років	1,00	0,78	0,88	0,09	0,43
Середня висота H , м	–	1,00	0,81	0,21	0,58
Середній діаметр D , см	–	–	1,00	-0,04	0,37
Відносна повнота P	–	–	–	1,00	0,74
Запас M , м ³ ·га ⁻¹	–	–	–	–	1,00

Аналіз отриманих коефіцієнтів кореляції підтверджує наявність тісного зв'язку між собою таких показників, як середній вік A , середній діаметр D і середня висота H . Відповідні коефіцієнти кореляції мають значення від 0,78 до 0,88. Для запасу M кореляційний зв'язок із повнотою P , середньою висотою та діаметром становить 0,74, 0,58 та 0,37 відповідно.

Побудову теоретичних рядів розподілу за діаметром проведено за методикою, опрацьованою на кафедрі лісової таксації та лісовпорядкування НУБіП України. Після сформування бази даних переліків за допомогою програм STRUK та БУДОВА отримано параметри їхньої структури.

Результати та обговорення. За даними повидільної таксаційної бази даних «Лісовий фонд» станом на 01.01.2017, соснові лісостани в регіоні дослідження займають площу понад 180 тис. га. Понад 90 % соснових деревостанів мають штучне походження. Досліджувані штучні соснові деревостани характеризуються високою продуктивністю. Так, насадження, що ростуть за I класом бонітету, займають понад 42 % від загальної площі сосняків, за II класом – 27 %, за I^a класом – 22 %.

Деревостани сосни приурочені переважно до умов свіжого субору (70 %); їхні частки в умовах свіжого сугруду й свіжого бору становлять 10 та 11 % відповідно. В інших типах лісорослинних умов частка сосняків є незначною.

У Слобожанському лісотипологічному районі найбільше представлені середньоповнотні деревостани з відносною повнотою 0,7 (41 % від загальної площі). Також значні площі займають деревостани з повнотою 0,8 (22 %) та 0,6 (19 %). Частка низькоповнотних насаджень є незначною.

Аналіз основних таксаційних показників деревостанів на пробних площах свідчить, що за складом, продуктивністю, відносною повнотою та типами лісу вони характеризують найпоширеніші сосняки Лівобережного Лісостепу України.

Результати розрахунку показників таксаційної будови за програмою БУДОВА свідчать, що оптимальним для об'єкта досліджень є β -розподіл:

$$V = 36,54 - 0,9875 \cdot D + 1,609 \cdot 10^{-2} \cdot D^2, \quad (1)$$

$$W = -2,109 + 5,35 \cdot 10^{-2} \cdot P_{dil} + 2,24 \cdot 10^{-4} \cdot P_{dil}^2, \quad (2)$$

$$R_1 = -0,132 + 5,81 \cdot 10^{-2} \cdot D - 1,1 \cdot 10^{-3} \cdot D^2, \quad (3)$$

$$R_2 = 1,99 - 1,36 \cdot 10^{-2} \cdot D, \quad (4)$$

де V – мінливість діаметра модального деревостану;

W – відношення мінливості ділової частини до загальної мінливості діаметра деревостану;

R_1 та R_2 – відповідно мінімальний та максимальний діаметри в модальному деревостані.

Також виявлено залежність частки ділових стовбурів (P_{dil}) від середнього діаметра (D) модальних соснових деревостанів штучного походження:

$$P_{dil} = 14,95 + 5,308 \cdot D - 8,9 \cdot 10^{-2} \cdot D^2 . \quad (5)$$

На рисунку 1 на основі поданих вище (формули 1–5) параметрів β -розподілу наведено графік загальної кількості стовбурів для 40–100-річних модальних соснових деревостанів. На графіку 1 000 стовбурів умовно відповідають загальній кількості дерев у деревостані.

Порівняння отриманих результатів розподілу стовбурів за діаметром із даними для Лісостепу й Полісся загалом (Girs 2011), для заповідних лісів Центрального Полісся (Svynchuk et al. 2014) та Придонецького Степу (Pasternak et al. 2021) свідчить, що мінливість діаметрів у штучних соснових деревостанах Слобожанського лісотипологічного району є меншою (22,0%), порівнюючи з 30,1% для Лісостепу й Полісся загалом, 41,2% – для заповідних лісів Центрального Полісся та 23,7% для Придонецького Степу.

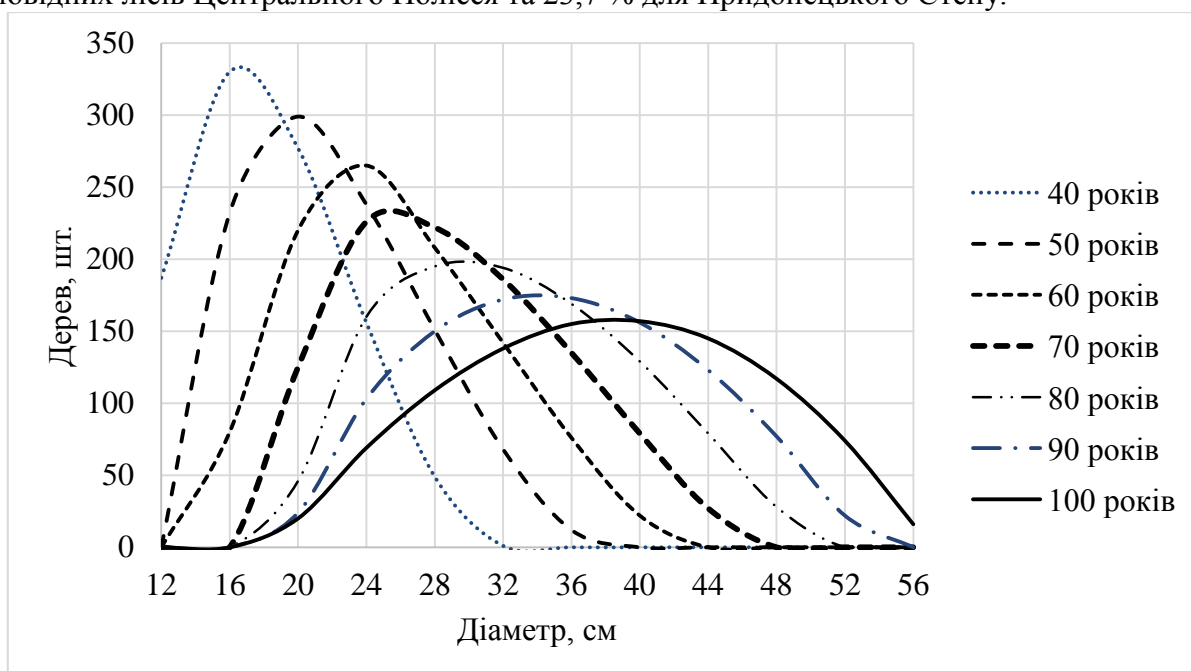


Рис. 1 – Розподіл стовбурів за діаметром у модальних соснових деревостанах штучного походження

Закономірності таксаційної будови є теоретичною основою побудови нормативів товарної структури й динаміки товарності. Для моделювання динаміки товарної структури соснових деревостанів штучного походження використано регіональні таблиці ходу росту, таблиці розподілу об'єму ділових стовбурів сосни за класами та підкласами товщини (Vilous et al. 2021) й наведені вище параметри будови за діаметром. Нормативи розраховували за розробленою на кафедрі лісової таксації і лісовпорядкування НУБіП України методикою (Kashpor 1999). Класи та підкласи товщини ділової деревини визначали за середнім діаметром колод без кори: D1b – 14,5–19,4 см, D2a – 19,5–25,4 см, D2b – 25,5–29,4 см, D3a – 29,5–34,4 см, D3b – 34,5–39,4 см, D4 – 39,5–49,4 см, D5 – 49,5–59,4 см. Показники виходу ділової деревини за класами товщини залежно від віку деревостанів вирівнювали графічно (рис. 2).

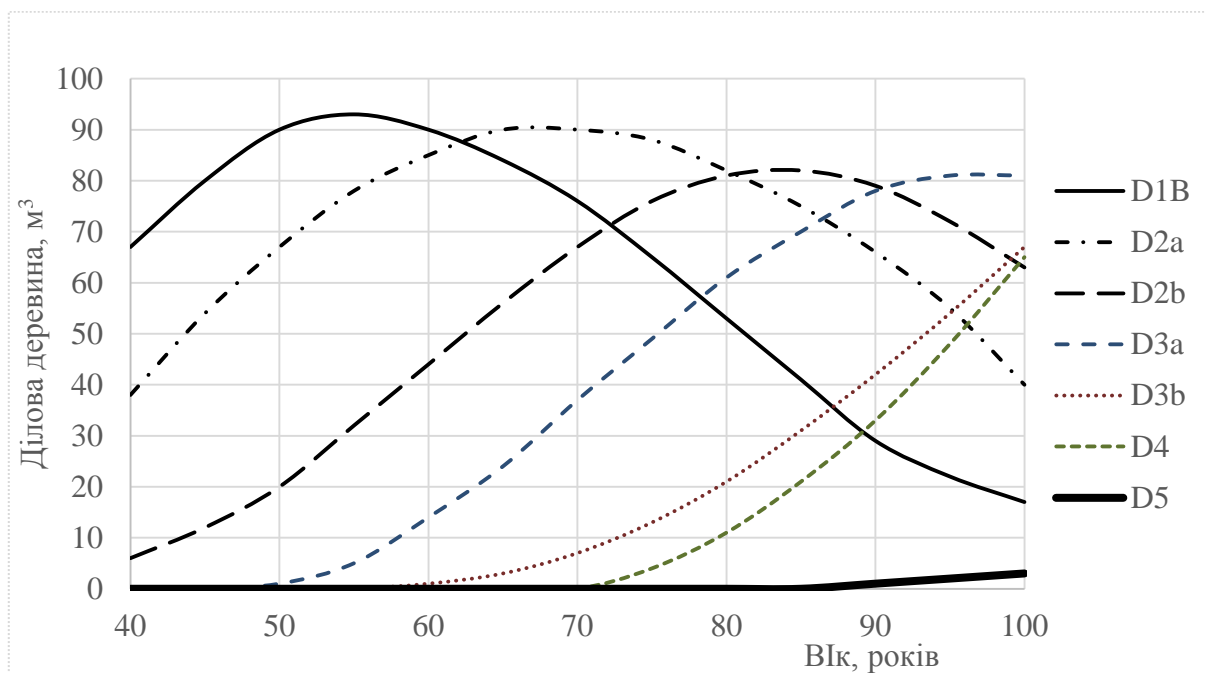


Рис. 2 – Вихід ділової деревини за класами товщини

Нормативи динаміки товарної структури модальних соснових деревостанів побудовано на основі даних про розподіл об'єму ділових стовбурів діаметром від 16 см і більшим за класами й підкласами товщини, узгодженими з європейськими підходами щодо таксації круглих лісоматеріалів (Dimensional classification 2002, Bilous et al. 2021) (табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка товарної структури модальних соснових деревостанів штучного походження I класу бонітету Слобжанського лісотипологічного району

Вік, років	Середнє значення		Запас, м ³ ·га ⁻¹	Ділова деревина за класами товщини, м ³ ·га ⁻¹								Дрова, м ³ ·га ⁻¹	Відходи, м ³ ·га ⁻¹
	висоти H, м	діаметра D, см		D1b	D2a	D2b	D3a	D3b	D4	D5	Разом		
40	16,3	18,8	244	67	38	6	–	–	–	–	111	120	13
45	17,8	20,8	274	80	54	12	–	–	–	–	146	111	17
50	19,3	22,8	301	90	67	20	1	–	–	–	178	105	18
55	20,6	24,7	326	93	78	32	5	–	–	–	208	97	21
60	21,9	26,6	346	90	85	44	14	1	–	–	234	89	23
65	23,0	28,4	363	84	90	56	24	3	–	–	257	81	25
70	24,0	30,0	378	76	90	67	37	7	–	–	277	74	27
75	25,0	31,7	392	65	88	76	49	13	4	–	295	69	28
80	25,9	33,2	404	53	82	81	61	21	11	–	309	66	29
85	26,7	34,7	413	41	75	82	70	31	21	–	320	63	30
90	27,5	36,2	422	29	66	79	78	42	33	1	328	64	30
95	28,2	37,7	431	22	55	72	81	54	48	2	334	67	30
100	28,8	39,2	437	17	40	63	81	67	65	3	336	71	30

Об'єм дров'яної деревини визначали як суму об'єму дров'яних стовбурів і дров'яної деревини з ділових дерев. На основі показників динаміки товарності виявлено, що технічна стиглість за діловою деревиною настає у віці 70 років, для ділової деревини із середнім

діаметром 19,5 см і більшим – 90 років та із середнім діаметром 29,5 см і більшим – 100 років.

Також проведено порівняльний аналіз динаміки виходу ділової деревини в модальних сосняках для Слобожанського лісотипологічного району (Лівобережний Лісостеп) та Придонецького Степу (табл. 4).

Таблиця 4

Порівняльний аналіз оцінки динаміки розмірно-якісної структури модальних деревостанів сосни для Придонецького Степу та Лівобережного Лісостепу

Вік, років	Запас ділової деревини, м ³ ·га ⁻¹		Відхилення за виходом ділової деревини	
	для Придонецького Степу	для Лівобережного Лісостепу	м ³ ·га ⁻¹	%
40	104	111	7	6,3
50	172	178	6	3,4
60	221	234	13	5,6
70	253	277	24	8,7
80	274	309	35	11,3

Як видно з таблиці 4, вихід ділової деревини в штучних соснових деревостанах є вищим для Слобожанського лісотипологічного району, ніж для Придонецького Степу (у середньому на 7,1 %), причому найбільший вплив виявлено у 80-річному віці (11,3 %). Це пояснюється як дещо меншими загальними запасами, так і гіршим станом соснових деревостанів у Придонецькому Степу. Порівнюючи розроблені для Слобожанського лісотипологічного району нормативи з нормативами, розробленими для модальних природних соснових деревостанів Київщини (Girs & Sodolinskiy 2021), слід зазначити, що за нашими даними вихід ділової деревини є дещо більшим. Це пояснюється насамперед тим, що до якісної категорії D круглих лісоматеріалів ділової деревини за новими ДСТУ зараховували частину деревини, яка за ГОСТ належала до дров технологічних, а також дещо нижчими загальними запасами й особливостями таксаційної будови природних сосняків Київщини.

Висновки. Соснові деревостани регіону досліджень за динамікою росту й товарності істотно відрізняються від деревостанів Придонецького Степу та Полісся України. Тому представлені в цій статті нормативи таксаційної будови й динаміки товарної структури модальних соснових деревостанів із урахуванням європейських підходів щодо таксації круглих лісоматеріалів можуть суттєво підвищити якість ведення лісового господарства та точність таксації соснових деревостанів Слобожанського регіону. Виявлено, що технічна стиглість за діловою деревиною настає у віці 70 років, за діловою деревиною класу товщини D2 і більшою – 90 років, класу товщини D3 і більшою – у віці 100 років.

ПОСИЛАННЯ –REFERENCES

- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V., Svyinchuk, V. A. and Lesnik O.M.* 2021. Forest inventory handbook. Kyiv, Publishing house “Vinicnenko”, 420 p. (in Ukrainian).
- Dimensional classification – Part 2: Softwood round timber. DSTU EN 1315-1:2001 (EN 1315-2:1997, IDT). 2002. Valid from January 1, 2002. Official edition. Kyiv, Technical Committee for Standardization (in Ukrainian).
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Ministry for Agrarian Policy of Ukraine, 32 p. (in Ukrainian).
- Gensiruk, S. A.* 2002. Forests of Ukraine. Lviv, Shevchenko Scientific Society Publishing House, 496 p. (in Ukrainian).
- Girs, O. A.* 2011. Maturity of forest stands and use of wood resources in forests of different functional purposes. Korsun-Shevchenkivskiy, Maydachenko I. S., 315 p. (in Ukrainian).
- Girs, O. A. and Sodolinskiy, R. V.* 2021. Optimization of main cutting volume and merchantability of Scots pine forest stands of Kyiv region forests. Kyiv, NULES of Ukraine, 200 p. (in Ukrainian).
- Kashpor, S. M.* 1999. Methodological bases of stand commodity structure dynamics creation. Scientific Bulletin of National Agrarian University, 17: 265–268 (in Ukrainian).

Ostapenko, B. F. and Tkach, V. P. 2002. Forest Typology. Kharkiv, Pleyada, 204 p. (in Ukrainian).

Pasternak V. P., Prihodko O. B., Girs O. A. 2021. Structure of pine stands in the Pridonetsk Steppe of Ukraine. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 23: 110–116 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/412133>

Strochinskiy, A. A., Kashpor, S. M., Svyinchuk, V. A. 2005. Peculiarities of mensuration structure of artificial pine forest stands of Western and Central Polissya of Ukraine. Agrarian Science and Education, 5-6: 106–111 (in Ukrainian).

Svyinchuk, V. A., Zibtsev, S. V., Gumeniuk, V. V. 2014. Taxation structure peculiarities of artificial pine stands of protected forests in Central Polissya of Ukraine. Scientific Bulletin of National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, 198: 53–57 (in Ukrainian).

Tarnopilska, O. M. 2012. Features of growth and formation of artificial pine plantations of the Left Bank Steppe and Forest-Steppe. Extended abstract of PhD dissertation. Kharkiv, 22 p. (in Ukrainian).

Terentiev, A., Bala, O., Lakyda, P., Bondar, H. 2023. Current state and productivity of Scots pine modal stands of the Forest Steppe of Ukraine. Ukrainian Journal of Forest and Wood Science, 14(1): 105–123. <https://doi.org/10.31548/forest/1.2023.105>

Yarotskiy, V. Y., Pyvovar, T. S., Pasternak, V. P., Garmash, A. V. 2016. The structure of pine stands at the Left-bank Forest-steppe of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 26(4): 53–59 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260408>

Pasternak V. P.^{1,3}, Girs O. A.², Garmash A. V.³

DYNAMICS OF MARKETABILITY STRUCTURE OF PINE STANDS IN SLOBOZHANSKYI FOREST TYPOLOGICAL DISTRICT

¹*Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky*

²*National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine*

³*State Biotechnological University*

The distribution of pine stands in the Slobozhanskyi forest typological district was analyzed and the pine stand indicators were examined. The distribution of the pine stands in the study region by origin, forest types, density of stocking and productivity has been assessed. The mensuration indicators and marketability structure of the pine stands were considered. Models have been developed for the diameter variability of the modal stand and the ratio of the variability of the industrial timber part to the total dimensional variability of the stand, taking into account the minimum and maximum diameters in the modal stand. The relationship between the proportion of industrial timber and the age of planted modal pine stands has been established. The tables of the marketability structure dynamics for modal pine stands were created, taking into account the distribution of industrial timber volumes by dimensional classes, consistent with European approaches to round timber measurement. When comparing the standards developed for the Slobozhanskyi forest typological district with those developed for Pridonetskyi Steppe, it have been found that in the latter the output of industrial timber is lower, which is primarily associated with the forest site conditions of the region and state of forest stands.

Key words: *Pinus sylvestris* L., modal stands, marketability, dimensional classes.

E-mail: pasternak65@ukr.net

Одержано редколегією 03.05.2023



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.22>

В. П. ПАСТЕРНАК^{1,2}, О. А. ГІРС¹, В. В. НАЗАРЕНКО²
ДИНАМІКА ОБСЯГІВ РУБОК ГОЛОВНОГО КОРИСТУВАННЯ
В СОСНОВИХ ДЕРЕВОСТАНАХ ПОЛІССЯ УКРАЇНИ

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

²Державний біотехнологічний університет

Надано прогноз обсягів рубок головного користування на 90-річний період для соснових експлуатаційних лісів Полісся, а також на 110-річний період для інших категорій лісів, що включені в розрахунок головного користування. Проведено розрахунки нормальної (рівномірного користування), першої та другої вікових, а також раціональної лісосік. Визначено, що найбільш обґрунтованою виявилася раціональна лісосіка, що передбачає залучення в рубку з урахуванням досягання лише стиглих насаджень. За умови застосування раціональної лісосіки можна уже в другому та третьому розрахункових періодах досягти нормальної з поступовим вирівнюванням вікової структури. Запропоновано встановити вік рубки соснових деревостанів в експлуатаційних лісах I класу бонітету і вищих віком 91–100 років, а в соснових деревостанах в осередках кореневої губки – 51–60 років. Це надасть можливість покращити розмірно-якісну структуру деревостанів та посилити виконання ними еколого-захисних функцій, а також прискорить вирівнювання вікової структури соснових лісів.

Ключові слова: віки стиглості, *Pinus sylvestris* L., нормальна лісосіка, раціональна лісосіка, прогноз лісокористування.

Вступ. Прогнозування росту деревостанів і динаміки лісокористування є актуальним завданням у лісовому господарстві для вибору оптимальних стратегії і тактики господарської діяльності. Для обґрунтованого планування використання лісових ресурсів важливими є довготермінові прогнози з урахуванням різних сценаріїв лісоуправління. Прогнозні обсяги лісокористування визначають за допомогою різних математичних моделей із визначеною цільовою функцією та системою обмежень. Однією з таких моделей є EFISCEN, яку розроблено для широкомасштабного сценарного аналізу лісових ресурсів у Європі та використано в Україні (Schelhaas et al. 2004). На основі інформації національної інвентаризації лісів (НІЛ) або обліку лісів можна прогнозувати використання лісових ресурсів за різними сценаріями з урахуванням стратегії лісоуправління, а також враховувати зміни площ і показників росту лісів, зокрема внаслідок зміни клімату. За допомогою EFISCEN можна також визначити показники, які пов'язані з важливими екосистемними функціями лісів (поглинанням вуглецю, збереженням біорізноманіття, рекреацією тощо), що дає змогу оцінити вплив різних стратегій лісоуправління.

За допомогою моделі EFISCEN отримано результати на рівні Європи щодо динаміки лісових ресурсів, балансу вуглецю, ресурсів деревини та надання екологічних послуг. Зокрема, модель успішно застосовано для досліджень перспектив лісового сектору Європейської Економічної Комісії ООН (The European Forest Sector Outlook Study II, 2011), а також для визначення базових рівнів викидів і поглинань парникових газів у підсекторі лісового господарства. Стан лісів представлено у вигляді матриці розподілу площ лісових насаджень за класами віку та запасом.

Розроблено базову модель EFISCEN Space, за допомогою якої прогнозують динаміку на рівні окремих дерев на ділянках НІЛ із використанням видо-специфічних моделей приросту (Schelhaas et al. 2018), які визначають ріст дерева як функцію від його діаметра, суми площ перерізу деревостану та абіотичних чинників. Відпад і рубки моделюють як видалення дерев певного виду за класами діаметра. За результатами повторних інвентаризацій одержують і впроваджують фіксовані співвідношення (для виду й класу діаметра).

Найперспективнішими є моделі, в яких цільовою функцією є збалансоване використання всіх корисних властивостей лісу, а не лише його сировинного потенціалу. Водночас такі моделі наразі в Україні не реалізовані через відсутність нормативів визначення вартості всієї продукції лісу та його корисних властивостей.

Для розрахунку обсягу рубок головного користування зазвичай визначають нормальну (рівномірного користування), першу та другу вікові, а також раціональну лісосіку за площею. В Україні, де наявний дефіцит стиглого лісу, найбільш прийнятною є раціональна лісосіка. Суть її полягає у визначенні такого обсягу рубок головного користування, який забезпечує залучення до рубки лише стиглих і перестійних насаджень із урахуванням досягання. Водночас слід враховувати, що розрахункова лісосіка має бути забезпечена наявними на час розрахунку запасами стиглих і перестійних деревостанів не менше як на п'ять років, а в наступні п'ять років – унаслідок досягання пристиглих деревостанів останнього п'ятиріччя. Пропозицію щодо розрахунку раціональної лісосіки вперше було надано українським ученим-практиком В. К. Поляковим (Polyakov 1972). Вона набула подальшого розвитку у працях В. Антанайтиса, Р. Дялтуваса (Antanytis & Dyaltuvas 1981), С. М. Кашпора, О. А. Гірса (Kashpor & Girs 2010) та інших.

Розрахунок обсягів рубок головного користування виконують за господарськими секціями, основним техніко-лісівничим показником яких є вік рубки, що базується на обґрунтованому віці стиглості. Чинні на сьогодні віки стиглості у лісах України недостатньо диференційовані за продуктивністю, походженням, лісорослинними умовами. Запропоновано проект віків стиглості деревостанів, що передбачає його підвищення в соснових деревостанах I і вищих класів бонітету експлуатаційних лісів на один клас віку (Girs et al. 2018). О. А. Гірсом і М. М. Рековцем виявлено значне зменшення обсягів лісокористування на першому етапі в соснових лісах України за проектними віками стиглості на період 2009–2017 рр. (на 1 110,9 тис. м³, або на 33,3 % менше, ніж за чинним віком рубок головного користування), однак уже з другого періоду прогнозують (Girs & Rekovets 2008), що обсяг головного користування досягне 93–95 % відповідних розрахункових лісосік за чинними віками стиглості.

Розрахунок та оптимізація лісокористування для Полісся загалом мають низку переваг у порівнянні з подібними розрахунками у межах лісгосподарських підприємств (прискорений перехід до лісосіки рівномірного користування, збільшення розрахункової лісосіки на 15–20 % тощо). У разі об'єднання лісгосподарських підприємств відпаде необхідність у нормалізації лісового фонду окремого структурного підрозділу (Girs & Rekovets 2008).

Деревостани з переважанням сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у Поліссі згідно з базою даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2021 ростуть на площі понад 2 млн га. Вони виконують важливі еколого-захисні та сировинні функції. Тому прогнозування використання лісових ресурсів у соснових лісах Полісся є актуальним.

Мета роботи – прогноз обсягів головного користування у Поліссі на період обороту рубки за господарськими частинами соснових лісів.

Матеріали й методи. Об'єктом досліджень стали всі включені в експлуатацію соснові деревостани зони Полісся. Детальні розрахунки за чинною «Методикою визначення розрахункової лісосіки» (Methodology 2000) виконували в межах соснових експлуатаційних лісів Полісся, а також інших категорій лісів, що включені у розрахунок головного користування. Для розрахунків прийнято незмінність загальної площі соснових лісів та їхнього розподілу за категоріями.

Для виконання розрахунків з бази даних ВО «Укрдержліспроект» станом на 01.01.2021 сформовано розподіл площ та запасів соснових деревостанів за класами віку та бонітету за двома господарськими частинами (експлуатаційні ліси та ліси з обмеженим режимом лісокористування). Для зручності подальших розрахунків інформацію щодо розподілу площ та запасів за класами віку групували за господарськими секціями та диференціювали за віком рубок головного користування залежно від груп бонітетів. За розробленою на кафедрі лісової таксації та лісовпорядкування Національного університету біоресурсів і природокористування України програмою (MS Excel) для соснових господарських секцій розраховано такі лісосіки: рівномірного користування (нормальна), перша і друга вікові та раціональна.

Результати та обговорення. Для соснової господарської секції в експлуатаційних лісах у першому періоді розрахунку площа лісосіки рівномірного користування становить 14 064 га, першої вікової – 12 462 га, другої вікової – 15 715 га, раціональної лісосіки – 11 402 га; для інших категорій лісів – 3 131, 1 472, 2 782 та 1 240 га відповідно. Приклад розрахунку раціональної лісосіки для експлуатаційних лісів наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Розрахунок раціональної лісосіки для соснової господарської секції експлуатаційних лісів Полісся

Клас віку	Площа, га	Накопичена площа, га	Період розрахунку	Розрахункова лісосіка, га?	Площа наступного періоду, га
I	174 450	1 265 768	9	22 482	114 020
II	80 692	1 091 318	8	22 068	174 450
III	82 316	1 010 626	7	23 375	80 692
IV	96 527	928 310	6	29 289	82 316
V	203 180	831 783	5	34 411	96 527
VI	254 736	628 603	4	33 489	203 180
VII	188 817	373 867	3	23 841	254 736
VIII	128 040	185 050	2	14 206	188 817
IX	57 010	57 010	1	11 402	71 030

У IX класі віку враховано всі стиглі та перестійні деревостани. Накопичені площі розраховують за таким принципом: в останній рядок записують площу всіх стиглих деревостанів ($S_{IX} = 57\,010$ га), у передостанній – $S_{IX} + S_{VIII} = 185\,050$ га (така площа стиглого лісу буде через 10 років). Через 20 років площа насаджень стиглого лісу досягне 373 867 га, а через 80 років – всі 1 265 768 га господарської секції.

Розрахункову лісосіку обраховують послідовно за дев'ятьма періодами. У другому періоді розрахунку відбувається переміщення площ із урахуванням обсягів лісовідновлення (114 020 га у I класі віку та залишку стиглих деревостанів у IX класі (185 050 га - 114 020 га = 71 030 га). До I класу віку умовно враховано також незімкнені лісові культури. Надалі розрахунок повторюють для другого та інших періодів на весь оборот рубки (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка розрахункової лісосіки і «переміщення площ» соснової господарської секції для експлуатаційних лісів

Період розрахунку	Лісосіка, га	Площа деревостанів за класами віку, га								
		I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	≥IX
1	11 402	174 450	80 692	82 316	96 527	203 180	254 736	188 817	128 040	57 010
2	14 064	114 020	174 450	80 692	82 316	96 527	203 180	254 736	188 817	71 030
3	14 064	140 640	114 020	174 450	80 692	82 316	96 527	203 180	254 736	119 207
4	14 064	140 640	140 640	114 020	174 450	80 692	82 316	96 527	203 180	233 303
5	14 064	140 640	140 640	140 640	114 020	174 450	80 692	82 316	96 527	295 843
6	14 064	140 640	140 640	140 640	140 640	114 020	174 450	80 692	82 316	251 730
7	14 064	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	114 020	174 450	80 692	193 406
8	14 064	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	114 020	174 450	133 458
9	14 064	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	140 640	114 020	167 268

Раціональна лісосіка в сосновій господарській секції експлуатаційних лісів з передбаченням залучення в рубку з урахуванням досягання лише стиглих насаджень уже

в другому розрахунковому періоді досягне нормальної. Слід звернути увагу на накопичення площ стиглих і перестійних деревостанів у 4–6-му періодах розрахунку, що пов'язане з вимогою не рубати більше за нормальну лісосіку (інакше не буде досягнуто рівномірного розподілу деревостанів за класами віку).

За таким самим принципом проводять розрахунки й для соснової господарської секції в лісах з обмеженим режимом лісокористування (табл. 3).

Таблиця 3

Динаміка розрахункової лісосіки і «пересування площ» соснової господарської секції для лісів із обмеженим режимом користування

Період розрахунку	Площа деревостанів за класами віку, га										
	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
1	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	68 037	49 525	45 419	25 900	11 726	6 542
2	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	68 037	49 525	45 419	25 900	5 863
3	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	68 037	49 525	45 419	20 037
4	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	68 037	49 525	34 144
5	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	68 037	52 357
6	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	47 222	89 082
7	31 312	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	20 186	104 992
8	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	15 503	93 865
9	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	16 906	78 056
10	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	37 468	63 650
11	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	31 312	11 726	12 404	69 806

Для перших двох періодів застосовують раціональну (1 240,4 та 1 172,6 га) лісосіку, а з третього періоду можна перейти на нормальну (3 131,2 га). У 6–8-му періодах розрахунку відбувається накопичення площ стиглих і перестійних деревостанів, що пов'язане зі значною нерівномірністю розподілу площ соснових деревостанів за класами віку.

Як допоміжну можна використовувати так звану «контрольну» розрахункову лісосіку, яку для перших двох періодів визначають діленням площі всіх стиглих та останнього класу пристиглих деревостанів на двадцять років. Для соснової господарської секції в експлуатаційних лісах контрольна лісосіка у першому періоді становить 9252 га, а в лісах із обмеженим режимом користування – 913 га. Перевагою контрольної лісосіки є прискорений перехід до нормального лісокористування, незважаючи на деяке зменшення обсягу лісокористування у першому періоді у порівнянні з раціональною лісосікою.

За умови впровадження запропонованих віків стиглості (91–100 років для експлуатаційних лісів I класу бонітету і вищих) зменшення розрахункової лісосіки в першому періоді становитиме 30 % через виснаження експлуатаційного фонду, у другому це зменшення майже нівелюється. За площею в третьому періоді лісосіка наближується до нормальної, а за запасом розрахункова лісосіка буде більшою, ніж за чинними віками стиглості.

Вік стиглості уражених куртинним всиханням соснових деревостанів визначено з урахуванням обсягів залісення колишніх сільськогосподарських (староорних) земель і віку насаджень, в якому коренева губка набуває найбільшого поширення (Recommendations 2015). Патологічні процеси в соснових деревостанах в осередках кореневої губки досягають максимуму в VI–VII класах віку. У зв'язку із цим вік стиглості уражених куртинним (груповим) всиханням соснових деревостанів, створених на порушених землях, в експлуатаційних лісах пропонуємо визначити у 51–60 років у Поліссі та Лісостепу, що сприятиме суттєвому зменшенню площ деревостанів, уражених кореневою губкою, та прискорить вирівнювання вікової структури соснових лісів. Впровадження

запропонованих віків стиглості сприятиме покращенню розмірно-якісної структури деревостанів і посиленню виконання ними еколого-захисних функцій (Girs & Sodolinskiy 2021).

Висновки. Для соснових господарських секцій у Поліссі найдоцільнішим є використання раціональної лісосіки, згідно з якою вже у другому та третьому розрахункових періодах можна буде перейти на нормальну лісосіку. Розрахунки лісосік пропонуємо проводити за агрегованими госпсекціями, що дасть можливість збільшити обсяги лісокористування. Незважаючи на тимчасове зменшення розрахункової лісосіки в першому розрахунковому періоді (на 30 %), запропоноване підвищення віку стиглості для соснових деревостанів в експлуатаційних лісах I класу бонітету і вищих до 91–100 років дасть змогу посилити еколого-захисні функції соснових лісів та одержати крашу розмірно-якісну структуру деревостанів.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Antanaitis, V. and Dyaltuvas, R. P. 1981. Target forest and forest management. Materials of the problem council on forestry and forest management, p. 24–33.

Girs, O. A., Lakyda, P. I., Tkach, V. P., Pasternak, V. P. 2018. Methodical recommendations on specification maturity age of main forest forming tree species of Ukraine. Kyiv, NULES of Ukraine, 40 p.

Girs, O. A. and Rekovets, M. M. 2008. Dynamics of the main use in pine stands based on the operating and offered ages of maturity in the forests of Ukraine. Scientific Bulletin of UNFU, 18 (9): 12–19 (in Ukrainian).

Girs, O. A. and Sodolinskiy, R. V. 2021. Optimization of main cutting volume and merchantability of Scots pine forest stands of Kyiv region forests. Kyiv. (in Ukrainian).

Kashpor, S. M. and Girs, O. A. 2010. Improvement of the mathematical model algorithm of the use of wood resources optimization in the forest and its experimental verification. Scientific Bulletin of UNFU, 20 (15): 24–29 (in Ukrainian).

Methodology for determining the annual allowable cutting. 2000. Approved by order of the State Forestry Committee of Ukraine No. 105.

Polyakov, V. K. 1972. Improving the system of forest fund accounting and calculations of forest resource use in the intensive zone of forestry management. Ph.D. thesis. Kiev, UAA, 25 p.

Recommendations on increasing the resistance of forest stands on old arable lands to pathogenic factors. 2015. Kharkiv, URIFFM (in Ukrainian).

Schelhaas, M. J., Cerny, M., Buksha, I. F. et al. 2004. Scenarios on forest management in Czech Republic, Hungary, Poland and Ukraine. European Forest Institute Research Report 17. Brill. Leiden, Boston, Kölln, 107 p.

Schelhaas, M. J., Hengeveld, G. M., Heidema, N. et al. 2018. Species-specific, pan-European diameter increment models based on data of 2.3 million trees. Forest Ecosystems, 5: 21. <https://doi.org/10.1186/s40663-018-0133-3>

The European Forest Sector Outlook Study II (2010-2030) [Electronic resource]. Available at: <https://unece.org/forests/publications/european-forest-sector-outlook-study>; https://unece.org/DAM/timber/publications/sp-28_01.pdf (accessed 05.01.2023).

Pasternak V. P.¹, Girs O. A.¹, Nazarenko V. V.²

THE DYNAMIC OF FINAL CUTTING VOLUMES IN PINE STANDS IN UKRAINIAN POLISSIA

¹Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

²State Biotechnological University

The forecasted volumes of final felling for a 90-year period within the pine operational forests in Polissia and other categories included in the calculation of the annual allowable cutting for a 110-year period were estimated. The calculations of areas for normal (uniform use) harvesting, 1st and 2nd by age harvesting, and rational harvesting were carried out. It was established that the most reasonable is rational harvesting, which involves only mature stands. With the use of rational harvesting, it is possible to achieve normal harvesting with a gradual leveling of the age structure already in the 2nd and 3rd calculation periods. We propose to set the age of harvesting at 91–100 years in operational forests of the first site index class and above and at 51–60 years in pine stands in the root rot foci. This will improve the size, quality, and age structure of pine stands and their ecological and protection functions.

Key words: maturity age, *Pinus sylvestris* L., normal harvesting, rational harvesting, annual allowable cutting forecast.

E-mail: pasternak65@ukr.net

Одержано редколегією 19.01.2023



УДК 630.24:(630.5 + 630.8)

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.27>**М. Г. РУМЯНЦЕВ¹, В. П. САМОДАЙ², В. А. ІГНАТЕНКО², А. В. СОТНІКОВА²**
СТАН І ТОВАРНО-СОРИМЕНТНА СТРУКТУРА**ШТУЧНИХ ДУБОВИХ НАСАДЖЕНЬ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ
ПІСЛЯ ПРОВЕДЕННЯ В НИХ РУБОК ДОГЛЯДУ РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ**¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького
²Краснотростянецьке відділення УкрНДІЛГА

Наведено результати досліджень впливу прохідних рубок різної інтенсивності на динаміку таксаційних показників штучних дубових насаджень в умовах свіжої кленово-липової діброви на стаціонарному дослідному об'єкті у ДП «Тростянецьке ЛГ» Сумської області. Визначено, що у віці стиглості досліджувані насадження є мішаними за складом, складними за будовою, ростуть за I класом бонітету та мають відносну повноту першого ярусу 0,6–0,7. Проаналізовано товарно-сортиментну структуру дубової частини насадження, санітарний стан дерев дуба та їхній розподіл за класами росту на секціях зі слабкою, помірною та сильною інтенсивністю зрідження деревостанів у віці прохідних рубок. Виявлено, що найбільшими діаметром і висотою, відносною повнотою та запасом характеризувалися штучні дубові насадження на секції, де проведено прохідну рубку помірної інтенсивності зрідження. За умови проведення прохідних рубок помірної інтенсивності в дубових насадженнях можна досягнути максимального виходу сортиментів, які отримують зі стовбурів більших діаметрів, – клепокового кряжу, струганого шпону та пиловника.

Ключові слова: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), інтенсивність рубки, таксаційні показники, сортименти, санітарний стан.

Вступ. У Лівобережному Лісостепу дубові насадження є найпоширенішими та займають майже половину (46 %) від загальної площі вкритих лісовою рослинністю ділянок (Rumiantsev 2020). Серед дубових лісів регіону частка насаджень штучного походження становить близько 36 % (Tkach et al. 2019). Площа штучних дубняків за останній час постійно збільшується, оскільки залісення зрубів відбувається переважно шляхом створення лісових культур (Lunachevskiy 2009, Tkach & Holovach 2009). Рубки догляду є важливим лісогосподарським заходом, спрямованим на підвищення продуктивності, біологічної стійкості й збереження біорізноманіття штучних дубових насаджень, формування господарсько цінних насаджень, а також посилення виконання ними еколого-захисних функцій.

Згідно з чинними нормативами (Regulations 2007) рубки догляду за лісом здійснюють шляхом періодичного вирубування дерев, подальше збереження яких у складі насаджень є недоцільним. Особливості проведення рубок догляду в дубових лісах залежать від породного складу, віку насаджень і типу умов місцезростання (Lunachevskiy et al. 2015, Lunachevskiy & Rumiantsev 2017, Rumiantsev et al. 2021).

Під час впровадження рубок догляду необхідно враховувати екологічні та економічні аспекти, які передбачають виявлення біологічно допустимих меж збільшення інтенсивності й повторюваності зрідження деревостанів (Lunachevskiy et al. 2015). Визначення інтенсивності рубок догляду має важливе лісівниче й техніко-економічне значення, оскільки вона значною мірою зумовлює подальший ріст і розвиток насадження, його продуктивність, породну й товарну структуру (Vasylevskiy et al. 2014).

Незважаючи на наявні дослідження щодо особливостей проведення рубок догляду в дубових лісах країни (Vakoliuk 2003, Bondar et al. 2004, Samoiloa & Panasiuk 2006, Samoiloa 2010, Vasylevskiy et al. 2014, Vasylevskiy 2016, Matusiak 2017), зокрема у Лівобережному Лісостепу (Holiachuk 1995, Holovashkin & Luk'yanets 1996, Lunachevskiy et al. 2015, Lunachevskiy & Rumiantsev 2017, Rumiantsev et al. 2021), питання інтенсивності та періодичності їхнього проведення донині є дискусійним. Зумовлено це, зокрема, відмінностями в технології створення лісових культур у різні часи. Проте за будь-яких технологій необхідно визначати кількість дерев головних порід, які слід залишати під час проведення рубок догляду, зокрема прохідних (Bondar et al. 2004). Тому дослідження щодо визначення впливу прохідних рубок різної інтенсивності на стан, продуктивність, таксаційні

показники й товарно-сортиментну структуру штучних дубових насаджень є надзвичайно актуальними.

Мета досліджень – оцінювання впливу прохідних рубок різної інтенсивності на таксаційні показники, санітарний стан і товарно-сортиментну структуру штучних дубових насаджень.

Матеріали й методи. Дослідження здійснено на стаціонарному багатоваріантному дослідному об'єкті, який закладено в 1934 р. у лісовому масиві (категорія – експлуатаційні ліси) у Нескучанському лісництві ДП «Тростянецьке ЛГ» (квартал 52, виділ 3). Прохідні рубки проведено слабкої (15 % від загального запасу), помірної (22 %) та сильної (29 %) інтенсивності.

Дослідний об'єкт було закладено у високопродуктивних штучних дубових насадженнях віком 42 роки з розвиненим другим ярусом із клена гостролистого (*Acer platanoides* L.), створених на суцільно розкорчованому зрубі після короткочасного сільськогосподарського користування. Тип лісу – свіжа кленово-липова діброва. Культури дуба створено шляхом висівання жолудів (переважно ранньої фенологічної форми). Схема розміщення садивних місць – $3,5 \times 0,25-0,35$ м. Жолуді висівали вручну під плуг. Після створення культур міжряддя використовували для вирощування сільськогосподарських культур. Через 8 років після висівання жолудів дуба у центрі міжрядь було висаджено клен гостролистий – чисті ряди дуба через 1,75 м чергувалися із чистими рядами клена. Клен гостролистий хоча й поступався дубу в рості, але добре виконував роль другого ярусу, сприяючи очищенню стовбурів дуба від сучків і перешкоджаючи появі водяних пагонів, а також затіняв поверхню ґрунту (Holyachuk 1995).

На час закладання дослідів (1934 р., вік насадження – 42 роки) насадження характеризувалося такими таксаційними показниками: склад I ярусу – 10Дз, II ярусу – 10Клг, середній діаметр дуба – 22,3 см, середня висота дуба – 22,6 м, відносна повнота – 1,0, клас бонітету – Ia, запас – $320 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Під час проведення прохідної рубки в 1934 р. було здійснено доволі інтенсивне зрідження, але різниця за видаленим запасом деревини на секціях була незначною. На секції зі слабкою інтенсивністю зрідження вирубано 49 м^3 , на секції з помірною інтенсивністю – 71 м^3 , на секції із сильною інтенсивністю зрідження – 93 м^3 , що становило відповідно 15, 22 та 29 % від загального запасу.

Після закладання дослідів повторну прохідну рубку було проведено через чотири роки. Під час проведення повторної прохідної рубки в 1938 р. інтенсивність зрідження була значно нижчою, але цього разу вона суттєво різнилася на різних секціях. У результаті проведення рубок було досягнуто суттєву різницю за повнотою та густотою на секціях слабкої, помірної та сильної інтенсивності зрідження деревостанів (Holyachuk 1995). Надалі на секціях проводили лише вибіркові санітарні рубки.

Обліки на секціях дослідного об'єкта проведено у віці насадження 42, 46, 53, 55, 60, 70, 75, 83, 97 та 126 років (у 2018 р.). Таким чином, загальний період спостережень становив понад 80 років. Результати обліків у віці насадження 42, 46, 53, 55, 60, 70, 75, 83 та 97 років наведено за даними С. Є. Голячука (Holyachuk 1995).

Характеристику дубовим насадженням під час останнього обліку надано за загальноприйнятими в лісівництві, лісознавстві та лісовій таксації методиками (Vorobyov 1967, Hrom 2010). Аналіз польових даних проведено за допомогою комп'ютерної програми Microsoft Excel. Обліки на секціях дослідів здійснювали з урахуванням стандарту організацій «Площі пробні лісовпорядні» (Forest inventory sample plots 2007). Санітарний стан дерев і деревостанів оцінювали відповідно до «Санітарних правил у лісах України» (Sanitary Forests Regulations in Ukraine 2016). Ступінь пошкодження насаджень визначали за індексом санітарного стану відповідно до таблиці 1 (Monitoring and increasing 2011).

Середній індекс санітарного стану (I_c) насаджень визначено діленням суми добутків кількості дерев кожної категорії стану на загальну кількість дерев у переліку.

Таблиця 1

Шкала визначення санітарного стану насадження та ступеня його пошкодження

Індекс стану I_c	Насадження за станом	Ступінь пошкодження
1,00–1,50	Здорове	Відсутнє
1,51–2,50	Ослаблене	Слабкий
2,51–3,50	Сильно ослаблене	Середній
3,51–4,50	Всихаюче	Сильний
4,51–5,00	Загибле	Дуже сильний

Ступінь диференціації дерев у насадженнях оцінювали за класифікацією Крафта (Pasternak 1990).

Результати та обговорення. Результати проведених 80-річних досліджень свідчать, що на всіх секціях досліду сформувалися мішані за складом складні за будовою (двоярусні) високоповнотні та високобонітетні насадження. Відносна повнота I ярусу деревостанів на секціях залежно від інтенсивності рубок догляду становила від 0,62 (на секції із сильною інтенсивністю зрідження) до 0,70 (на секції з помірною інтенсивністю зрідження). Частка супутніх порід у складі насаджень є доволі значною. Їхня повнота дає змогу виділити другий ярус деревостану, адже майже досягає показника 0,30 (Instructions for organizing 2006). Загальна повнота деревостанів на секціях залежно від інтенсивності рубок догляду становила від 0,94 (на секції із сильною інтенсивністю зрідження) до 0,98 (на секції зі слабкою інтенсивністю зрідження) (табл. 2).

Таблиця 2

**Таксаційна характеристика стиглих штучних дубових насаджень
у досліді з різною інтенсивністю проведення рубок догляду (вік насадження 126 років)**

Інтенсивність зрідження (% зрідження)	Порода	Ярус	Частка породи у складі, од.	Кількість дерев дуба, шт.·га ⁻¹	Середні значення		Сума площ поперечного перерізу, м ² ·га ⁻¹	Запас, м ³ ·га ⁻¹	Повнота	Клас бонітету
					діаметра, см	висоти, м				
Слабка (15 %)	Дз	I	10	145	49,4	29,3	27,7	380	0,69	I
	Клг	II	10	145	30,1	23,9	10,4	124	0,29	–
Разом на секції				290	–	–	38,1	505	0,98	–
Помірна (22 %)	Дз	I	10	139	51,4	30,4	28,7	408	0,70	I
	Клг	II	10	156	28,1	23,8	9,7	115	0,27	–
Разом на секції				295	–	–	38,4	524	0,97	–
Сильна (29 %)	Дз	I	10	130	50,5	30,7	25,9	372	0,62	I
	Клг	II	10	185	27,4	23,4	10,9	125	0,32	–
Разом на секції				315	–	–	36,8	497	0,94	–

Примітка. Дз – дуб звичайний, Клг – клен гостролистий.

Аналіз динаміки середніх діаметрів дуба (у віці 42–75 років) свідчить, що цей показник залежав від кількості дерев на одиниці площі. Так, значення середнього діаметра дуба було найбільшим на секції із сильною інтенсивністю зрідження, а кількість дерев була найменшою, і навпаки, значення діаметра було найменшим, а кількість дерев найбільшою – на секції зі слабкою інтенсивністю зрідження (рис. 1, 2). У старшому віці насадження (97 та 126 років) на всіх секціях відбулося поступове нівелювання різниці за кількістю дерев дуба, а відповідно, і значень їхніх середніх діаметрів, у результаті проведення вибіркового санітарного рубок із видаленням сухостійних дерев, які характеризувалися нижчим діаметром, та природним відпадом дерев дуба нижчих класів росту за Крафтом. Так, у віці насадження 126 років кількість дерев дуба варіювала від 130 шт.·га⁻¹ (із сильною інтенсивністю зрідження) до 145 шт.·га⁻¹ (секція зі слабкою інтенсивністю зрідження) (див. рис. 1).

Найбільшим значенням діаметра у віці 126 років характеризувався дуб на секції з помірною інтенсивністю зрідження – 51,4 см. На секції із сильною інтенсивністю зрідження його значення було нижчим на 2 %, а на секції зі слабкою інтенсивністю – на 4 % (див. рис. 2).

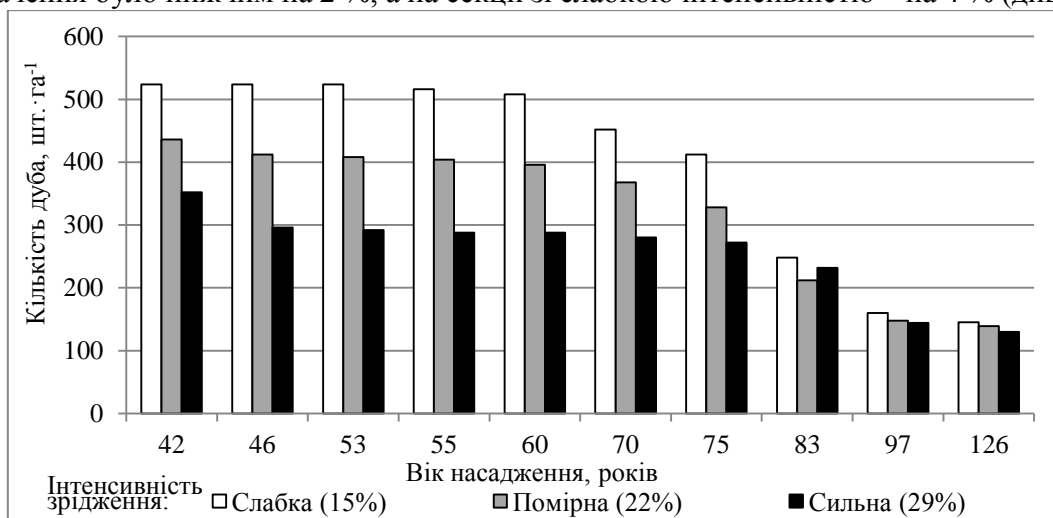


Рис. 1 – Динаміка кількості дерев дуба на секціях дослід з різною інтенсивністю зрідження

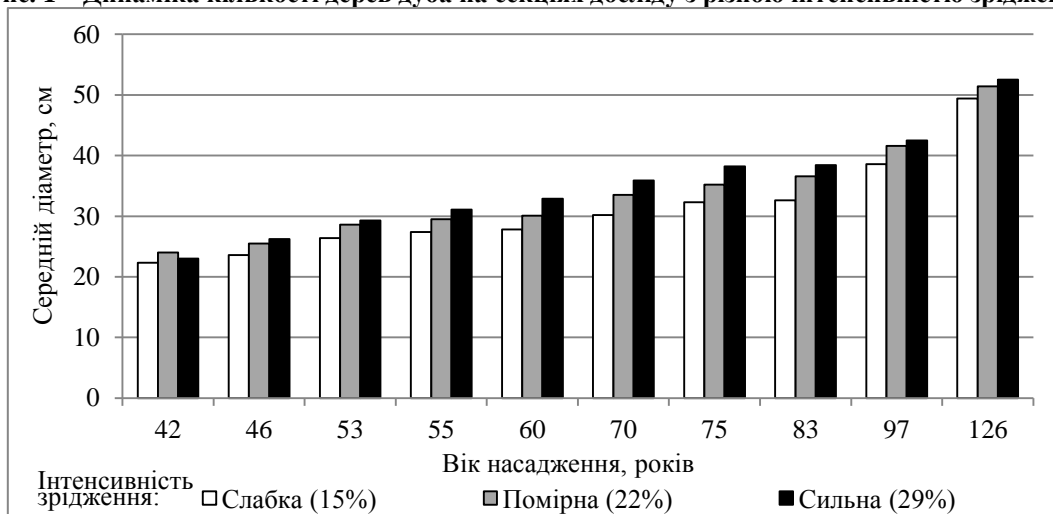


Рис. 2 – Динаміка значень середнього діаметра дуба на секціях дослід з різною інтенсивністю зрідження

Ріст дубових насаджень за висотою на секціях із різною інтенсивністю проведення рубок догляду характеризувався певними особливостями. Так, до 60-річного віку суттєвої різниці за цим показником не виявлено, адже максимальна різниця за висотою на різних секціях у віці 60 років становила лише 0,4 м. У міру подальшого збільшення віку насадження різниця між значеннями середньої висоти дуба на секціях із різною інтенсивністю зрідження також збільшувалася. Найбільшим значенням висоти у віці 126 років характеризувався дуб на секції із сильною інтенсивністю зрідження – 30,7 м. На секції з помірною інтенсивністю зрідження значення висоти було меншим лише на 1 %, а на секції зі слабкою інтенсивністю – на 5 % (рис. 3).

Аналізуючи продуктивність насаджень, зазначимо, що до 70-річного віку (за 30 років після проведення прохідних рубок різної інтенсивності) значення запасу деревини (337–352 м³·га⁻¹) на одиниці площі було прямо пропорційним кількості дерев на секціях. Тобто чим більшою була кількість дерев дуба, тим більшим була величина запасу насадження, адже інші таксаційні показники (середній діаметр і висота) мали приблизно однакові абсолютні значення. У віці 126 років величина запасу стала найменшою на секції із сильною інтенсивністю зрідження – 372 м³·га⁻¹. На секції зі слабкою інтенсивністю зрідження його значення було вищим на 2 %, а на секції з помірною інтенсивністю – на 10 % (рис. 4).

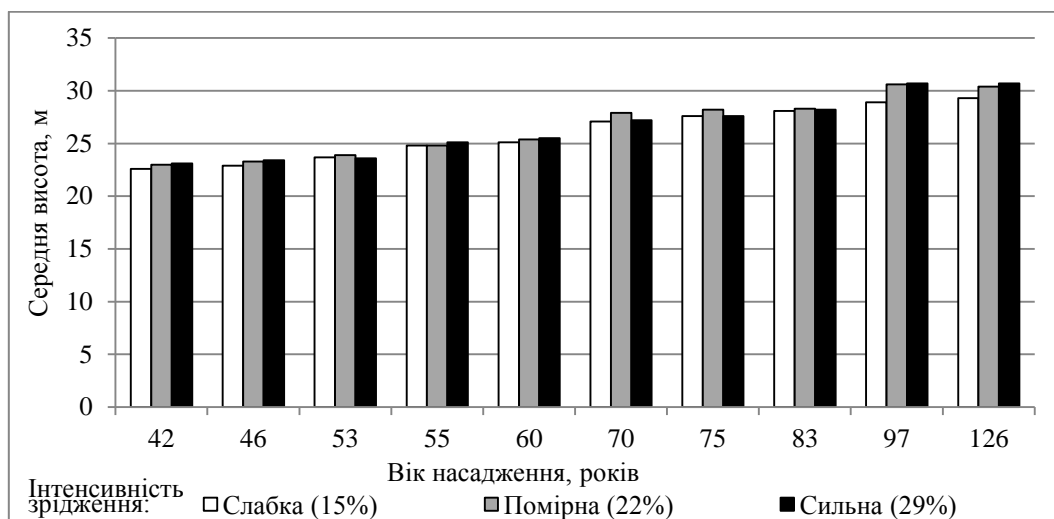


Рис. 3 – Динаміка значень середньої висоти дуба на секціях дослід з різною інтенсивністю зрідження

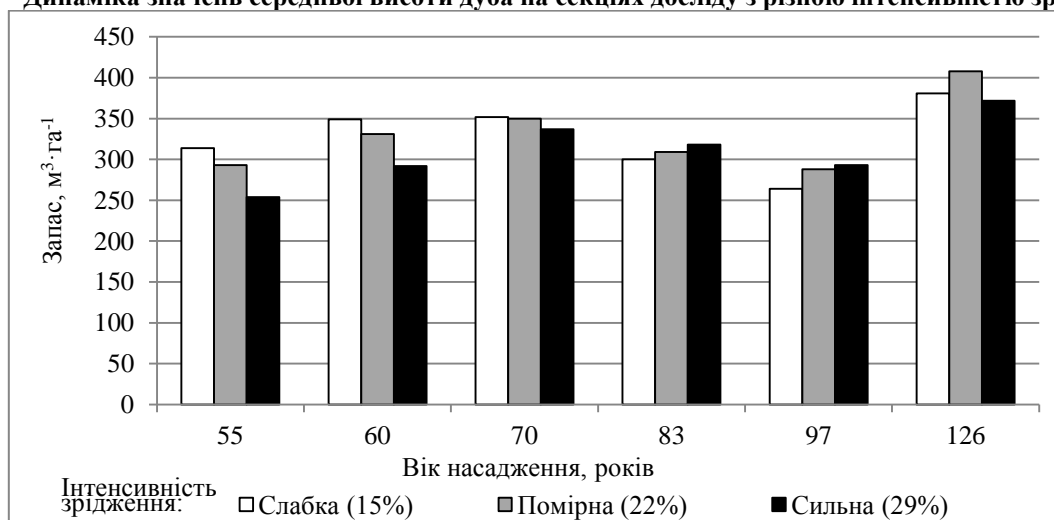


Рис. 4 – Динаміка значень запасу дуба на секціях дослід з різною інтенсивністю зрідження

Зазначимо, що у 126-річному віці значення середніх діаметра та висоти насадження мали суттєвіші відмінності на секціях із різним режимом вирощування, а отже, і більший вплив на запас насадження. Так, на секції зі слабкою інтенсивністю зрідження обліковано більшу кількість дерев дуба (145 шт.·га⁻¹), проте виявлено менші значення середнього діаметра (49,4 см) та середньої висоти (29,3 м), а величина запасу становила 381 м³·га⁻¹. Водночас величина запасу на секції з помірною інтенсивністю зрідження була найбільшою і становила 408 м³·га⁻¹ за кількості дерев 139 шт.·га⁻¹. Значення середніх діаметра та висоти становили 51,4 см і 30,4 м відповідно.

Найбільшу частку ділових стовбурів дуба обліковано на секції з помірною інтенсивністю зрідження (100 %), а найменшу (78 %) – на секції зі слабкою інтенсивністю (табл. 3). Частка напівділових стовбурів на секції зі слабкою інтенсивністю зрідження становила 22 %, а на секції із сильною інтенсивністю – 10 %.

Таблиця 3

Розподіл кількості дерев дуба за категоріями технічної якості на секціях дослід з різною інтенсивністю зрідження

Категорія технічної якості стовбурів	Інтенсивність зрідження (% зрідження)					
	слабка (15 %)		помірна (22 %)		сильна (29 %)	
	шт.	%	шт.	%	шт.	%
Ділові	113	78	139	100	118	90
Напівділові	32	22	–	–	12	10
Разом	145	100	139	100	130	100

Результати аналізу розподілу запасів дубової деревини за категоріями крупності свідчать про найбільший вихід грубої деревини на секції з помірною інтенсивністю зрідження – $276 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а найменший – $223 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ – на секції зі слабкою інтенсивністю (табл. 4). Проте такий розподіл залежить більше від якості дерев, ніж від їхньої кількості, адже на секції з помірною інтенсивністю зрідження залишилося тільки на 9 дерев дуба менше, ніж на секції зі слабкою інтенсивністю.

Таблиця 4

Розподіл деревини дуба за категоріями крупності та її товарно-сортиментна структура на секціях досліді з різною інтенсивністю зрідження (у перерахунку на 1 га), м^3

Інтенсивність зрідження (% зрідження)	Ділова деревина								Дров'яна деревина			Разом ліквіду	Разом	
	груба	середня	дрібна	Сортименти					Разом ділової	Технологічна сировина	Дрова			Відходи
				Струганий шпон	Пиловик	Будівельний ліс	Клепковий кряж	Баланси						
Слабка (15 %)	223	22	–	127	45	11	61	1	245	45	30	60	320	380
Помірна (22 %)	276	13	–	153	52	7	77	–	289	28	19	72	336	408
Сильна (29 %)	227	14	–	128	43	7	63	–	241	42	28	61	311	372

Найбільший вихід ліквідної деревини визначено на секції з помірною інтенсивністю зрідження ($336 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$); на секціях зі слабкою та сильною інтенсивністю вихід ліквідної деревини був меншим на 4 і 7 % – 320 і $311 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно

Результати розподілу запасів деревини дуба за сортиментами на секціях свідчать, що вихід сортиментів, які можна отримати зі стовбурів більших діаметрів, а саме клепковий кряж і струганий шпон, буде найбільшим на секції з помірною інтенсивністю зрідження – 77 та $153 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно, а найменшим – 61 та $127 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$ відповідно – на секції зі слабкою інтенсивністю (див. табл. 4). Частка сортиментів, яку отримують зі стовбурів менших діаметрів (будівельний ліс), навпаки, буде найбільшою на секції зі слабкою інтенсивністю зрідження ($11 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$), а найменшою (по $7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$) – на секціях із помірною та сильною інтенсивністю.

Розподіл дерев дуба за категоріями санітарного стану (рис. 5, а) свідчить про відсутність всихаючих і сухостійних дерев (IV і нижчих категорій санітарного стану) на всіх секціях.

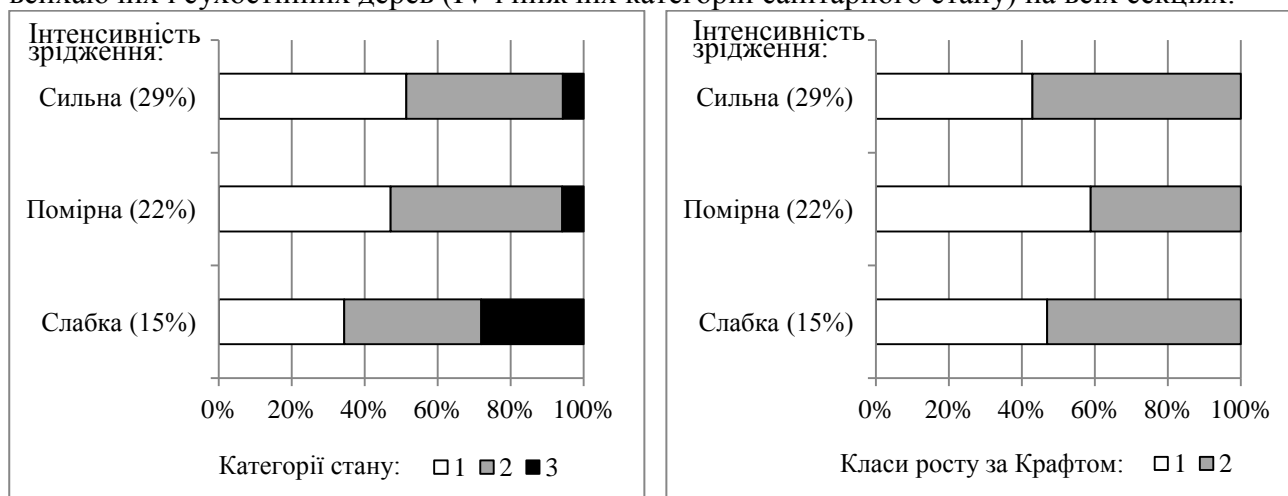


Рис. 5 – Розподіл дерев дуба за категоріями санітарного стану (а) та за класами росту за Крафтом (б) на секціях досліді з різною інтенсивністю зрідження

Найбільшу частку дерев без ознак ослаблення (І категорія стану) обліковано на секції із сильною інтенсивністю зрідження (51 % від загальної кількості), а найменшу – 34 % – на секції зі слабкою інтенсивністю. На секції з помірною інтенсивністю зрідження виявлено найбільшу частку ослаблених (ІІ категорія стану) дерев дуба, яка становила 47 % загальної кількості, а на секції зі слабкою інтенсивністю – сильно ослаблених дерев (ІІІ категорія стану) – 28 %. Значення середнього індексу стану насадження на секції із сильною інтенсивністю зрідження становило 1,54, на секції з помірною інтенсивністю – 1,59, на секції зі слабкою інтенсивністю – 1,94. За станом насадження на всіх секціях характеризувалося як «ослаблене», а ступінь його пошкодження – як «слабкий».

Розподіл дерев дуба за класами росту за Крафтом (рис. 5, б) свідчить, що найбільшу частку винятково панівних дерев (І клас росту за Крафтом) обліковано на секції з помірною інтенсивністю зрідження (59 % загальної кількості), а найменшу – на секції із сильною інтенсивністю (43 %). Частка панівних дерев (ІІ клас росту за Крафтом) є найбільшою на секції із сильною інтенсивністю зрідження (57 % загальної кількості), а найменшою – на секції з помірною інтенсивністю (41 %).

Висновки. Визначено вплив прохідних рубок різної інтенсивності на таксаційні показники, стан і товарно-сортиментну структуру штучних дубових деревостанів у віці стиглості. Виявлено, що залежно від повноти насаджень інтенсивність зріджування під час проведення прохідних рубок може варіювати в широкому діапазоні – 15–30 % за запасом.

Найбільшими таксаційними показниками, кращими середніми індексами санітарного стану та класом росту за Крафтом характеризувалися деревостани на секції з помірною інтенсивністю зрідження.

Незважаючи на відносно невелику різницю (менше ніж 10 %) між запасами деревини дуба на секціях із різною інтенсивністю зрідження, різниця за виходом певних сортиментів є більш суттєвою. Так, вихід сортиментів, які отримують зі стовбурів більших діаметрів, зокрема клепоквого кряжу, струганого шпону та пиловника, на секції з помірною інтенсивністю зрідження є більшим в середньому на 15–20 %, ніж на секціях зі слабкою та сильною інтенсивністю зрідження. Таким чином, за умови ведення господарства на отримання цих сортиментів в штучних дубових насадженнях доцільно проводити рубки догляду помірної інтенсивності.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bondar, A. O., Vasylevskiy, O. H., Orlov, O. M. 2004. Forty-year experience of thinning in hornbeam-oak forests of Podolia. *Forestry and Forest Melioration*, 107: 119–125 (in Ukrainian).

Instructions for organizing the forest fund of Ukraine. Field work. 2006. Irpin, 75 p. (in Ukrainian).

Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Minahropolityky Ukrayiny, 32 p. (in Ukrainian).

Holiachuk, S. Ye. 1995. Research of ways of growing of oak and ash stands for target assortments in oak forests in the Left bank of Ukraine. PhD thesis. Kharkiv, 177 p. (in Russian).

Holovashkin, V. A. and Luk'yanets, V. A. 1996. Study of the intensity of tending felling in the permanent study area in planted oak stands in fresh maple-ash oak forest type. *Forestry and Forest Melioration*, 92: 35–41 (in Ukrainian).

Hrom, M. M. 2010. Forest mensuration. Lviv, RVV NLTU, 416 p. (in Ukrainian).

Lunachevskiy, L. S. 2009. Productivity of artificial oak stands in the Left-bank Forest Steppe of Ukraine in the fresh maple-limeoak grove. *Forestry and Forest Melioration*, 115: 102–105 (in Ukrainian).

Lunachevskiy, L. S. and Rumiantsev, M. H. 2017. Effect of thinning intensity on the mensuration parameters of oak stands in fresh maple-lime oak forest in the Left-bank Forest-Steppe. *Forestry and Forest Melioration*, 131: 33–39 (in Ukrainian).

Lunachevskiy, L. S., Luk'yanets, V. A., Musienko, S. I. 2015. Effect of thinning of different intensity on the taxation parameters of oak stands in fresh fertile conditions. *Forestry and Forest Melioration*, 126: 66–73 (in Ukrainian).

Matusiak, M. V. 2017. Features of forming a special warehouse composition of carbon washing in Vinnytsia region. *Agriculture and Forestry*, 7(1): 121–129 (in Ukrainian).

Monitoring and increasing the resilience of man-made forests. 2011. In: Collection of recommendations of URIFFM. Kharkiv, Nove slovo, 304 p. (in Ukrainian).

Pasternak, P. S. 1990. Reference book of forester. Kyiv, Urozhay, 296 p. (in Ukrainian).

Regulations for improving the qualitative composition of forests. 2007. [Electronic resource]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 724 dated 12 May 2007. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/724-2007-%D0%BF#Text> (accessed 30.11.2022) (in Ukrainian).

Rumiantsev, M. H. 2020. The structural and functional distribution of oak stands of Left-bank Forest-steppe zone. Scientific Bulletin of UNFU, 30(1): 49–54. <https://doi.org/10.36930/40300108>.

Rumiantsev, M. H., Lunachevskiy, L. S., Samodai, V. P., Ihnatenko, V. A., Sotnikova, A. V. 2021. Influence of thinning of different intensity on the state, marketability and assortment structure of planted oak stands in the Left-Bank Forest-Steppe. Forestry and Forest Melioration, 138: 17–24 (in Ukrainian).

Samoilova, N. O. 2010. Growth of oak of the ordinary at different intensity thinning out. Scientific Bulletin of UNFU, 20(14): 60–63 (in Ukrainian).

Samoilova, N. O. and Panasiuk, T. A. 2006. Different levels of the cutting-back and assortment structure of a stand. Scientific Bulletin of UNFU, 15(3): 64–66 (in Ukrainian).

Sanitary Forests Regulations in Ukraine. 2016. [Electronic resource]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine № 756 dated 26 October 2016. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (accessed 30.11.2022) (in Ukrainian).

Tkach, V. P. and Holovach, R. V. 2009. Modern condition of natural oak stands in the Left-bank Forest-Steppe of Ukraine. Forestry and Forest Melioration, 116: 79–84 (in Ukrainian).

Tkach, V., Rumiantsev, M., Kobets, O., Luk'yanets, V., Musienko, S. 2019. Ukrainian plain oak forests and their natural regeneration. Forestry Studies, 71: 17–29. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2019-0010>.

Vakoliuk, V. D. 2003. Peculiarities of maintenance cuttings of different intensity of liquefaction in medieval and emerging oak stands of fresh hornbeam forests of Podillia. Scientific Bulletin of UNFU, 13(3): 279–283 (in Ukrainian).

Vasylevskiy, O. H. 2016. The effectiveness of thinning in oak-spruce stands in Podillia region. Forestry and Forest Melioration, 129: 10–17 (in Ukrainian).

Vasylevskiy, O. H., Neiko, I. S., Samoilova, N. O., Smashniuk, L. V., Yelysavenko, Yu. A. 2014. Optimization of species composition formation and presentation of oak stand structure by means of inspection logging carried in the Vinnitsia region. Scientific Bulletin of UNFU, 24(1): 25–29 (in Ukrainian).

Vorobyov, D. V. 1967. Methods of forest typology research. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).

Rumiantsev M. H.¹, Samodai V. P.², Ihnatenko V. A.², Sotnikova A. V.²

STATE, MARKETABILITY AND ASSORTMENT STRUCTURE OF PLANTED OAK STANDS IN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE AFTER THINNING OPERATIONS OF DIFFERENT INTENSITY

¹Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

²Krasnotrostryanetske branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The influence of thinning (in older stands, usually over 40 years) of different intensities on the dynamics of mensuration characteristics of planted oak stands in fresh fertile site conditions was studied. The stands grow at the permanent multivariate research object in Trostyanetske Forestry Enterprise in Sumy region. It was found that at a mature age, the studied stands had mixed composition and complex structure. They grew according to 1st quality class and had a relative density of stocking of the first storey of 0.6–0.7. The article analyses the merchantability and assortment structure of oak as well as the health condition of English oak trees and their distribution by growth classes in variants with low, moderate, and high intensity of thinning. It was found that planted oak stands with a moderate intensity of thinning had the largest values of diameter, height, relative density of stocking, and volume. The moderate intensity of thinning in oak stands allows to achieve the maximum yield of timber assortments obtained from trunks of larger diameters, such as barrel log, fineline veneer, and sawlog.

Key words: English oak (*Quercus robur* L.), thinning intensity, mensuration characteristics, timber assortments, health condition.

E-mail: maxrum-89@ukr.net

Одержано редколлегією 01.12.2022



**В. П. ТКАЧ, О. М. ТАРНОПЛЬСЬКА, С. В. ІЛЬЧЕНКО, П. Б. ТАРНОПЛЬСЬКИЙ,
О. В. КОБЕЦЬ, В. А. ЛУК'ЯНЕЦЬ, М. Г. РУМ'ЯНЦЕВ**

**ВПЛИВ РЕЖИМІВ ВИРОЩУВАННЯ ШТУЧНИХ НАСАДЖЕНЬ
СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА ЯКІСНІ ОЗНАКИ КОМПОНЕНТІВ
ФІТОМАСИ СТОВБУРА В ЛІВОБЕРЕЖНІЙ ЧАСТИНІ
ПІВНІЧНОГО СТЕПУ УКРАЇНИ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Досліджено якісні показники фітомаси компонентів стовбура (локальну та середню природну й базисну щільності деревини, деревини в корі та кори) штучних насаджень сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) різних режимів вирощування в лівобережній частині Північного Степу. Виявлено, що проведення рубок догляду сильної інтенсивності незначно вплинуло на показники локальної базисної щільності деревини: різниця між ними для густих і менш густих насаджень у межах одного екотопу на всіх відносних висотах є несуттєвою. Водночас суттєво більшим є показник середньої базисної щільності деревини в сухому бору, порівнюючи зі свіжим субором: у густих насадженнях – на 18,4 %, у менш густих – на 8,2 %. У степових посушливих кліматичних умовах України в сухому бору та свіжому суборі в штучних насадженнях сосни не виявлено суттєвого впливу інтенсивності рубок догляду на якість деревини сосни.

К л ю ч о в і с л о в а : *Pinus sylvestris* L., рубки догляду, інтенсивність рубки, природна щільність, базисна щільність, деревина, кора, деревина в корі.

Вступ. Серед важливих лісогосподарських заходів, які впливають на зміну фітомаси деревостанів та акумуляцію в них вуглецю, є рубки догляду. Питання щодо впливу рубок догляду в насадженнях на якість деревини завжди були актуальними в лісівничій практиці. Ефективність рубок догляду має визначатися не лише кількісними показниками поточного приросту деревини, але й якісними змінами, які відбуваються в лісових насадженнях після проведення в них таких рубок (Ryabokon 2010).

Дослідженню динаміки якісних показників деревини хвойних порід під впливом лісогосподарських доглядів присвячено низку робіт вітчизняних і закордонних авторів (Ryabokon 1990a, 1990b, Morling & Valinger 1999, Downes et al. 2002, Ryabokon 2010, Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012, Pasternak et al. 2014, Lovynska 2018). Однією з найбільш досліджених властивостей деревини є її щільність. Щільність відбиває основні фізичні й механічні властивості деревини та характеризує її масу, яка є фактором якості деревних матеріалів. Показник щільності деревини є однією з основних характеристик під час проведення обліку поглинання вуглецю лісами (Matthews 1993, Kimberley et al. 2015).

Дослідження якості деревини хвойних порід свідчать, що під впливом доглядів щільність деревини переважно зменшується (Pape 1999, Downes et al. 2002, Jaakkola et al. 2006, Peltola et al. 2007, Jyske 2008, Krajnc et al. 2019). Ці зміни є наслідком формування ширших річних шарів у результаті прискороного росту після зрідження (Candel-Pérez et al. 2018). Проте в деяких випадках рубки догляду не призводили до зменшення щільності деревини, навіть у разі зменшення кількості річних шарів у перерахунку на 1 см (Ryabokon 2010, Vincent et al. 2011). Вчені пов'язують це з тим, що якісні характеристики деревини сосни більшою мірою залежать від частки пізньої ксилеми в річному прирості, а не від ширини річного кільця (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010). Такі суперечливі результати отримано внаслідок того, що на щільність деревини впливають багато чинників: клімат, родючість ґрунтів, густина та вік насадження тощо (Deng et al. 2014, Kimberley et al. 2015, Wasik et al. 2015). Результати досліджень (Deng et al. 2014, Kovalska 2017) свідчать, що вік дерева є найважливішим показником, який визначає щільність деревини стовбурів. У роботі (Zeller et al. 2017) зазначено, що в мішаних насадженнях сосни звичайної, порівнюючи з монокультурами, ширина річних кілець виявилася на 14 % більшою, а щільність деревини – на 12 % меншою.

В умовах півдня Італії, використовуючи неруйнівний акустичний метод досліджень, вивчали вплив інтенсивності проріджування насаджень сосни калабрійської (*Pinus nigra*

Arnold subsp. *calabrica*) на щільність деревини та динамічний модуль пружності (Russo et al. 2019). Зразки було відібрано в деревостанах, де проводили рубки різної інтенсивності (без проріджування, з інтенсивністю зріджування 25, 50 та 75 % за кількістю дерев), 11 років потому. Найкращою виявилася якість деревини в деревостанах після проведення в них рубки з інтенсивністю 25 % (Russo et al. 2019).

Більшість досліджень щодо визначення якісних показників компонентів фітомаси стовбура стосуються переважно деревостанів різних складу, віку та походження. Натомість результати вивчення якості деревини у зв'язку з проведенням рубок догляду сильної інтенсивності в різних типах лісорослинних умов (ТЛУ) у штучних деревостанах сосни звичайної на тривалих стаціонарних дослідних об'єктах наведено лише в окремих наукових працях (Ryabokon 1990a, 1990b, 2010, Tkach et al. 2014). Водночас таке зіставлення результатів досліджень становить значний науковий і практичний інтерес, оскільки дає змогу отримати якісні характеристики одновікових деревостанів у різних ТЛУ за показниками біопродуктивності, а також оцінити ступінь використання екологічного потенціалу умов місцевиростання за річною продукцією деревостанів, в яких проводили рубки догляду, порівнюючи з деревостанами без лісогосподарського втручання.

Метою досліджень є визначення впливу рубок догляду сильної інтенсивності селективним і лінійно-селективними способами на показники локальної та середньої природної й базисної щільностей деревини, деревини в корі та кори стовбурів у штучних насадженнях сосни звичайної в різних лісорослинних умовах на стаціонарних дослідних об'єктах у лівобережній частині Північного Степу України.

Матеріали й методи. Дослідження проведено в середньовікових штучних соснових насадженнях на двох стаціонарних дослідних об'єктах, закладених в Ізюмському пристеповому бору в північній частині степової зони України на південно-східній межі природного поширення сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.).

В умовах свіжого субору (B_2) дослід закладено під керівництвом старшого наукового співробітника лабораторії лісівництва УкрНДДЛГА канд. с.-г. наук І. Б. Шинкаренко в 1963 р. в 5-річних культурах сосни у кв. 54 Червонооскільського лісництва Державного підприємства (ДП) «Ізюмське лісове господарство» на площі 1,02 га (Shynkarenko & Tsykhotskyi 1979). Культури створено з розміщенням садивних місць $1,5 \times 0,6-0,7$ м із початковою густрою 9 950 шт.·га⁻¹. Дослід складається з кількох варіантів рубок догляду; в презентованій роботі наведено результати аналізу лише найбільш контрастних за густрою деревостанів на двох варіантах із фактичною густрою 1 495 шт.·га⁻¹ (секція 7) та 707 шт.·га⁻¹ (секція 8).

На секції 7 у віці деревостанів 22 роки було проведено проріджування слабкої інтенсивності (менше ніж 1 % за запасом), під час якого видаляли лише сухостійні та пригнічені дерева, а у віці 45 років – прохідну рубку слабкої інтенсивності (близько 15 % за запасом).

На секції 8 проведено прочищення лінійно-селективним способом дуже сильної інтенсивності (близько 50 % за запасом) із суцільним видаленням дерев у кожному другому ряду та зріджуванням залишеної частини деревостану в 13 років, а також – проріджування сильної інтенсивності (близько 30 % за запасом) в 22 роки та прохідну рубку сильної інтенсивності (близько 26 % за запасом) у 45 років. Ґрунти на ділянці – дерново-борові повнопрофільні середньорозвинені на давньоалювіальних відкладах, рельєф – рівнинний.

В умовах сухого бору (A_1) дослід закладено також І. Б. Шинкаренко в 1966 р. в 7-річних культурах сосни у кв. 23 Червонооскільського лісництва ДП «Ізюмський лісгосп» на площі 3,8 га (Shynkarenko & Tsykhotskyi 1979). Культури створено з розміщенням садивних місць $2,5 \times 0,3-0,4$ м. У віці 7 років густина культур до рубок становила 12–13 тис. шт.·га⁻¹. Дослід містить кілька варіантів рубок догляду, але в цій роботі наведено результати досліджень лише найбільш контрастних за густрою деревостанів на двох з них – із густрою 2 704 шт.га⁻¹ (секція 5) та 1 555 шт.·га⁻¹ (секція 9). На секції 5 проведено одне освітлення

сильної інтенсивності (30 % за запасом) у 7 років, прочищення помірної інтенсивності (17 % за запасом) у 18 років і прохідну рубку слабкої інтенсивності (7 % за запасом) у 41 рік. На секції 8 проведено одне прочищення дуже сильної інтенсивності (42 % за запасом) у 18 років і прохідну рубку сильної інтенсивності (28 % за запасом) у 41 рік. Ґрунти на ділянці – дерново-борові залістисті короткопрофільні та середньопотужні на давньоалювіальних відкладах. Рельєф ділянки – широкохвилястий, різниця між висотними позначками сягає 2,5 м.

Деревостани обстежували через 8 років після проведення в них прохідних рубок.

Лісівничо-таксаційні дослідження проведено за загальноприйнятими методиками (Hrom 2010, Vilous at al. 2021). Стійкість деревостанів до ушкодження вітром, ожеледдю й налипанням мокрого снігу оцінювали за значенням відносної висоти насаджень (H/D), яке визначали як відношення середньої висоти (H , см) до середнього діаметра (D , см) деревостану (Shinkarenko 1990). Типи лісорослинних умов (ТЛУ) визначали згідно з методикою лісотипологічних досліджень (Vorobyov 1967).

Якісні ознаки стовбурів дерев за компонентами надземної фітомаси аналізували за методикою збору та опрацювання дослідних даних (Lakida & Yudytsky 1993, Lakida 2002). Для оцінювання показників природної та базисної локальної й середньої щільності компонентів фітомаси стовбура (деревини, кори та деревини в корі) на ділянках відбирали модельні дерева сосни звичайної кількістю 4–5 шт. репрезентативно ступеням товщини. Випилювали дослідні зразки деревини завтовшки 2–3 см в окоренковій частині ($0h$) та на різних висотах стовбура (h) – $0,25h$, $0,50h$ та $0,75h$ (Lakida 2002) і визначали природну та базисну щільність деревини цих зразків. Загалом зрубано й обміряно 25 модельних дерев, проаналізовано понад 120 зразків деревини.

Показники природної та базисної щільності компонентів фітомаси сосни визначали за відповідними формулами (1, 2) (Lakida 2002):

$$p = m_{nat} / v_{nat}, \quad (1)$$

де p – природна щільність компонента фітомаси, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

m_{nat} – маса зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані, кг ;

v_{nat} – об'єм зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані, м^3 ;

$$p_1 = m_0 / v_{nat}, \quad (2)$$

де p_1 – базисна щільність компонента фітомаси, $\text{кг} \cdot \text{м}^{-3}$;

m_0 – маса зразка в абсолютно сухому стані, кг ;

v_{nat} – об'єм зразка компонента фітомаси у свіжозрубаному стані, м^3 .

Значення базисної щільності деревини, на протигагу природній, не залежить від вологості й для певного зразка деревини є постійною величиною.

Визначені показники локальної природної та базисної щільності деревини, кори та деревини в корі використали для розрахунку середньої щільності відповідних компонентів фітомаси стовбурів дерев. Середню щільність деревини та кори стовбурів сосни звичайної обчислили за формулою (3), запропонованою П. І. Лакидою та Я. А. Юдицьким (Lakida & Yudytsky 1993, Lakida 2002), яка дає змогу враховувати локальні особливості зміни щільності вздовж деревного стовбура:

$$P = \frac{7P_0d_0^2 + 32P_{0,25}d_{0,25}^2 + 32P_{0,5}d_{0,5}^2 + 32P_{0,75}d_{0,75}^2}{7d_0^2 + 32d_{0,25}^2 + 12d_{0,5}^2 + 32d_{0,75}^2}, \quad (3)$$

де P_0 , $P_{0,25}$, $P_{0,5}$, $P_{0,75}$ – щільність дослідних зрізів на відносних висотах стовбура ($0h$; $0,25h$; $0,5h$; $0,75h$);

$d_0, d_{0,25}, d_{0,5}, d_{0,75}$ – діаметри зрізів на цих відносних висотах стовбура.

Природна щільність деревини безпосередньо пов'язана з її вологістю. Такою характеристикою вологості деревини та кори є абсолютна вологість, яку вимірюють у відсотках і визначають за формулою (4) (Lakida 2002, Millers & Magaznieks 2012):

$$W_a = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100, \quad (4)$$

де W_a – абсолютна вологість, %;

M_1 – маса свіжозрубаного зразка, кг;

M_2 – маса зразка в сухому стані, кг.

Статистичну обробку даних проводили за допомогою дисперсійного аналізу ANOVA з використанням критерію достовірної різниці групових середніх за U -критерієм Манна – Уїтні для малих вибірок, а також кореляційного аналізу (Hammer et al. 2001). Критичний рівень значущості під час перевірки статистичних гіпотез у дослідженні брали рівним 0,05. Для виявлення статистично значущих відмінностей між варіантами використали F -критерій ANOVA (Hammer et al. 2001).

Результати та обговорення. Лісівничо-таксаційні показники соснових насаджень із різними режимами вирощування значною мірою визначаються інтенсивністю зрідження та густотою деревостану. Так, унаслідок проведення прохідної рубки сильної інтенсивності суттєво зменшився запас насаджень, який уже в найближчі роки відновився в результаті інтенсивнішого приросту дерев. Водночас збільшився середній діаметр, а в умовах B_2 – і середня висота деревостану (табл. 1).

Таблиця 1

Лісівничо-таксаційні показники досліджуваних штучних соснових насаджень

Варіант досліджу	Інтенсивність прохідної рубки, %	Густота, шт. · га ⁻¹	Запас, м ³ · га ⁻¹	Середні		H/D	Сума площ поперечного перерізу, м ² · га ⁻¹	Відносна повнота	Клас бонітету	Індекс стану	Поточний приріст, м ³ · га ⁻¹ · (рік) ⁻¹
				висота, м	діаметр, см						
52-річні насадження, B_2											
8 (густіші деревостани)	15	<u>1 495</u> 100	<u>450</u> 100	<u>20,9</u> 100	<u>19,3</u> 100	108	<u>43,8</u> 100	0,96	I ^a	2	9,2
7 (менш густі деревостани)	26	<u>707</u> 47,3	<u>347</u> 77,1	<u>22,9</u> 109,6	<u>24,0</u> 124,4	95	<u>31,9</u> 72,8	0,68	I ^a	2	7,6
51-річні насадження, A_1											
5 (густіші деревостани)	7	<u>2 704</u> 100	<u>311</u> 100	<u>15,9</u> 100	<u>13,1</u> 100	121	<u>37,1</u> 100	0,90	II	2	6,3
9 (менш густі деревостани)	28	<u>1 555</u> 57,5	<u>236</u> 75,9	<u>15,9</u> 100,0	<u>15,4</u> 117,6	103	<u>28,9</u> 77,9	0,70	II	2	9,3

Примітка. У чисельнику – абсолютне значення, в знаменнику – частка від контролю, %

Результати аналізу впливу різних режимів вирощування соснових насаджень на їхні лісівничо-таксаційні показники свідчать, що в умовах B_2 менш густий деревостан (секція 7), густота якого є меншою на 53 %, ніж густішого (секція 8), характеризується меншими загальним запасом і сумою площ перерізів на 23 і 27 % відповідно і більшими середніми діаметром і висотою на 24 і 10 % відповідно (див. табл. 1). В умовах A_1 густота менш густого деревостану (секція 9) становить близько 58 % відносно густішого (секція 5) і, хоча він поступається цьому варіанту за запасом на 24 %, за площею поперечного перерізу – на 22 %, але перевершує його за середнім діаметром на 18 %. Деревостани з меншою густотою в обох ТЛУ характеризуються значно меншою величиною показника H/D , критичне значення якого

становить 110. Це свідчить про їхню високу стійкість до таких негативних природних явищ, як налипання мокрого снігу, ожеледь та льодолам (Shinkarenko 1990).

Результати аналізу якісних показників фітомаси стовбура свідчать, що локальна природна щільність деревини, кори та деревини в корі сосни звичайної в межах одного ТЛУ залежить від відносної висоти стовбура (табл. 2, рис. 1).

Таблиця 2

Локальна природна щільність компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах (h), кг·(м³)⁻¹

Варіант досліджу	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h
	Деревина				Деревина в корі				Кора			
B₂												
8 (густіші деревостани)	918	819	792	762	831	806	795	758	384	615	847	724
7 (менш густі деревостани)	995	895	885	982	785	879	877	955	329	657	774	747
A₁												
5 (густіші деревостани)	957	810	813	849	757	819	831	862	392	949	1037	976
9 (менш густі деревостани)	971	849	844	964	795	839	840	947	419	767	808	862

Примітка. Жирним шрифтом виділено показники, між якими виявлено суттєву різницю за результатами попарного дисперсійного аналізу Манна – Уїтні ($p < 0,05$) (Hammer et al. 2001).

В окоренковій частині стовбура (0h) на всіх варіантах дослідів показник природної щільності деревини є найбільшим, зменшуючись до висоти 0,25h стовбура, а вище по стовбуру поступово збільшується до верхівки (див. рис. 1). Це узгоджується з результатами досліджень насаджень сосни різного віку в Північному Степу України, в яких В. М. Ловінською виявлено поступове зменшення природної щільності від окоренку до висоти 0,25h стовбура з наступним збільшенням її значення до верхівки (Lovynska 2018). Показник природної щільності кори на окоренковій частині стовбура (0h), навпаки, характеризується найменшим значенням, збільшується до середини стовбура (0,5h) і зменшується у верхній його частині (0,75h).

Загалом у менш густих деревостанах природна щільність деревини на всіх відносних висотах стовбура є вищою, ніж у густіших (див. рис. 1). В умовах B₂ зрідження сильної інтенсивності деревостанів суттєвіше вплинуло на природну щільність деревини, ніж в умовах A₁. Так, у B₂ різниця між показниками природної щільності деревини в менш густому деревостані (секція 8), порівнюючи з густішим (секція 7), збільшується тим більше, чим вищою є висота стовбура: від 8 % на 0h до 22 % – на 0,75h (див. рис. 1, a). В A₁ (секції 5, 9) ця різниця є меншою і статистично недостовірною.

Серед деревостанів, в яких проведено рубки догляду сильної інтенсивності, показник природної щільності деревини в B₂ є несуттєво вищим, ніж в A₁, на всіх висотних частинах стовбура (див. рис. 1).

Природній щільності кори на всіх варіантах дослідів притаманна значна варіабельність. Це пов'язане з тим, що кора є неоднорідною за структурою та складається з двох шарів: внутрішнього – лубу – й зовнішнього – кірки. Ці шари різняться за будовою, хімічним складом і функціями; тому властивості кори змінюються в значних межах, не підпорядковуючись законам, притаманним ізотропним матеріалам (Lakida 2002). Як в умовах A₁, так і в B₂ в окоренковій частині природна та базисна щільності кори внаслідок значної частки в ній грубої кірки є суттєво меншими, ніж у середній і верхівковій частинах стовбура (див. рис. 1).

В обох ТЛУ природна щільність кори модельних дерев в усіх досліджуваних варіантах зростає до висоти 0,5h, а на висоті 0,75h – різко зменшується, за винятком варіанту сильного

зріджування в А₁ (секція 9). Рубки догляду сильної інтенсивності в А₁ суттєво вплинули на зменшення природної щільності кори в нижній (0,25h) і серединній (0,5h) частинах стовбура (на 19 і 22 % відповідно) і несуттєво – у верхівковій його частині (на 0,75h – на 12 %). В умовах В₂ відмінність між зміною природної щільності кори вздовж висоти стовбура в густішому та менш густому деревостані є меншою, ніж в А₁ (див. рис. 1). Різниця варіює від 14 % на окоренковій частині стовбура (0h) до 3 % на висоті 0,75h.

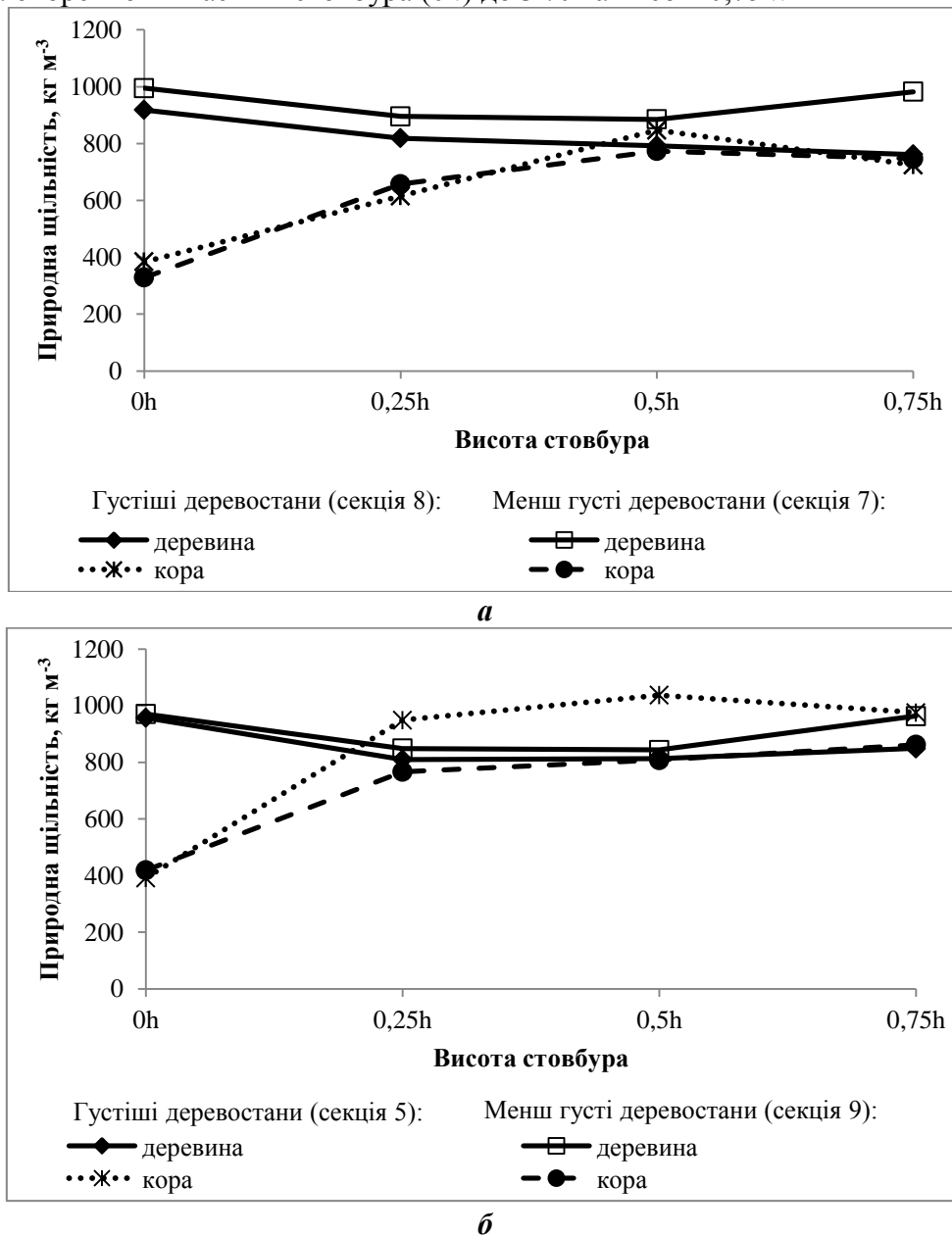


Рис. 1 – Зміна локальної природної щільності компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах: а – свіжий субір (В₂); б – сухий бір (А₁)

Природна щільність кори густіших деревостанів в умовах В₂ (секція 7) на всіх досліджених частинах стовбура є меншою, ніж в А₁ (секція 5) (див. рис. 1). Проте ця відмінність виявилася значущою лише на висоті стовбура 0,25h.

Серед менш густих деревостанів в умовах В₂ (секція 8), порівнюючи з А₁ (секція 9), природна щільність кори також є меншою на всіх відносних висотах стовбура, але ця різниця є статистично недостовірною.

Результати досліджень свідчать, що природна щільність компонентів фітомаси стовбурів значною мірою залежить від показника абсолютної вологості деревини та кори (табл. 3, див. табл. 2, рис. 1).

Таблиця 3

Середня абсолютна вологість компонентів фітомаси стовбурів деревостанів сосни звичайної

Вік деревостанів, років	ТЛУ	Вологість, %		
		Деревина	Кора	Деревина в корі
Густіші деревостани				
52	B ₂	100,7	153,3	104,8
51	A ₁	76,0	72,9	75,7
Менш густі деревостани				
52	B ₂	116,2	152,8	139,3
51	A ₁	87,8	66,3	85,2
За даними П. І. Лакіди, Українське Полісся (Lakida et al. 2011)				
9–91	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , C ₂	112,9	108,7	113,7
За даними Miller M., Magaznieks, Латвія (Millers & Magaznieks 2012)				
37–70	A ₂ , A ₃	108,4	156,0	110,5
71–146	A ₂ , A ₃	90,6	119,4	92,9

Уміст води в деревині та корі стовбурів змінюється протягом року й залежить від низки біотичних та абіотичних чинників, типу лісорослинних умов, густоти й породного складу деревостанів тощо. Вологість фітомаси компонентів стовбура пов'язана з низкою чинників і різниться залежно від породи, часу доби, пори року, погодних умов тощо (Kovalska 2017).

Між вологістю фітомаси компонентів стовбура й погодними характеристиками (середня, максимальна, мінімальна температури, середня швидкість вітру, максимально стійка швидкість вітру, загальна кількість опадів та/або сніготанення) виявлено дуже тісну обернену кореляційну залежність ($r = 0,84-0,99$).

Пряму дуже тісну кореляційну залежність визначено між середньою відносною вологістю повітря та вологістю фітомаси компонентів стовбура ($r = 0,85-0,98$). Найтіснішу кореляційну залежність виявлено між погодними умовами й вологістю кори дерева ($r > 0,90$).

Абсолютна вологість деревини, кори та деревини в корі є більшою в умовах B₂, ніж в A₁ (див. табл. 3). Водночас в обох ТЛУ в менш густих насадженнях вологість деревини і деревини в корі є вищою, ніж у густіших. Це пов'язане з більшим накопиченням вологи в ширших кільцях деревини у менш густих деревостанах. Вологість кори в менш густих деревостанах є дещо меншою, порівнюючи з густішими, внаслідок кращого випаровування вологи з кори в них.

Отримані нами дані щодо вологості компонентів стовбура хоча і є близькими до результатів, отриманих іншими дослідниками в Українському Поліссі та Латвії (Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012) (див. табл. 3), проте мають певні особливості.

Зважаючи на значну залежність природної щільності компонентів стовбура від багатьох чинників, важливе практичне значення має базисна щільність (Lakida 2002). Особливості зміни базисної щільності деревини в різних частинах стовбура та різних варіантах дослідів є подібними (рис. 2). Зміна локальної базисної щільності деревини стовбурів сосни загалом має спадний характер у міру збільшення висоти стовбура. В умовах B₂ показник базисної щільності деревини на всіх частинах стовбура в менш густих насадженнях (секція 8) є вищим, ніж у густіших (секція 7), на 8–25 % (табл. 4, рис. 2, а).

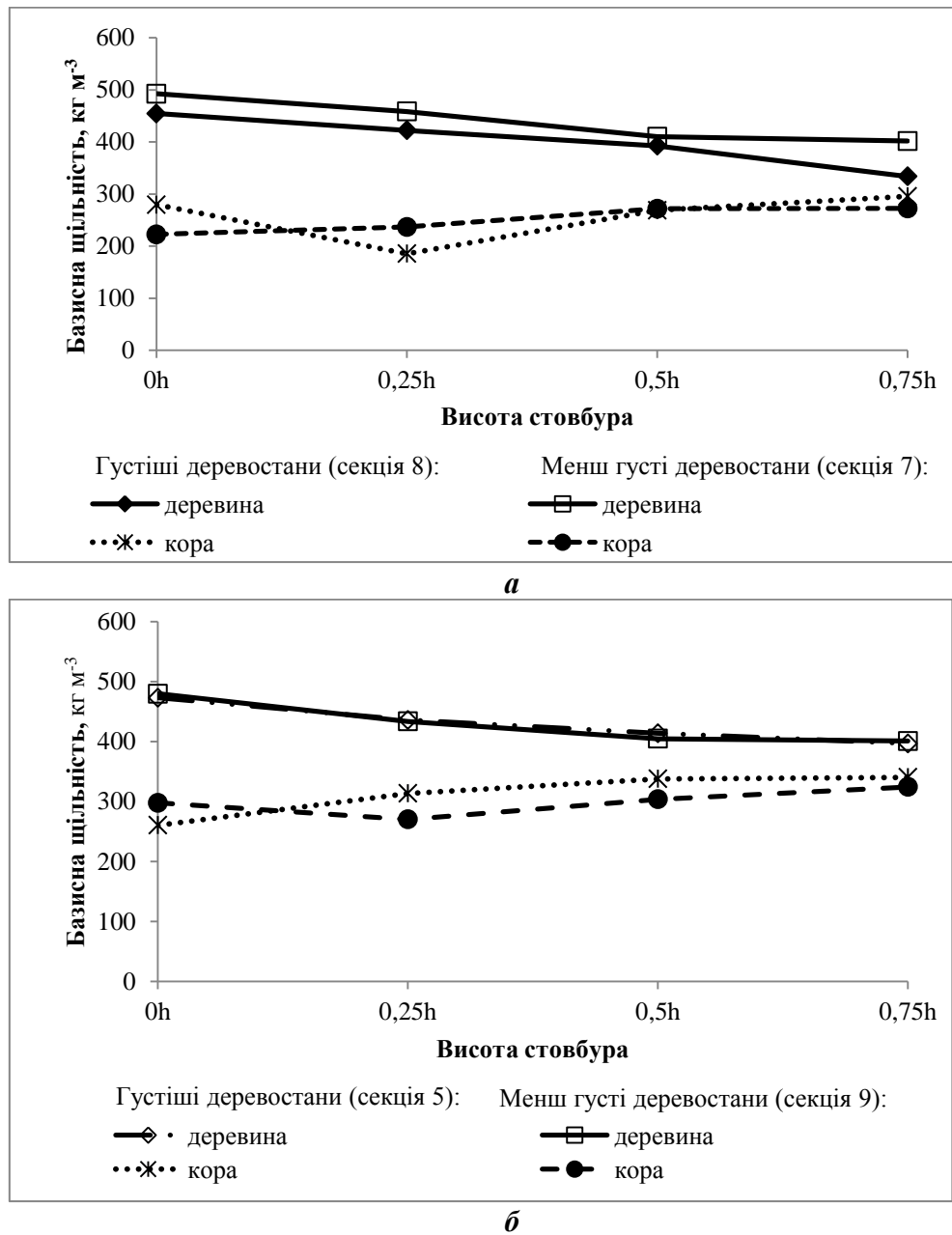


Рис. 2 – Зміна локальної базисної щільності компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах: а – свіжий субір (В₂); б – сухий бір (А₁)

Таблиця 4

Локальна базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів сосни звичайної на різних висотах стовбура (h), кг·м⁻³

Варіант досліджу	ТЛУ	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h	0h	0,25h	0,5h	0,75h
		Деревина				Деревина в корі				Кора			
8 (густіші деревостани)	В ₂	455	422	393	334	430	408	385	331	280	185	269	295
7 (менш густі деревостани)	В ₂	492	458	410	402	408	443	400	387	222	237	272	272
5 (густіші деревостани)	А ₁	473	436	414	397	396	426	407	389	260	313	338	340
9 (менш густі деревостани)	А ₁	480	434	405	401	420	419	396	390	298	270	304	324

В умовах A_1 , на відміну від B_2 , особливості зміни базисної щільності деревини в густішому (секція 5) і менш густому (секція 9) деревостанах є подібними вздовж всієї висоти стовбура і статистично не різняться (див. табл. 4, рис. 2, б).

Серед густіших насаджень базисна щільність деревини стовбурів в A_1 (секція 5) є більшою, ніж в B_2 (секція 7), на 4–26 %, хоча це в усіх випадках статистично не підтверджено (див. табл. 4). У насадженнях, в яких проводили рубки догляду сильної інтенсивності, дещо більшою (на 1–5 %) є базисна щільність деревини в B_2 (секція 8), порівнюючи з A_1 (секція 9) (див. табл. 4, рис. 2). Показники базисної щільності деревини стовбурів зі збільшенням висоти рівномірно зменшуються. Отримані нами результати щодо зміни локальної щільності деревини сосни на різних висотах деревного стовбура узгоджуються з даними П. І. Лакиди (2002), В. П. Пастернака та ін. (2014) як для природної, так і для базисної щільності.

Зміна локальної базисної щільності кори в усіх досліджених варіантах має тенденцію до зростання зі збільшенням висоти стовбура, набуваючи максимальних значень на позначці $0,75h$ (див. табл. 4, рис. 2). Це пов'язане з тим, що в окоренковій частині соснових стовбурів, порівнюючи з середньою та верхівковою частинами, щільність кори є меншою унаслідок її більшої товщини та пористості. В обох ТЛУ особливості зміни базисної щільності кори в густішому й менш густому деревостанах є подібними. В умовах B_2 рубки догляду сильної інтенсивності (секція 8) суттєво вплинули на зменшення базисної щільності кори лише в окоренковій частині стовбура (на 21 %, порівнюючи з густішим деревостаном (секція 7)). В умовах A_1 цей вплив виявився несуттєвим.

Виявлено, що серед густіших деревостанів в умовах B_2 локальна базисна щільність кори є суттєво вищою, ніж в A_1 , лише на висоті стовбура $0,25h$, а на інших висотах цей показник майже не відрізняється (див. табл. 2, рис. 2).

Зміна базисної щільності кори в менш густих деревостанах відрізняється характерними особливостями в різних ТЛУ. В умовах A_1 , на відміну від B_2 , щільність кори на всіх висотах є меншою на 26–16 % з максимальною різницею в окоренковій частині $0h$ (див. рис. 2).

Одним з важливих показників для дослідження біотичної продуктивності деревостанів є середня щільність компонента фітомаси деревного стовбура, оскільки вона враховує локальні особливості зміни щільності вздовж деревного стовбура (Lakida & Yudytsky 1993).

Проведення прохідної рубки сильної інтенсивності (секція 8) 8 років перед тим сприяло вірогідному збільшенню середньої природної щільності деревини та деревини в корі в умовах B_2 – на 12 % і 10 % відповідно, порівнюючи з густішими деревостанами (секція 7) (табл. 5).

У бідніших і сухіших умовах (A_1) різниця між показниками середньої природної щільності деревини, кори й деревини в корі густіших і менш густих деревостанів є несуттєвою (в межах 0,1–4,0 %).

Середня базисна щільність деревини, кори та деревини в корі деревостанів є суттєво меншою в умовах B_2 (секції 7 і 8), ніж в умовах A_1 (секції 5 і 9) (див. табл. 5). Проте в межах цих типів лісорослинних умов між густішими й менш густими деревостанами за цими показниками суттєвих відмін не виявлено.

Отримані результати узгоджуються з висновками багатьох дослідників про те, що проведення рубок догляду не призводить до суттєвого зменшення щільності деревини (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010, Vincent et al. 2011). Ймовірно, це пов'язане з тим, що щільність деревини сосни більшою мірою залежить від частки пізньої ксилеми в річному прирості, ніж від ширини річного кільця (Morling 2002, Jyske 2008, Ryabokon 2010).

Порівняємо показники середньої природної та базисної щільності деревини стовбурів сосни звичайної за результатами проведених нами досліджень та подібних досліджень інших авторів, зокрема в Українському Поліссі та Латвії (Lakida et al. 2011, Millers & Magaznieks 2012). Зазначимо, що для умов Полісся автори переважно визначали щільність деревини стовбура чистих культур у віковому діапазоні 9–91 років, а для умов Латвії – у культурах

віком від 37 до 146 років, в яких проводили комерційні рубки догляду або рубки головного користування (див. табл. 5).

Таблиця 5

Середні природна та базисна щільність компонентів фітомаси стовбурів дерев сосни звичайної

Вік, років	ТЛУ	Щільність, кг·(м ³) ⁻¹					
		природна			базисна		
		деревина	кора	деревина в корі	деревина	кора	деревина в корі
Густіші деревостани							
52	B ₂	821	651	803	409	257	392
51	A ₁	882	638	838	501	369	477
Менш густі деревостани							
52	B ₂	921	546	883	426	216	369
51	A ₁	881	662	848	469	398	458
За даними П. І. Лакіди, Українське Полісся (Lakida et al. 2011)							
9–91	A ₁ , A ₂ , B ₁ , B ₂ , C ₂	909	578	876	427	277	410
За даними Miller M., Magaznieks, Латвія (Millers & Magaznieks 2012)							
37–70	A ₂ , A ₃	881	730	873	478	424	470
71–146	A ₂ , A ₃	848	751	846	501	421	497

Узагальнений аналіз цих даних свідчить, що отримані нами результати досліджень не тільки узгоджуються з результатами досліджень, проведених іншими авторами, але й суттєво уточнюють їх.

Показник базисної щільності деревини сосни значною мірою визначається співвідношенням приростів пізньої та ранньої деревини в загальному річному радіальному прирості. Загалом чим біднішими є лісорослинні умови, тим вища щільність деревини сосни у зв'язку з формуванням вузьких кілець менш щільної ранньої деревини у весняний період інтенсивного росту (Morey 1973). У сухих борових умовах (A₁) після проведення рубок догляду зі збільшенням площі живлення дерев збільшується приріст ранньої деревини та її частки в загальному річному радіальному прирості. Це призводить до певного зменшення базисної щільності компонентів фітомаси стовбура менш густих деревостанів, порівнюючи з густішими (див. табл. 5).

У свіжих суборевих умовах зі збільшенням площі живлення після проведення рубок догляду в деревостанах приріст ранньої деревини у весняний період відбувається менш інтенсивно, ніж у насадженнях у сухих борах. Це сприяє збільшенню загального радіального приросту й частки пізньої деревини в прирості, що зумовлює її більшу базисну щільність (див. табл. 5).

Висновки. У лівобережній частині Північного Степу України в типах лісорослинних умов B₂ і A₁ вплив рубок догляду сильної інтенсивності, проведених у молодих і середньовікових соснових насадженнях, на показники локальної природної та базисної щільності деревини й деревини в корі, а також середньої природної та базисної щільності деревини й деревини в корі є незначним.

Важливими чинниками, які впливають на щільність деревини, є трофність і зволоженість лісорослинних умов. Суттєву відмінність у базисній щільності виявлено між варіантами за трофністю й вологістю ґрунтів, зокрема між типами лісорослинних умов B₂ та A₁. Серед густіших деревостанів в A₁, порівнюючи з B₂, середня базисна щільність деревини є більшою на 18 %, а серед менш густих – на 8 %, кори – на 30 % та 46 % відповідно та деревини в корі – на 18 % та 19 % відповідно.

Факт більшої базисної щільності деревини в нижній частині стовбура слід брати до уваги під час оцінювання якості заготовленої в процесі рубок деревини.

Одержані дані свідчать про доцільність проведення в молодих штучних насадженнях сосни в сухому бору та свіжому суборі у посушливих умовах степу України рубок догляду сильної інтенсивності лінійним або лінійно-селективним способами, а в середньовікових насадженнях – першої прохідної рубки сильної інтенсивності (до 30 % за запасом) селективним способом. Такі режими вирощування соснових насаджень сприятимуть збільшенню їхніх середніх висот і діаметрів, підвищенню стійкості до фізичних навантажень і не вплинуть негативно щільність деревини та її якість.

ПОСИЛАННЯ–REFERENCES

- Bilous, A. M., Kashpor, S. M., Myroniuk, V. V., Svychnuk, V. A., Lesnik O.M.* 2021. Forest inventory handbook. Kyiv, Publishing House Vinichenko, 424 p. (in Ukrainian).
- Candel-Pérez, D., Lo, Y. H., Blanco, J., Chiu, C. M., Camarero, J., González de Andrés, E., Imbert, J., Castillo, F.* 2018. Drought-induced changes in wood density are not prevented by thinning in Scots pine stands. *Forests*, 9: 4.
- Deng, X., Zhang L., Lei P., Xiang W., Yan W.* 2014. Variations of wood basic density with tree age and social classes in the axial direction within *Pinus massoniana* stems in southern China. *Annals of Forest Science*, 71: 505–516.
- Downes, G. M., Nyakuengama, J. G., Evans, R., Northway, R., Blakemore, P., Dickson, R. L., Lausberg, M.* 2002. Relationship between wood density, microfibril angle and stiffness in thinned and fertilized *Pinus radiata*. *IAWA Journal*, 23 (3): 253–265.
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D.* 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. [Electronic resource]. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1–9. Available at: https://palaeo-electronica.org/2001_1/past/past.pdf (accessed 02.02.2023).
- Hrom, M. M.* 2010. Forest mensuration. Lviv, Ukrainian National Forestry University, 416 p. (in Ukrainian).
- Jaakkola, T., Mäkinen, H., Saranpää, P.* 2006. Wood density of Norway spruce: responses to timing and intensity of first commercial thinning and fertilisation. *For. Ecol. Manag.*, 237: 513–521.
- Jyske, T.* 2008. The effects of thinning and fertilisation on wood and tracheid properties of Norway spruce (*Picea abies*) – the results of long-term experiments: academic dissertation. Department of Forest Resource Management, Faculty of Agriculture and Forestry, University of Helsinki, 55 p.
- Kimberley, M. O., Cown, D. J., McKinley, R. B., Moore, J. R., Dowling, L. J.* 2015. Modelling variation in wood density within and among trees in stands of New Zealand-grown radiata pine. *New Zealand Journal of Forest Science*, 45:(22): 1–13.
- Kovalska, S. S.* 2017. Trunk wood density of Scots pine in the Southern Dnieper Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(3): 45–48 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40270309>
- Krajnc, L., Farrelly, N., Harte, A. M.* 2019. The effect of thinning on mechanical properties of Douglas fir, Norway spruce, and Sitka spruce. *Annals of Forest Science*, 76 (1): 3.
- Lakida, P. I. and Yudytsky, Ya. A.* 1993. Estimation of the average density of tree trunk fractions. *Forest Journal*, 1(6): 25–26 (in Ukrainian).
- Lakida, P. I.* 2002. Live biomass of Ukrainian forests. Ternopil, Zbruch, 256 p. (in Ukrainian).
- Lakida, P. I., Vasylyshyn, R. D., Lashchenko, A. H., Terentiev, A. Yu.* 2011. Normative assessment of the components of the aboveground phytomass of trees of the main forest species of Ukraine. Kyiv, 192 p. (in Ukrainian).
- Lovynska, V. M.* 2018. Local density of live biomass components of Scotch pine (*Pinus sylvestris* L.) within Northern Steppe of Ukraine. *Ukrainian Black Sea Region Agrarian Science*, 3: 73–78 (in Ukrainian). [https://doi.org/10.31521/2313-092x/2018-3\(99\)-12](https://doi.org/10.31521/2313-092x/2018-3(99)-12)
- Matthews, G.* 1993. The carbon content of trees. Forestry Commission. Tech. Paper 4, Edinburg, 21 p.
- 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, p. 91–98.
- Morey, P. R.* 1973. How trees grow. Institute of Biology's studies in biology No 39. London, Arnold, 59 p.
- Morling, T.* 2002. Evaluation of annual ring width and ring density development following fertilisation and thinning of Scots pine. *Annals of Forest Science*, 59: 29–40.
- Morling, T. and Valinger, E.* 1999. Effects of fertilization and thinning on heartwood area, sapwood area, and growth in Scots pine. *Scand. J. For. Res.*, 14(5): 462–469.
- Pape, R.* 1999. Influence of thinning and tree diameter class on the development of basic density and annual ring width in *Picea abies*. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 14 (1): 27–37.
- Pasternak, V. P., Nazarenko, V. V., Karpets, Yu. V.* 2014. The qualitative characteristics of Scots pine wood and phytomass of pine stands in forest-steppe in Kharkiv Region. *Forestry and Forest Melioration*, 125: 38–45 (in Ukrainian).
- Peltola, H., Kilpeläinen, A., Sauvala, K., Räisänen, T., Ikonen, V. P.* 2007. Effects of early thinning regime and tree status on the radial growth and wood density of scots pine. *Silva Fenn*, 41 (3): 489–505.

Russo, D., Marziliano, P., Macri, G., Proto, A., Zimbalatti, G., Lombardi, F. 2019. Does thinning intensity affect wood quality? An analysis of Calabrian pine in Southern Italy using a non-destructive acoustic method. *Forests*, 10(303): 1–16.

Ryabokon, A. P. 1990a. The productivity of pine stands and the quality of wood in them during accelerated cultivation for sawlogs and pulpwood. *Forestry Journal*, 6: 19–24 (in Russian).

Ryabokon, A. P. 1990b. The quality of wood at different growth rates of pine stands. *Forestry [Lesnoye Khoziaystvo]*, 11: 26–28 (in Russian).

Ryabokon, O. P. 2010. *Forest qualimetry*. Kharkiv, Nove slovo, 543 p. (in Ukrainian).

Shinkarenko, I. B. 1990. Impact of thinnings on the productivity of artificial pine forests and their resistance to wind and snow. *Forestry and Forest Melioration*, 50: 53–58 (in Russian).

Shynkarenko Y. B. and Tsykhotskyi, V. K. 1979. Development and implementation of a system of measures for the cultivation of Scots pine stands in Izyum Forestry. Express information, afforestation and forest melioration. Central Bureau of Scientific and Technical Information of the State Forestry of the USSR, 6: 24 p. (in Russian).

Tkach, V. P., Tarnopilska, O. M., Ilchenko S. V. 2014 Impact of thinnings on the mensuration indicators and quality characteristics of phytomass components of the trunk of artificial pine stands of the Izyum steppe forest. *Forestry and Forest Melioration*, 124: 55–66 (in Ukrainian).

Vincent, M., Krause, C., Koubaa, A. 2011. Variation in black spruce (*Picea mariana* (Mill) BSP) wood quality after thinning. *Annals of Forest Science*, 68: 1115–1125.

Vorobyov, D. V. 1967. *Methods of forest typology research*. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).

Wasik, R., Michalec, K., Barszcz, A. 2015. The variability of certain macrostructural features and the density of grand fir (*Abies Grandis* Lindl.) wood from selected stands in southern Poland. *Drewno*, 58(195): 45–58.

Zeller, L., Ammer, C., Annighöfer, P., Biber, P., Marshall, J., Schütze, G., del Rio Gaztelurrutia, M., Pretzsch, H. 2017. Tree ring wood density of Scots pine and European beech lower in mixed-species stands compared with monocultures. *For. Ecol. Manag.*, 400: 363–374.

Tkach V. P., Tarnopilska O. M., Ilchenko S. V., Tarnopilskyi P. B., Kobets O. V., Lukianets V. A., Rumiantsev M. H.

THE IMPACT OF GROWING REGIMES FOR PLANTED SCOTS PINE STANDS ON THE QUALITY CHARACTERISTICS OF THE TREE TRUNK PHYTOMASS COMPONENTS IN THE LEFT-BANK PART OF THE NORTHERN STEPPE OF UKRAINE

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotskiy

Qualitative indicators of phytomass of trunk components (local and average natural and basic wood density, wood in the bark, and bark) of planted Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) stands with different growing regimes were studied in the left-bank part of the Northern Steppe. It was found that high-intensity thinning had a slight effect on the local basic wood density: the difference between dense and thinned stands within the same ecotope at all relative heights was insignificant. However, the average basic wood density in the dry poor sites was significantly higher compared to fresh relatively poor sites: 18.4% in dense stands and 8.2% in thinned stands. In the steppe arid climatic conditions in Ukraine, in dry poor sites and in fresh relatively poor sites, no significant influence of the thinning intensity on the quality of pine wood was found in planted pine stands.

К е у в о р д с : *Pinus sylvestris* L., thinning, thinning intensity, natural density, basic density, wood, bark, wood in bark.

E-mail: tkach@uriffm.org.ua; tarnopilska@gmail.com

Одержано редколегією 17.05.2023

СЕЛЕКЦІЯ, ДЕНДРОЛОГІЯ

УДК 630.232.13 6 : 674.031.623.23

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.47>**Н. Ю. ВИСОЦЬКА^{1,2}****ПОСУХОСТІЙКІСТЬ ДЕСЯТИ КЛОНІВ ТОПОЛІ НА СХОДІ УКРАЇНИ**¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького²Естонський університет природничих наук

Інтерпретація реакції клонів тополь на дію дефіциту вологи дає можливість визначити найкращі гібридні комбінації для виявлення генотипів із високою стійкістю до посухи. Оцінено посухостійкість десяти клонів тополь у віці 7 років, які ростуть у сортовипробних культурах на сході України. Дослідження проведено в лабораторних умовах шляхом оцінювання вмісту води в тканинах листя, водного дефіциту, здатності листків утримувати воду та електропровідності. Клони 'Перспективна' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*), 'Львівська' (*P. × euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Ноктюрн' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) виявилися стійкими до посухи. Клони 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) і 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*) були найменш посухостійкими. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років, не підтверджено. Не виявлено залежності посухостійкості від гібридних комбінацій батьківських форм.

Ключові слова: *Populus* ssp., листя, оводненість, водний дефіцит, водоутримувальна здатність.

Вступ. Глобальна зміна клімату супроводжується дефіцитом вологи, спричиненим збільшенням температури повітря, інтенсивністю випаровування та частими й тривалими посушливими періодами (Shvidenko et al. 2018). Дефіцит вологи як критичний екологічний чинник є основним обмеженням росту й продуктивності дерев у всьому світі (Vascelar et al. 2012). Прогнозується, що абіотичний стрес набуватиме суттєвішого впливу, створюючи нові виклики для екосистем і сільськогосподарської діяльності (IPCC 2022). Це може призвести як до зменшення приросту, так і до збільшення площі всихання насаджень деревних видів із низькою посухостійкістю.

Доступність води має вирішальне значення для поширення рослин у природних екосистемах і розвитку у контрольованому середовищі. Інтенсивність росту й розвитку деревних рослин безпосередньо залежить від запасів води в ґрунті. Так, дефіцит води спричиняє пригнічення фізіолого-біохімічних процесів, зменшення тривалості вегетаційного періоду та зниження ступеня стійкості рослин до дії стресових чинників. Посуха викликає осмотичний стрес, змінюючи концентрацію розчиненої речовини, що призводить до пошкодження клітин і зниження тиску тургору. Закриття продихів – типова реакція на посуху, що перешкоджає поглинанню та асиміляції CO₂, порушуючи баланс вуглецю та виснажуючи запаси вуглеводів. Це також пригнічує транспірацію, що обмежує процес охолодження листя через випаровування та порушує метаболічні процеси, зокрема фотосинтез, унаслідок теплового стресу. Стрес від посухи зазвичай викликає накопичення активних форм кисню (АФК), які ще більше пошкоджують білки та мембрани. Крім того, за зниження водного потенціалу ґрунту зростає ризик для транспортної системи ксилеми, збільшується ймовірність утворення кавітації та емболії, що зрештою призводить до порушення гідравлічної системи (Seleiman et al. 2021, Rosso et al. 2023). Загибель дерев найчастіше відбувається під спільним впливом дефіциту вологи та високої температури, ймовірно, через ефект збільшення градієнта випаровування та пористості листя за високих температур (Allen et al. 2015, Greenwood et al. 2017, Brodribb et al. 2020).

Представники роду *Populus* L. є одними з найбільш поширених швидкорослих видів дерев, які відзначаються високою продуктивністю та екологічною пластичністю (Tkach 1999, Kutsokon et al. 2018, Niemczyk et al. 2019, Schiberna et al. 2021, Fürtner et al. 2022). У різних країнах світу тополі успішно використовують у програмах боротьби з опустелюванням, які спрямовані на відновлення рослинності на деградованих і посушливих землях, а також на зменшення поширення пустель (Marron et al. 2014). Протягом останніх десятиліть

виращування тополь набуло більшого значення через їхні важливі екосистемні послуги, такі як поліпшення умов навколишнього середовища, фітореMediaція, запобігання пиловим бурям та ерозії ґрунтів, секвестрація вуглецю, виробництво біомаси, реабілітація деградованих земель і стабілізація рухомих пісків, а також поліпшення якості життя місцевого населення (Isebrands et al. 2014, Zalesny et al. 2019). Популярність швидкорослих клонів тополь також зумовлена їхнім позитивним впливом на вміст органічного вуглецю в ґрунті, що є особливо важливим в умовах зміни клімату, коли секвестрація вуглецю через виробництво біомаси є привабливою стратегією зниження концентрації CO₂ в атмосфері (Chavan et al. 2023).

Відомо, що тополі є одними з найчутливіших до абіотичних стресів деревних рослин. Висока швидкість росту тополь зумовлює високу потребу у воді, що робить їх уразливими до дефіциту вологи (Rood et al. 2003, Monclus et al. 2006). Повідомляють (FAO 2016, Ji et al. 2020), що посуха призводить до уповільнення росту й загибелі тополь у багатьох регіонах світу. Водночас результати досліджень свідчать про значну генотипову варіабельність толерантності тополь до дефіциту вологи та моделей реакції на дефіцит води (Pallardy & Kozlowski 1981, Liu & Dickmann 1996, Marron et al. 2014, Rosso et al. 2023).

В Україні посилюється інтерес до вирощування тополь на деградованих і малопродуктивних ґрунтах, які окрім низького рівня вмісту поживних речовин характеризуються дефіцитом вологи (Mazur et al. 2019). На сході та півдні України види й гібриди *Populus* є особливо перспективними для створення насаджень різного цільового призначення, зокрема на деградованих внаслідок військових дій землях.

Гібридизація тополі є цінним інструментом для досягнення бажаних ознак, зокрема збільшення біомаси й покращення якості деревини (Harfouche et al. 2014, Hu & Thomas 2019). В Україні під час широкомасштабного експерименту наприкінці 1950-х років одержано понад 600 клонів тополі, які зберігаються у спеціальних розсадниках і колекціях (Starova 1980, Fuchylo et al. 2016, Odarchenko & Maurer 2016, Vysotska 2017). Клони *Populus deltoides* Marsch., *P. × euramericana* (Dode) Guinier, *P. trichocarpa* Torr. & A.Gray ex Hook, *P. laurifolia* Ledeb., *P. lasiocarpa* Oliv. обрані як перспективний матеріал для лісовідновлення та лісорозведення в Україні (Krupei 1970, Kots 1972, Patlay & Rudenko 1990, Fuchylo et al. 2016, Odarchenko & Maurer 2016, Kutsokon et al. 2018).

Найінформативнішими підходами оцінювання посухостійкості рослин є методи дослідження водного режиму листків: оводненості тканин (загального вмісту води), водного дефіциту, водоутримувальної здатності листків та електропровідності (Kushnyrenko 1975, Торор 2003, Кутаєв et al. 2009, Zaitseva 2010, Kryvoshapka 2012). Виявлення механізмів посухостійкості різних видів і гібридів тополі є важливим для розроблення стратегій збереження та відновлення насаджень різного цільового призначення. Оцінювання посухостійкості клонів тополь на сході України допоможе обрати перспективні клони для вирощування в умовах дефіциту вологи й удосконалити їхні характеристики для досягнення високої продуктивності та стійкості в посушливих умовах.

Метою нашого дослідження було визначити відносну посухостійкість десяти клонів тополі на Сході України. Ми припустили, що 1) посухостійкість клонів тополь залежить від гібридних комбінацій батьківських форм; 2) клони дерев, культивовані в Україні з 1960-х років, є потенційно стійкішими до посухи, оскільки пройшли тривалу адаптацію до певних умов існування.

Матеріали й методи. Сортовипробні культури *Populus* spp. створено у 2014 р. на території ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» Харківської області (50°05'01" північної широти, 36°18'23" західної довготи, висота над рівнем моря – 156 м). Відповідно до інформації, отриманої з веб-платформи ClimateCharts.net (Zepner et al. 2020), середньорічна температура повітря в районі досліджень за період 1981–2000 рр. становила +7,7°C, середньорічна сума опадів – 528,8 мм; за період 2001–2020 рр. середньорічна температура повітря становила +8,8°C, середньорічна сума опадів – 535,2 мм. На клімадіграмі кожним 10°C на осі температури відповідають 20 мм на осі кількості опадів. Порівняння кліматичних

даних, отриманих за 1981–2000 рр. та 2001–2020 рр., свідчить про зростання середньорічної температури повітря на 1,1°C та середньорічної кількості опадів на 6,4 мм. Водночас за останні 20 років відбулося збільшення тривалості посушливого періоду в серпні через збільшення середньомісячної температури повітря на 1,6°C та зменшення кількості опадів на 6,6 мм (рис. 1). За класифікацією Кеппена клімат є помірним континентальним (Dfb).

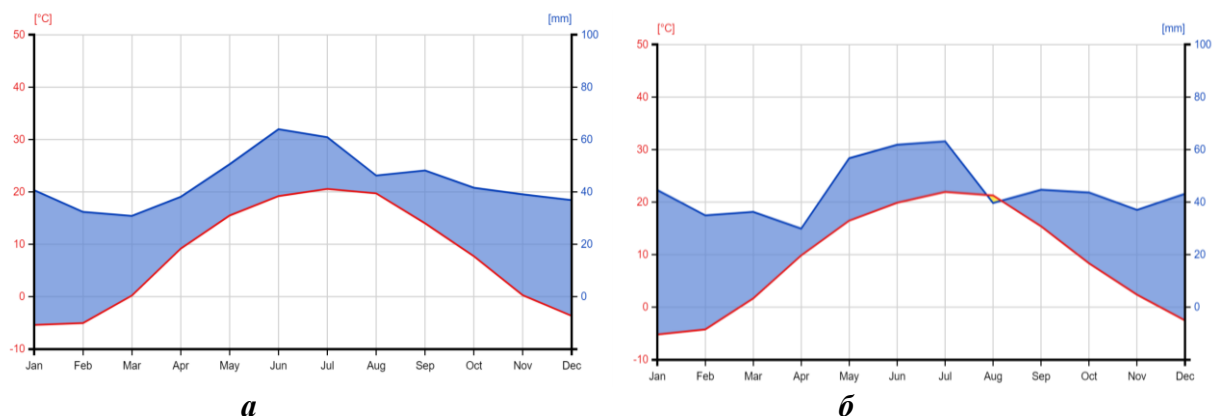


Рис. 1 – Кліматодіаграма Вальтера-Літа, на якій візуалізовано середньомісячні температури (°C) і середньомісячні суми опадів (мм) за багаторічними даними спостережень: а – за період 1981–2000 рр.; б – за період 2001–2020 рр. (Якщо температурна крива знаходиться вище від кривої опадів – переважають посушливі або напівпосушливі умови. Якщо крива опадів знаходиться вище кривої температури – переважають вологі умови)

На ділянці випробовують 50 клонів тополь, які репрезентовані видами й гібридами української та іноземної селекції. Для оцінювання посухостійкості нами відібрано 10 клонів: *Aigeiros*: 'Гулівер' (природний гібрид *P. deltoides*); *Tacamahaca*: 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*), 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Роганська' (*P. simonii* f. *fastigiata*), 'Стрілоподібна' (*P.* × *euramericana* × *P. pyramidalis*), 'Dorskamp' (*P.* × *euramericana* var. *Dorskamp*), 'Ghoy' (*P.* × *euramericana* var. *Ghoy*); *Aigeiros* та *Tacamahaca*: 'Новоберлінська' (*P. pyramidalis* × *P. laurifolia*); *Tacamahaca* та *Leucoides*: 'Ноктюрн' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*), 'Перспективна' (*P.* × *euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*). Клони 'Гулівер', 'Дружба', 'Львівська', 'Новоберлінська', 'Ноктюрн', 'Роганська', 'Стрілоподібна' та 'Перспективна' є клонами тополь, відібраних та інтродукованих у 1960-х роках різними дослідниками (Krupel 1970, Starova 1980). Клони 'Dorskamp' і 'Ghoy' інтродуковані протягом останніх 20 років.

Посухостійкість тканин листя десяти клонів тополь визначали за змінами воднофізичних та електрофізіологічних властивостей листового апарату в лабораторії фізіології рослин і мікробіології Інституту садівництва НААН України. Пагони з листям заготовили 15 липня 2021 р. Із дерев кожного клону відбирали однорічні пагони завдовжки до 40 см із 5–10 листками у п'ятиразовій повторності із середньої частини крони з різних боків відносно сторін світу. Тривалість бездошового періоду до відбору зразків становила 9 діб. Щоденні максимальні температури повітря у період 8–15 липня становили від +29,3 до +33,8°C.

Фотосинтетичний оптимум рослин зазвичай становить від 20 до 30°C, але діапазон може бути розширений від 15 до 45°C відповідно до температури під час росту або біологічного типу, до якого належать рослини. Водночас 50°C зазвичай вважається граничною температурою для фотосинтетичної активності судинних рослин (Berry & Björkman 1980). Гранична температура залежить як від виду, так і від генотипу (Challinor et al. 2007). Для кількох клонів *P.* × *canadensis* визначено, що критична температура може змінюватися від 43 до 47°C залежно від віку та стадії розвитку рослини (Marion et al. 2002).

Посухостійким деревам притаманні вищі показники оводненості тканин та відносного тургору і, відповідно, низький водний дефіцит (Kushnyrenko 1975). Тому для визначення впливу посухи на клони тополь оцінено оводненість тканин листків, водний дефіцит,

водоутримувальну здатність (ВЗ) та електропровідність згідно з рекомендаціями (Тогор 2003, Kytaiiev 2009, Kryvoshapka 2012).

Водоутримувальну здатність листя визначали шляхом обчислення втрати ним води за одиницю часу (через 2, 4, 6 і 24 години) за штучного в'янення в кліматичній камері за температури 22°C й освітлення 25 тисяч люкс. Після кожної експозиції у п'яти листків кожного клону визначали масу на електронних вагах із точністю до 1 мг і по закінченні висушували за 100°C. Втрата води під час в'янення пов'язана з ВЗ.

Для визначення водного дефіциту по п'ять листків кожного клону з оновленими зрізами черешків зважували та вміщували в колбу з водою для насичення. Повторність – триразова. Колби ставили в ємність із водою й накривали для створення вологої камери. Після 24-годинного насичення листя висушували фільтрувальним папером і зважували.

Як критерій функціонального стану рослин за умов гідротермічного стресу було використано показник оводненості тканин листя. Для визначення загальної кількості води 4–6 листків уміщували в металеві бюкси (повторність – триразова) і висушували в термостаті за температури 105°C до постійної маси.

Електропровідність (Еп) листового апарату клонів тополь оцінювали за методикою В. В. Тогор (Тогор 2003). Вимірювання Еп листків здійснювали електрометром (кондуктометром) Е 7-13, оснащеним двома голчастими молібденовими електродами, за допомогою яких фіксували зміни Еп. Під час замірів голчасті електроди розташовували посередині листової пластинки, уникаючи основних жилок. Абсолютні значення Еп та її зміни визначали на розсіяному світлі за умов повітряно-сухої експозиції в контрольованих умовах лабораторії (температура повітря – +22...+24°C, вологість повітря – 60–65 %) три рази – відразу після відбору, через 2 та через 4 години. Кількість замірів для кожного листка – чотири. Відносні зміни Еп визначали у такий спосіб: від середнього значення електропровідності листків кожного клону віднімали значення фону приладу (0,23 μS) і, беручи перший замір за 100 % водозабезпечення тканин листків, розраховували відносні зміни залежно від експозиції.

Для кожної змінної нормальність розподілу даних оцінювали за тестом Шапіро – Вілка. Для виявлення статистично значущої різниці між середніми значеннями груп під час дисперсійного аналізу визначали найменшу істотну різницю ($NP_{0,05}$). Шкалу посухостійкості розробляли за результатами аналітичного групування даних. Кластерний аналіз використовували для групування клонів, які характеризуються найбільшою схожістю за їхньою відносною посухостійкістю, у вигляді ієрархічної дендрограми (Sneath & Sokal 1973). Було використано пакети Python з відкритим вихідним кодом для інтерактивних обчислень даних і візуалізації результатів (Hunter 2007, Rossant 2018).

Результати. Згідно з тестом Шапіро – Вілка гіпотеза про нормальність не відхиляється майже для всіх показників ($p\text{-value} > 0,05$), окрім дефіциту вологи ($p\text{-value} = 0,02$).

Втрата води листками різних клонів тополь за певний проміжок часу варіювала за 2-, 4-, 6- та 24-годинного в'янення, що свідчить про різний потенціал посухостійкості рослин. Вже через 2 години відзначали різницю щодо ВЗ листків різних клонів. Після 4 годин спостережень найкращими показниками характеризувалися клони 'Перспективна' (11,1 %), 'Львівська' (13,1 %) та 'Новоберлінська' (16,1 %). Найгірші показники мали клони 'Ghou' (24,6 %), 'Дружба' (30,9 %) та 'Роганська' (36,2 %). Після 6 годин тенденція збереглася – листки клонів 'Перспективна' (ВЗ –14,8 %) та 'Львівська' (ВЗ –17,7 %) мали здоровий вигляд. Листки інших клонів почали зав'ядати й висихати по краях. Оскільки посуха може бути доволі тривалою, то важливим показником під час вивчення посухостійкості клону є втрата води після добової експозиції. Після 24 годин тільки листки клону 'Перспективна' залишилися порівняно здоровими (ВЗ – 43,8 %), а листки решти клонів повністю висохли (втрата води перевищувала 50 %) (рис. 2). На листках клону 'Гулівер', крім висихання, відзначено появу плям брунатного кольору.

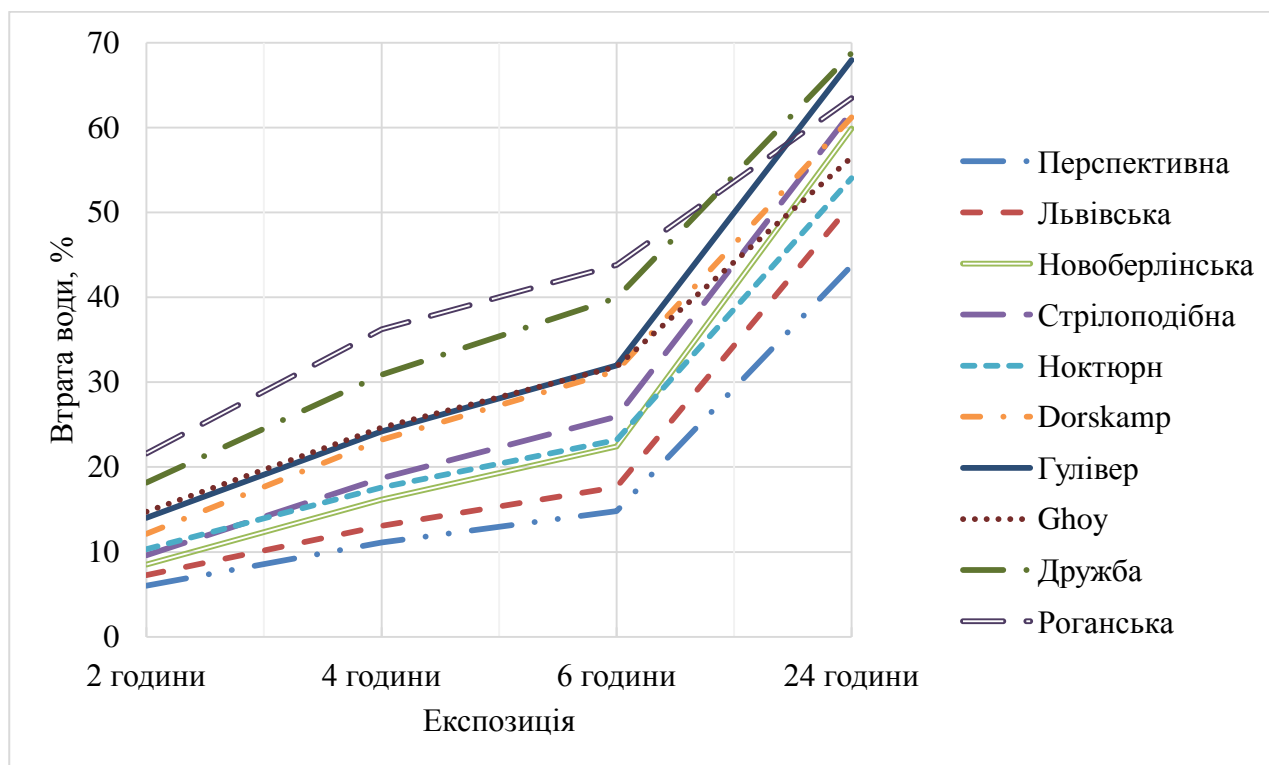


Рис. 2 – Динаміка втрати води тканинами листя різних клонів тополь

Середній показник втрати води за одиницю часу під час в'янення становив для різних клонів від 1,9 до 7,3 %. Найінтенсивніше втрачали воду клони 'Роганська' (6,0 %), 'Дружба' (5,6 %), 'Dorskamp' (5,1 %). Найбільш посухостійкими за цим показником виявилися клони 'Перспективна', 'Львівська', 'Ноктюрн'; середня інтенсивність втрати води ними становила лише 2,7; 3,2 та 3,8 % відповідно.

За посухостійкістю різні клони під час зневоднення більше різняться між собою саме за вмістом води у листках, ніж за іншими показниками, зокрема за водним дефіцитом. Клони 'Львівська', 'Новоберлінська' і 'Перспективна' характеризувалися найменшими показниками водного дефіциту (7,3–7,9 %). Найменш посухостійкими виявилися клони 'Ghoy' і 'Дружба' з найбільшим водним дефіцитом – 12,3 і 16,1 % відповідно.

Оводненість тканин листків – показник, що визначає загальну кількість води в органах рослин. Клони тополь ранжували за цим показником за такою шкалою: високий рівень оводненості тканин листків становить 70–74,9 % ('Ноктюрн', 'Стрілоподібна', 'Гулівер'), середній – 65–69,9 % ('Дружба', 'Перспективна', 'Львівська', 'Новоберлінська', 'Роганська'), низький – 60–64,9 % ('Dorskamp' та 'Ghoy') (рис. 3). Високий показник оводненості є маркером достатнього для життєдіяльності рослин запасу води за умови недостатнього зволоження.

Аналіз отриманих даних свідчить, що фізіологічні процеси, пов'язані із втратою води й підвищенням концентрації клітинного соку за дії посушливих умов, є специфічними для різних клонів. Початкові показники Еп тканин листків клонів тополь змінюються від 2,1 до 3,0 μS . Мінімальні показники електропровідності через одну годину висушування зафіксовано для 'Dorskamp' та 'Ghoy' (1,7 μS), а максимальні – для 'Ноктюрн' (2,6 μS) і 'Стрілоподібна' (2,8 μS). Відповідна тенденція збереглася й через три години спостережень (рис. 4). Найінтенсивніше втрата вологи й, відповідно, зменшення електропровідності відбувалися в листках клонів 'Дружба' і 'Роганська'.

Виявлено кореляційний зв'язок на рівні $r = 0,9$ між показниками Еп та оводненості. Це свідчить про важливе значення високого рівня оводненості листка для підвищення посухостійкості рослин. Між іншими показниками кореляційних зв'язків не виявлено.

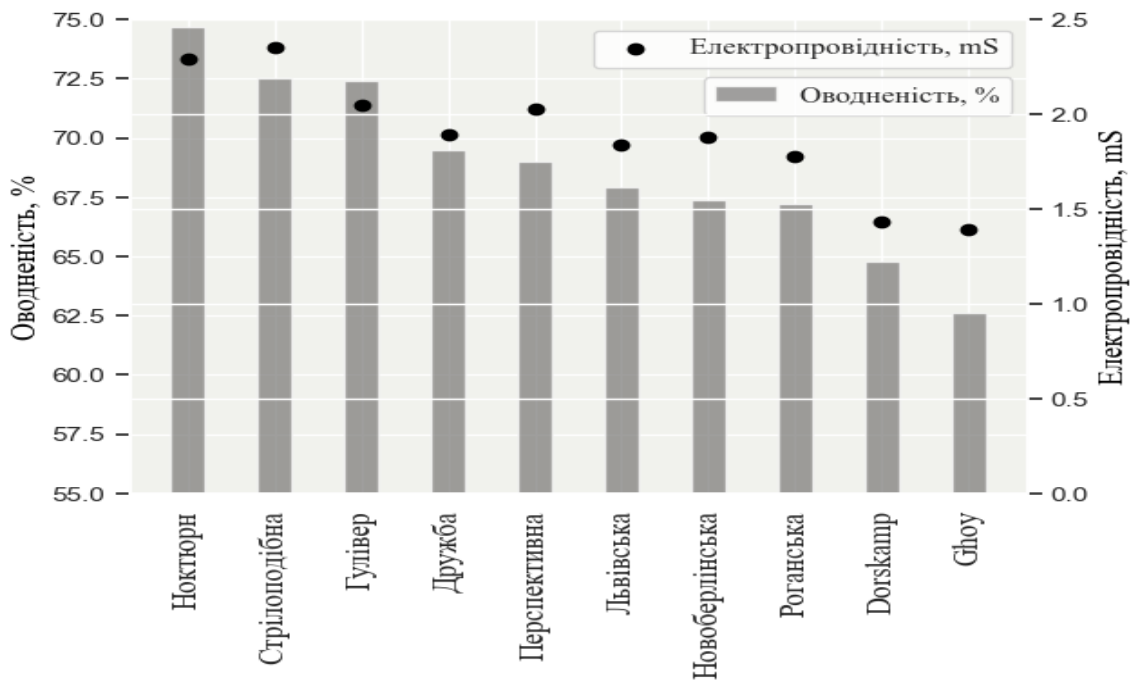


Рис. 3 – Оводненість та електропровідність (через три години) тканин листя різних клонів тополь

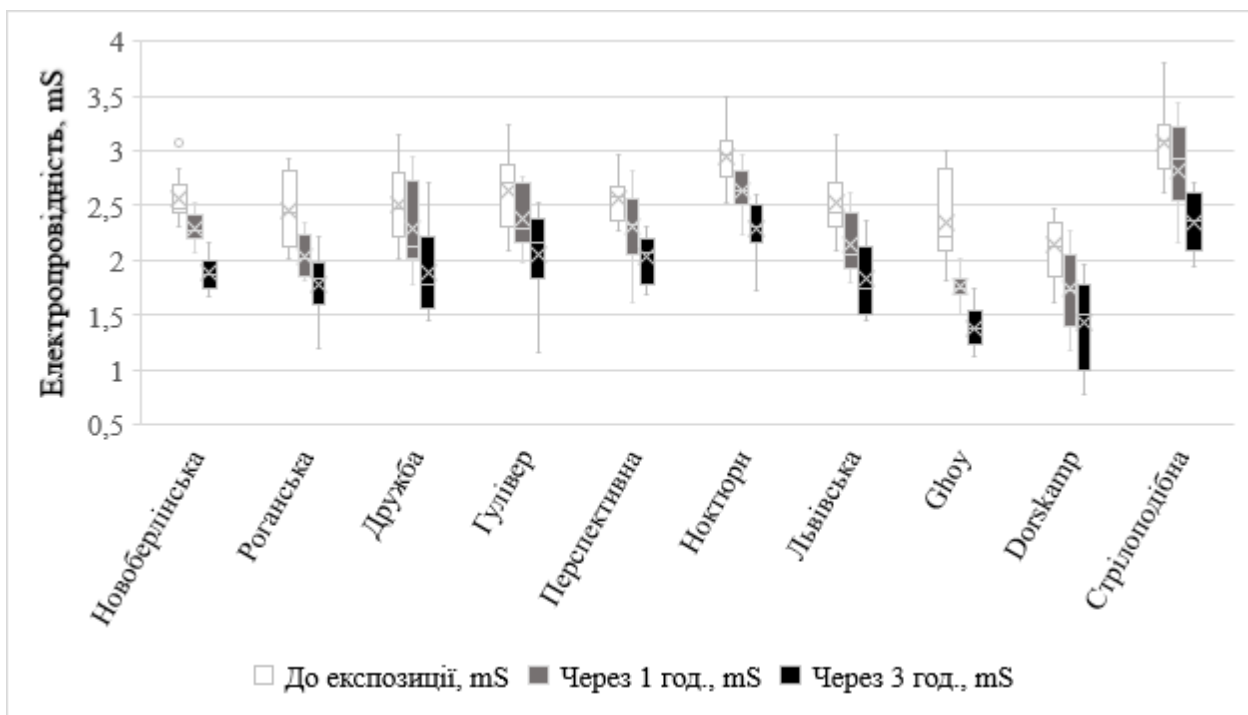


Рис. 4 – Електропровідність тканин листків різних клонів тополь у часі

З наших досліджень випливає, що за фізіологічними показниками листків досліджені клони тополь доцільно розділити на три групи посухостійкості – 1-ша (висока), 2-га (середня) та 3-тя (низька) (табл. 1, 2).

Відносні показники посухостійкості досліджених клонів різняться. Так, до 1-ї групи (високої) посухостійкості належать клони: 'Львівська' – за показниками ВЗ, водного дефіциту та Еп; 'Нокторн' – за показниками оводненості, водного дефіциту та Еп; 'Перспективна' – за показниками ВЗ та водного дефіциту. За більшістю показників до 2-ї групи (середньої) посухостійкості віднесено клони 'Новоберлінська' та 'Ghoy', до 3-ї групи (низької) – 'Дружба', 'Dorskamp', 'Гулівер', 'Стрілоподібна' та 'Роганська' (див. табл. 2).

Таблиця 1

Шкала посухостійкості 10 клонів тополь за показниками водного режиму листя

Група посухостійкості	Водоутримувальна здатність %	Оводненість, %	Водний дефіцит, %	Середня втрата води за одну годину зав'язання, %	Електропровідність, mS
1-ша (висока)	43,8–52,0	70,0 <	7,3–10,2	2,7–3,8	2,0–2,4
2-га (середня)	52,1–60,5	65,0–69,9	10,2–13,2	3,8–4,8	1,7–2,0
3-тя (низька)	60,6–68,8	60,0–64,9	13,2–16,1	4,8–5,9	1,4–1,7

Таблиця 2

Розподіл клонів тополь за шкалою посухостійкості

Клон	Водоутримувальна здатність, %			Оводненість, %			Водний дефіцит, %			Середня втрата води за одну годину зав'язання, %			Електропровідність, mS		
	1*	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
'Львівська'	+				+		+			+			+		
'Ноктюрн'		+		+			+			+			+		
'Перспективна'	+				+		+			+				+	
'Гулівер'			+	+			+					+	+		
'Стрілоподібна'			+	+			+					+			+
'Новоберлінська'		+			+		+					+		+	
'Ghou'		+				+		+				+		+	
'Роганська'			+		+		+					+		+	
'Дружба'			+		+				+			+	+		
'Dorskamp'			+			+	+					+	+		+

*Посухостійкість: 1 – висока, 2 – середня, 3 – низька.

Результати кластерного аналізу, який базується на показниках водозабезпеченості (водоутримувальній здатності, оводненості, електропровідності), виявив три кластери потенційної посухостійкості клонів тополь (рис. 5).

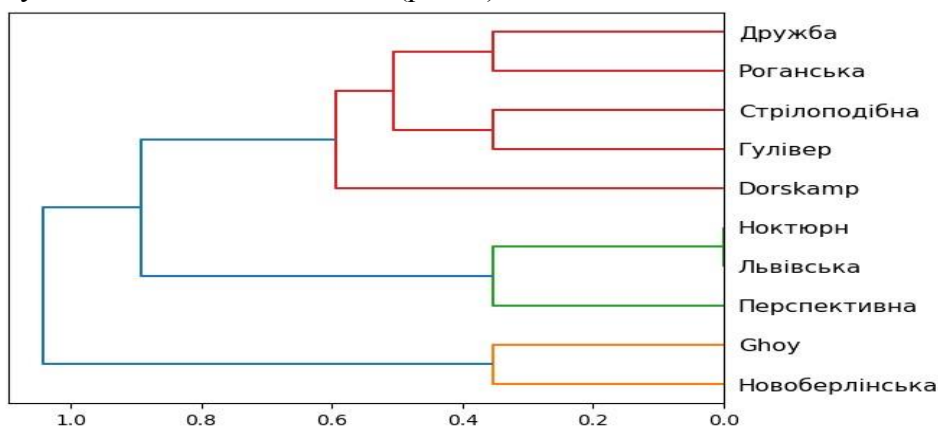


Рис. 5 – Дендрограма 10 клонів тополь за посухостійкістю.

Вісь x демонструє етап кластеризації, обраний для визначення кількості класів

Кластер 1 об'єднує клони 'Дружба', 'Роганська', 'Стрілоподібна', 'Гулівер' та 'Dorskamp', які за різними показниками характеризувалися найнижчою посухостійкістю. Кластер 2 об'єднує клони 'Ноктюрн', 'Львівська' і 'Перспективна', які характеризувалися найвищою посухостійкістю. Кластер 3 охоплює клони 'Ghou' та 'Новоберлінська', які характеризувалися помірною посухостійкістю. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років та які пройшли процес адаптації до місцевих умов, відхилено. Також відхилено гіпотезу щодо залежності посухостійкості від гібридних комбінацій.

Обговорення. Незважаючи на загальну чутливість до посухи всіх видів роду *Populus*, повідомлялося про дуже широке розмаїття рівнів їхньої стійкості, моделей реакції на дефіцит води, а також ефективності її використання (Gebre & Kuhns 1991, Liu & Dickmann 1996, Monclus et al. 2006, Marron et al. 2014). Це також підтверджено результатами наших досліджень.

Адаптивний потенціал до посухи забезпечується високою водоутримувальною здатністю, яка характеризує спроможність тканин рослин утримувати вільну воду; цей показник зумовлений наявністю в клітинних вакуолях і цитоплазмі низькомолекулярних сполук із високою гідрофільністю (Кгувшарка 2012).

Рослини, які характеризуються високою водоутримувальною здатністю листків та генеративних бруньок, є не лише посухо-, але й морозостійкими. Водоутримувальна здатність корелює також із іншими важливими функціями рослин (Yin et al. 2005). Саме останній показник нерідко вважають основним для визначення рівня посухостійкості рослин. У наших дослідженнях за показником водоутримувальної здатності визначено, що краще адаптованими до посухи виявилися клони 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*) та 'Перспективна' (*P. ×euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*).

Посухостійким рослинам також властива вища оводненість тканин листя та низький водний дефіцит. У спекотні літні періоди водний баланс рослин порушується внаслідок перевищення витрат води у порівнянні з її надходженням. Тривала дія посухи призводить до зневоднення органів рослин. Це має наслідком порушення низки фізіологічних процесів: асиміляції та дисиміляції, зокрема зниження інтенсивності фотосинтезу, дихання, транспірації, зміни гормонального обміну (Hrodzynski & Hrodzynski 1964). У наших дослідженнях показник водного дефіциту рослин становив у середньому 9,7 %. За даними М. Д. Кушніренка (Kushnyrenko 1975), це свідчить про достатній рівень забезпечення рослин водою.

Оводненість тканин використовують як важливий показник водообміну, з яким пов'язані інші фізіологічні процеси та біохімічні реакції рослинних клітин (Zaitseva 2010). Здатність рослин підтримувати оводненість тканин листків на оптимальному рівні під час дії стрес-факторів докілька свідчить про їхню високу посухостійкість. Зменшення рівня оводненості в рослині може призвести до незворотних процесів, таких як зменшення приростів пагонів і коренів, передчасного в'янення листків, навіть до їхнього усихання та опадання, зменшення вмісту запасних поживних речовин і порушення асиміляції CO₂. Водночас, на думку В. М. Меженського (Mezhenskyi 2017), оводненість і водний дефіцит використовують лише як допоміжні критерії посухостійкості. Більший вміст води в листках відповідає низьким величинам електропровідного опору, а більшому оводненню листкового апарату відповідають вищі показники електропровідності (Hrodzynski & Hrodzynski 1964).

Існують значні відмінності між генотипами тополі щодо балансу між стійкістю до посухи та ростом (Rosso et al. 2023). Зокрема, дослідження 29 гібридів *P. deltoides* × *P. nigra* демонструє велику генотипову варіабельність щодо продуктивності та ефективності використання води серед різних клонів *P. × euramericana*. Це свідчить, що генотипові відмінності залишаються стабільними протягом тривалого часу в польових експериментах. Зазвичай рослини з вищою продуктивністю за оптимальних водних умов демонструють значніше зниження продуктивності під час посухи (Monclus et al. 2006).

Дані щодо посухостійкості *P. deltoides* є суперечливими. Так, за даними (Tschaplinski et al. 2019) *P. deltoides* характеризується як один із найстійкіших до посухи видів *Populus* у Північній Америці, а його посухостійкість частково зумовлена низьким осмотичним потенціалом і здатністю до осмотичної адаптації. За даними (Cirelli et al. 2016) *P. deltoides* характеризується високою вразливістю до ксилемної кавітації, що свідчить про низьку посухостійкість. У наших дослідженнях на сході України не отримано однозначних результатів щодо посухостійкості клону природного гібрида *P. deltoides* ('Гулівер').

За показником водоутримувальної здатності клон віднесено до 3-ї групи (низької посухостійкості), за показником оводненості – до 1-ї групи (високої).

Показники, які характеризують посухостійкість *P. trichocarpa*, є мінливими як у регіональному, так і в локальному масштабах (Sparks & Black 1999, Dunlap & Stettler 2001). Вид *P. trichocarpa* є одним із батьківських видів у гібридних комбінаціях клонів 'Дружба', 'Ноктюрн', 'Львівська'. Гібриди *P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa* ('Львівська') та *P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa* ('Ноктюрн') характеризувалися найвищими показниками відносної посухостійкості. Гібрид *P. trichocarpa* × *P. laurifolia* ('Дружба') за показником водоутримувальної здатності віднесено до 3-ї групи посухостійкості, за показником оводненості – до 2-ї групи, за електропровідністю – до 1-ї групи.

Вид *P. laurifolia* більшою мірою вирізняється морозостійкістю, ніж посухостійкістю, його переважно використовують у гібридних комбінаціях із посухостійкими видами для виведення гібридів, стійких до мультистресів. Зокрема, дослідженнями (Zhang et al. 2022) за шістьма параметрами фотосинтезу та п'ятьма біохімічними характеристиками гібрида *P. laurifolia* × *P. simonii* виявлено, що рослини потомства F₁ були високопосухостійкими, оскільки вирізнялися більшою товщиною листя, вищим рівнем вираженості генів посухостійкості та більшою компактністю листкової тканини, порівнюючи з батьківськими рослинами.

Вид *P. simonii* через високу посухостійкість часто використовують для лісорозведення в програмах боротьби з опустелюванням (Zhang et al. 2022). На Сході України клон *P. simonii* f. *fastigiata* ('Роганська') за показником водоутримувальної здатності віднесено до 3-ї групи посухостійкості, за показником оводненості – до 1-ї групи.

У природному середовищі представники секцій *Aigeiros* та *Tacamahaca* часто утворюють гібриди з виразно визначеним гетерозисним ефектом (Du et al. 2022). Це частково підтверджено нашими попередніми дослідженнями (Kutsokon et al. 2018). Щодо посухостійкості гібриду *P. pyramidalis* × *P. laurifolia* ('Новоберлінська') виявлено, що основні показники водозабезпеченості відповідають 2-й групі посухостійкості.

Клон 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. *Dorskamp*) є стійким до дії посухи (Marron et al. 2002). Водночас за нашими результатами клон 'Dorskamp' за основними показниками водозабезпеченості виявився найменш посухостійким. За показником водоутримувальної здатності клони 'Перспективна', 'Ghoу' та 'Стрілоподібна' належали до 1, 2 та 3-ї груп, за показником оводненості – до 2, 1 та 3-ї відповідно. Отже, не підтверджено гіпотезу щодо залежності відносної посухостійкості різних клонів тополь від гібридних комбінацій.

Вважають, що циклічність стресу забезпечує можливість осмотичної адаптації, якщо спроможність до адаптації існує в генотипі (Tschaplinski et al. 2019). Водночас нами не підтверджено гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років, завдяки чому вони мали адаптуватися до місцевих умов.

Висновки. Рід *Populus* є цікавою моделлю для вивчення реакції деревних рослин на посуху. Посухостійкість є складною та мультигенною властивістю, що є результатом комбінації різних адаптивних механізмів. Уразливість тополь до посухи є перешкодою для вирощування їх у посушливих умовах. У світлі поточних кліматичних та економічних умов критерії відбору генотипів тополі для промислового вирощування доцільно удосконалити з урахуванням їхньої стійкості до абіотичних обмежень загалом і до посухи зокрема. Селекція має бути спрямована на генотипи, які оптимально поєднують використання води та виробництво біомаси.

Виявлено, що фізіологічні процеси, пов'язані із втратою води в посушливих умовах, є специфічними для різних клонів тополь. Рослини з високою водоутримувальною здатністю та оводненістю виявляють вищу посухостійкість, що сприяє збереженню нормального перебігу фізіологічних процесів і забезпеченню оптимального водного балансу.

Серед досліджених тополь клони 'Львівська' (*P. euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), 'Перспективна' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*) та 'Ноктюрн'

(*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) характеризувалися найвищою посухостійкістю, клони 'Ghoy' (*P. × euramericana* var. Ghoy) і 'Новоберлінська' (*P. pyramidalis* × *P. laurifolia*) – помірно, клони 'Дружба' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*), 'Роганська' (*P. simonii* f. *fastigiata*), 'Стрілоподібнам' (*P. × euramericana* × *P. pyramidalis*), 'Гулівер' (природний гібрид *P. deltoides*) та 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) за різними показниками характеризувалися найнижчою посухостійкістю.

Зазначені клони доцільно рекомендувати для створення насаджень на Сході України. Гіпотезу про вищу посухостійкість клонів тополь, які культивують на сході України з 1960-х років та які пройшли процес адаптації до місцевих умов, не підтверджено. Також не підтверджено гіпотезу щодо залежності посухостійкості від гібридних комбінацій.

Залучення додаткових показників, зокрема морфологічних, фізіологічних, біохімічних та молекулярних, сприятиме уточненню результатів, виявленню взаємозв'язків між генотипом і стресом від посухи та визначенню кращих гібридних комбінацій для подальшої селекції й виведення нових гібридів з покращеною посухостійкістю в умовах Сходу України. Розуміння механізмів адаптації рослин до посухи є важливим також для розроблення стратегій збереження та управління рослинними ресурсами в кліматичних умовах, які змінюються.

ПОСИЛАННЯ –REFERENCES

- Allen, C. D., Breshears, D. D., McDowell, N. G. 2015. On underestimation of global vulnerability to tree mortality and forest die-off from hotter drought in the Anthropocene. *Ecosphere*, 6: 129. <https://doi.org/10.1890/ES15-00203.1>
- Bacelar, E. L., Moutinho-Pereira, J. M., Gonçalves, B. M., Brito, C. V., Gomes-Laranjo, J., Ferreira, H. M., Correia, C. M. 2012. Water use strategies of plants under drought conditions. In: *Plant responses to drought stress: from morphological to molecular features*. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, p. 145-170.
- Berry, J. and Bjorkman, O. 1980. Photosynthetic response and adaptation to temperature in higher plants. *Annual Review of plant physiology*, 31(1): 491–543.
- Brodribb, T. J., Powers, J., Cochard, H., Choat, B. 2020. Hanging by a thread? Forests and drought. *Science*, 368 (6488): 261–266.
- Challinor, A. J., Wheeler, T. R., Craufurd, P. Q., Ferro, C. A., Stephenson, D. B. 2007. Adaptation of crops to climate change through genotypic responses to mean and extreme temperatures. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 119 (1–2): 190–204. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2006.07.009>
- Chavan, S. B., Dhillon, R. S., Sirohi, C., Uthappa, A. R., Jinger, D., Jatav, H. S., ... & Rajput, V. D. 2023. Carbon Sequestration Potential of Commercial Agroforestry Systems in Indo-Gangetic Plains of India: Poplar and Eucalyptus-Based Agroforestry Systems. *Forests*, 14(3): 559. <https://doi.org/10.3390/f14030559>
- Cirelli, D., Equiza, M. A., Lieffers, V. J., Tyree, M. T. 2016. *Populus* species from diverse habitats maintain high night-time conductance under drought. *Tree Physiology*, 36(2): 229–242. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpv092>
- Du, C., Sun, P., Cheng, X., Zhang, L., Wang, L., Hu, J. 2022. QTL mapping of drought-related traits in the hybrids of *Populus deltoides* 'Danhong' × *Populus simonii* 'Tongliao1'. *BMC Plant Biology*, 22(1): 1–15. <https://doi.org/10.1186/s12870-022-03613-w>
- Dunlap, J. M. and Stettler, R. F. 2001. Variation in leaf epidermal and stomatal traits of *Populus trichocarpa* from two transects across the Washington Cascades. *Canadian journal of botany*, 79(5): 528-536. <https://doi.org/10.1139/b01-029>
- Food and Agricultural Organization (FAO), 2016. Poplars and other fast-growing trees – renewable resources for future green economies. Synthesis of Country Progress Reports. In: 25th Session of the International Poplar Commission. 13–16 September 2016, Berlin, Germany.
- Fuchylo, Ya. D., Maurer, V. M., Sbytna, M. V., Odarchenko, I. S., Fuchylo, D. Ya. 2016. Features of woody biomass and planting-stock of poplar in “stump” type of plantation management. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 14: 134–140 (in Ukrainian).
- Fürtner, D., Perdomo Echenique, E. A., Hörtenhuber, S. J., Schwarzbauer, P., Hesser, F. 2022. Beyond monetary cost-benefit analyses: Combining economic, environmental and social analyses of short rotation coppice poplar production in Slovakia. *Forests*, 13: 349. <https://doi.org/10.3390/f13020349>
- Gebre, G. M. and Kuhns, M. R. 1991. Seasonal and clonal variations in drought tolerance of *Populus deltoides*. *Canadian Journal of Forest Research*, 21(6): 910–916. <https://doi.org/10.1139/x91-126>
- Greenwood, S., Ruiz-Benito, P., Martínez-Vilalta, J., Lloret, F., Kitzberger, T., Allen, C. D., Fensham, R., Laughlin, D. C., Kattge, J., Bönsch, G., Kraft, N. J. B., Jump, A. S. 2017. Tree mortality across biomes is promoted by drought intensity, lower wood density and higher specific leaf area. *Ecol. Lett.* 20: 539–553. <https://doi.org/10.1111/ele.12748>

- Harfouche, A., Meilan, R., Altman, A. 2014. Molecular and physiological responses to abiotic stress in forest trees and their relevance to tree improvement. *Tree physiology*, 34(11): 1181–1198. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpu012>
- Hrodzynskiy, A. M. and Hrodzynskiy, D. M. 1964. Brief guide to plant physiology. Kyiv, Naukova Dumka, 387 p. (in Russian).
- Hu, Y. and Thomas, B. R. 2019. Hormones and heterosis in hybrid balsam poplar (*Populus balsamifera* L.). *Forests*, 10(2): 143. <https://doi.org/10.3390/f10020143>
- Hunter, J. D. 2007. Matplotlib: A 2D graphics environment. *Computing in Science & Engineering*, 9(03): 90–95. <https://doi.ieeecomputersociety.org/10.1109/MCSE.2007.55>
- IPCC. Climate Change 2022. Impacts, Adaptation and Vulnerability; Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change; Pörtner, H.-O., Roberts, D.C., Tignor, M., Poloczanska, E.S., Mintenbeck, K., Alegria, A., Craig, M., Langsdorf, S., Löschke, S., Möller, V., et al. (Eds.). Cambridge University Press: Cambridge, UK; New York, NY, USA, p. 3056.
- Isebrands, J. G., Aronsson, P., Carlson, M., Ceulemans, R., Coleman, M., ... & Weih, M. 2014. Environmental applications of poplars and willows. In: *Poplars and Willows: trees for society and the environment*. Isebrands, J.G. and Richardson, J. (Eds.). CABI Books. CABI International, p. 258–336. <https://doi.org/10.1079/9781780641089.0258>
- Ji, Y., Zhou, G., Li, Z., Wang, S., Zhou, H., Song, X. 2020. Triggers of widespread dieback and mortality of poplar (*Populus* spp.) plantations across northern China. *Journal of Arid Environments*, 174: 104076. <https://doi.org/10.1016/j.jaridenv.2019.104076>
- Kots, Z. P. 1972. Development of female flowers in the grey poplar (*Populus pruinosa* Schrenk.). *Ukrainian Botanical Journal*, 29(2): 202–206 (in Ukrainian).
- Krupei N.S. 1970. Inheritance of crown pyramidal in hybrids of pyramidal poplar. *Forestry and Forest Melioration*, 23: 71–79. (in Russian).
- Kryvoshapka, V. A. 2012. Diagnosis of the functional state of plants in connection with their resistance to drought and high temperatures. *Gardening*, 65(6) : 196–203 (in Ukrainian). http://nbuv.gov.ua/UJRN/sadiv_2012_65_29
- Kushnyrenko, M. D. 1975. Water exchange and drought resistance of fruit plants. Chisinau, Shtyntsya, 215 p. (in Russian).
- Kutsokon, N. K., Khudolieieva, L. V., Los, S. A., Vysotska, N. Yu., Torosova, L. O., Tkach, V. P., ... & Rashydov, N. M. 2018. Evaluation of growth characteristics of one-year poplar and willow clones in short rotation plantation in Kharkiv region. *Studia Biologica*, 12(1): 55–64 (in Ukrainian).
- Kytaiev, O. I., Andrusyk, Yu. Iu., Klochan, P. S., Kovalevskiy, I. V., Kolesnyk, Yu. S., Lushpihan, O. P., Romanov, V. O., Skriaha, V. A., Bednenko, T. V., Fedak, V. S. 2009. Patent for a method for determining water deficiency of plant leaves (description). UA 85524 C2 MPK (2009) G01N 21/64 A 01G 7/00 26.01.2009. Bulletin 2, p. 1–10 (in Ukrainian). <https://uapatents.com/5-85524-sposib-viznachennya-vodnogo-deficitu-listya-roslin.html>
- Liu, Z. and Dickmann, D. I. 1996. Effects of water and nitrogen interaction on net photosynthesis, stomatal conductance, and water-use efficiency in two hybrid poplar clones. *Physiologia Plantarum*, 97(3): 507–512. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1996.tb00510.x>
- Marron, N., Delay, D., Petit, J. M., Dreyer, E., Kahlem, G., Delmotte, F. M., Brignolas, F. 2002. Physiological traits of two *Populus* × *euramericana* clones, Luisa Avanzo and Dorskamp, during a water stress and re-watering cycle. *Tree Physiology*, 22(12): 849–858. <https://doi.org/10.1093/treephys/22.12.849>
- Marron, N., Gielen, B., Brignolas, F., Gao, J., Johnson, J. D., Karnosky, D. F., ... & Ceulemans, R. 2014. Abiotic stresses. In: *Poplars and willows: trees for society and the environment*. Wallingford UK, CABI, p. 337–442.
- Mezhenskyi, V. M. 2017. Fundamentals of scientific research in horticulture. Calculations in Microsoft Excel. Kyiv, NULES of Ukraine, 212 p. (in Ukrainian).
- Monclus, R., Dreyer, E., Villar, M., Delmotte, F. M., Delay, D., Petit, J. M., ... & Brignolas, F. 2006. Impact of drought on productivity and water use efficiency in 29 genotypes of *Populus deltoides* × *Populus nigra*. *New phytologist*, 169(4): 765–777. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2005.01630.x>
- Niemczyk, M., Hu, Y., Thomas, B. R. 2019. Selection of poplar genotypes for adapting to climate change. *Forests*, 10(11): 1041. <https://doi.org/10.3390/f10111041>
- Odarchenko, I. S. and Maurer, V. M. 2016. “Stump” type of poplar plantation management in Polissya region of Ukraine. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 238: 169–175 (in Ukrainian).
- Pallardy, S. G. and Kozłowski, T. T. 1981. Water relations of *Populus* clones. *Ecology*, 62(1): 159–169. <https://doi.org/10.2307/1936679>
- Patlay, I. N. and Rudenko, V. N. 1990. Breeding of fast-growing tree species in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 81: 3–7 (in Ukrainian).
- Rood, S. B., Braatne, J. H., Hughes, F. M. 2003. Ecophysiology of riparian cottonwoods: stream flow dependency, water relations and restoration. *Tree Physiology*, 23(16): 1113–1124. <https://doi.org/10.1093/treephys/23.16.1113>
- Rossant, C. 2018. IPython Interactive Computing and Visualization Cookbook: Over 100 hands-on recipes to sharpen your skills in high-performance numerical computing and data science in the Jupyter Notebook. Packt Publishing Ltd.

Rosso, L., Cantamessa, S., Bergante, S., Biselli, C., Fricano, A., Chiarabaglio, P. M., ... & Carra, A. 2023. Responses to drought stress in poplar: what do we know and what can we learn? *Life*, 13(2): 533. <https://doi.org/10.3390/life13020533>

Schiberna, E., Borovics, A., Benke, A. 2021. Economic modelling of poplar short rotation coppice plantations in Hungary. *Forests*, 12(5): 623. <https://doi.org/10.3390/f12050623>

Seleiman, M. F., Al-Suhaibani, N., Ali, N., Akmal, M., Alotaibi, M., Refay, Y., ... & Battaglia, M. L. 2021. Drought stress impacts on plants and different approaches to alleviate its adverse effects. *Plants*, 10(2): 259. <https://doi.org/10.3390/plants10020259>

Shvidenko, A., Buksha, I., Krakovska, S. 2018. Vulnerability of Ukraine's forests to climate change: monograph. Kyiv, Nika-Centre, 184 p.

Sneath, P. H. A. and Sokal, R. R. 1973. Numerical taxonomy: the principles and practice of numerical classification. WF Freeman & Co., San Francisco, 573 p.

Sparks, J. P. and Black, R. A. 1999. Regulation of water loss in populations of *Populus trichocarpa*: the role of stomatal control in preventing xylem cavitation. *Tree Physiology*, 19(7): 453–459. <https://doi.org/10.1093/treephys/19.7.453>

Starova, N. V. 1980. The selection of willows. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 208 p. (in Russian).

Tkach, V. P. 1999. Floodplain forest of Ukraine. Kharkiv, Pravo, 368 p. (in Ukrainian).

Torop, V. V. 2003. Application of electrometric methods in horticulture. In: Problems of monitoring in horticulture. Sylaeava, A. M. (Ed.). Kyiv, Agrarna Nauka, p. 145–154 (in Ukrainian).

Tschaplinski, T. J., Abraham, P. E., Jawdy, S. S., Gunter, L. E., Martin, M. Z., Engle, N. L., ... & Tuskan, G. A. 2019. The nature of the progression of drought stress drives differential metabolomic responses in *Populus deltoides*. *Annals of Botany*, 124(4): 617–626. <https://doi.org/10.1093/aob/mcz002>

Vysotska, N. Yu. 2017. Current state and prospects of the poplar genetic resources conservation in Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 15: 38–44 (in Ukrainian).

Yin, C., Peng, Y., Zang, R., Zhu, Y., Li, C. 2005. Adaptive responses of *Populus kangdingensis* to drought stress. *Physiologia Plantarum*, 123(4): 445–451. <https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.2005.00477.x>

Zaitseva, I. O. 2010. Modeling of the state of the water density of leaf tissues of different drought-resistant woody plants. [Electronic resource]. *Scientific Herald of NULES of Ukraine*, 2(18). Available at: <https://nd.nubip.edu.ua/2010-2/10zioddr.pdf> (accessed 10.05.2023) (in Ukrainian).

Zalesny, R. S., Headlee, W. L., Gopalakrishnan, G., Bauer, E. O., Hall, R. B., Hazel, D. W., ... & Wiese, A. H. 2019. Ecosystem services of poplar at long-term phytoremediation sites in the Midwest and Southeast, United States. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Energy and Environment*, 8(6): e349. <https://doi.org/10.1002/wene.349>

Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., Bernard, L. 2021. ClimateCharts. net—an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*, 14: 338–356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>

Zhang, L., Jiang, P., Wang, Y., Lan, T., Liu, Y., Zeng, Q. 2022. Comparative study on the drought resistance of young seedling from *Populus laurifolia* × *Populus simonii* F₁ progeny. [Electronic resource]. *Chinese Bulletin of Botany*. Available at: <https://www.chinbullbotany.com/EN/10.11983/CBB22086> (accessed 10.05.2023).

Vysotska N. Yu.^{1,2}

DROUGHT RESISTANCE OF TEN POPLAR CLONES IN EASTERN UKRAINE

¹ Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

² Estonian University of Life Sciences

The interpretation of the response of different poplar clones to water deficit allows identifying the best hybrid combinations to determine genotypes with high drought resistance. The drought resistance of 10 poplar clones at the age of 7 years, growing in cultivars testing in eastern Ukraine, was evaluated. The research was conducted under laboratory conditions by assessing such indicators as leaf tissue water content, water deficit, leaf water-holding capacity, and electrical conductivity. The clones 'Perspektyvna' (*P. × euroamericana* cv. 'regenerata' × *P. lasiocarpa*), 'Lvivska' (*P. × euramericana* cv. 'regenerata' × *P. trichocarpa*), and 'Nocturne' (*P. trichocarpa* × *P. lasiocarpa*) showed a higher resistance to drought. The least drought-tolerant clones were 'Dorskamp' (*P. × euramericana* var. Dorskamp) and 'Druzhba' (*P. trichocarpa* × *P. laurifolia*). The hypothesis of higher drought resistance in poplar clones cultivated in eastern Ukraine since the 1960s and adapted to local conditions was not confirmed. The hypothesis regarding the dependence of drought resistance on hybrid combinations was also not confirmed.

К е у в о р д с : *Populus* spp., leaves, hydration, water deficit, water-holding capacity.

E-mail: vysotska_n@ukr.net

Одержано редколегією 15.05.2023



О. М. ПЛОТНИКОВА¹, В. Г. ГРИГОРЬЄВА², С. А. ЛОСЬ¹, Є. А. ГУБІН¹
КОМПЛЕКСНЕ ОЦІНЮВАННЯ ГЕОГРАФІЧНИХ КЛІМАТИПІВ СОСНИ ЖОВТОЇ
В УМОВАХ ПІВНІЧНОГО СХОДУ УКРАЇНИ

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

²Державне підприємство «Харківська лісова науково-дослідна станція»

Наведено результати дослідження 40 кліматипів сосни жовтої (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.) у віці 40 років у географічних культурах, створених у 1982 р. в ДП «Харківська ЛНДС». Визначено показники збережуваності, росту (висота й діаметр дерев) варіантів, прямизни стовбурів, стану, наявність шишок і природного поновлення. За висотою суттєво перевершували контроль (середнє по ділянці) 13 варіантів, поступалися – 11 із 40. За діаметром суттєво перевершували контроль 5 варіантів, поступалися – 9, за висотою та діаметром найкращими виявилися два варіанти. Частка прямостовбурових дерев сосни жовтої в різних варіантах становила від 0 до 77,8 %. Для 24 кліматипів сосни жовтої частка дерев відмінного стану перевищувала 50 %, тоді як частка дерев незадовільного стану (зламани верхівки, пожовтіння хвої) та сухих у деяких варіантах сягала 32,3 %. За результатами комплексного оцінювання перспективними для лісового господарства з метою отримання великомірної деревини, зокрема пиломатеріалів класу А, в умовах північного сходу України визначено 13 кліматипів сосни жовтої.

Ключові слова: *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws., географічні культури, прямизна стовбурів.

Вступ. Для ефективного функціонування лісового господарства важливим є дослідження географічної мінливості видів за показниками росту й стану. В Україні перші кроки в цьому напрямі зроблено понад 100 років тому шляхом створення широкої мережі географічних культур. Нині вона охоплює 38 об'єктів площею 207 га, на яких випробовують 1 201 провінцієнцію 14 видів, підвидів і родових комплексів лісових деревних рослин. Дослідження географічної мінливості дає змогу відібрати найстійкіші та найперспективніші походження для певного регіону й уточнити лісонасінневе районування (State of forest genetic resources 2014, Tkach et al. 2019).

На рівні з аборигенними видами в географічних і висотно-екологічних культурах проходять випробування й іншорайонні види, серед яких сосна жовта (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws) (State of forest genetic resources 2014).

Природний ареал *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws, де вона є одним із головних лісоутворювальних видів, зосереджений у південно-західній частині Північної Америки. Ареал простягається з провінції Британська Колумбія в Канаді на південь до Мексики, а також уздовж Тихоокеанського узбережжя, від кордонів штатів Каліфорнія та Орегон на схід – до штатів Небраска й Оклахома (Youngblood 2005).

Дослідження сосни жовтої в природних умовах Північної Америки, зокрема у США (штати Орегон та Каліфорнія), тривають понад 70 років (Fiske & Tarpeiner 2005).

На Великих рівнинах США сосна жовта є основним видом для створення вітрозахисних смуг. Із цією метою у 1960-ті роки в штаті Небраска проведено випробування варіантів, згідно з якими рекомендовано використовувати садивний матеріал із південно-центральної частини Південної Дакоти та північно-центральної частини Небраски. Пізніше, для подальшого розмежування джерел насіння (родин) з численних місць збору, в цьому регіоні проведено повторне випробування (1986 р.) географічних походжень на ділянках, висаджених у центральній частині Великих рівнин. Результати дослідження 15-річних культур засвідчили вплив географічного походження на ріст сосни жовтої. Найкращими для заготівлі насіння визначено п'ять зон у східній частині штату Небраска (Geyer et al. 2013).

За результатами досліджень географічних культур сосни жовтої в штаті Міннесота визначено, що найнижчою збережуваністю та найгіршим станом характеризувалися походження з районів, які знаходяться південніше 40° північної широти та західніше 112° західної довготи. Водночас кліматипи з північної та східної частин цього штату, а також зі східних височин відзначалися високими показниками росту, подібною збережуваністю та були менш уразливі до зміни клімату (Radsliff et al. 1981).

Наразі насадженням сосни жовтої в південно-західній частині США загрожують зміна кліматичних умов (посуха) та вирубування лісів (Dixit et al. 2020). Для запобігання негативним наслідкам проводять фенологічні дослідження 21 походження з височин штатів Аризони та Нью-Мексико з метою визначення придатних для лісорозведення. Задля відновлення лісів після пожеж і підвищення їхньої продуктивності в Північній Каліфорнії протягом 19 років також випробували 17 популяцій сосни жовтої, переміщених у межах південних хребтів Каскадів – Сьєрра-Невади на дві контрастні ділянки. На обох із них походження зі Сьєрра-Невади виявилися продуктивнішими за походження з Каскадних гір (Kitzmler 2005).

На Євразійський континент сосну жовту завезено після 1825 р. (Critchfield & Little 1966).

Сучасні дослідження сосни жовтої в аридних і лісостепових умовах центрального та західного Башкирського Передуралля (РФ, м. Бірськ) виявили високу зимостійкість виду. За комплексним оцінюванням середніх показників (здерева́ніння пагонів, зимостійкість, збереження форми росту, здатність утворювати пагони, приріст за висотою, генеративний розвиток, можливий спосіб розмноження) сосна жовта виявилася стійкою й високоперспективною для цього регіону. Вид рекомендовано широко використовувати в озелененні – в одиноких і групових посадках парків, скверів міст і сільських населених пунктів, а також для лісорозведення в регіоні досліджень, окрім північних та гірських районів (Mkrtychyan & Putenikhin 2016).

Перші рослини *Pinus ponderosa* в Україні з'явилися у 1837 р. в Никітському ботанічному саду, а згодом – у колекціях інших ботанічних садів і дендропарків країни.

У 80-х рр. ХХ століття у Лівобережному Лісостепу під керівництвом П. І. Молоткова (УкрНДЛГА) закладено географічні та висотно-екологічні культури різних інтродукованих видів, зокрема сосни жовтої. На об'єктах систематично досліджують особливості росту, розвитку та стану кліматипів (Molotkov et al. 1983, Los et al. 2002, Neyko et al. 2016).

Метою досліджень був аналіз росту, стану та якості стовбурів сосни жовтої різного географічного походження та визначення перспективності кліматипів на основі їхнього комплексного оцінювання в умовах північного сходу України.

Матеріали й методи. Об'єктом досліджень були кліматипи сосни жовтої в географічних культурах у Південному лісництві ДП «Харківська ЛНДС».

Для створення географічних культур у 1979 р. через Міністерство лісового господарства колишньої УРСР було отримано зразки насіння сосни жовтої із США з відповідним шифром походжень, що зберігалися з 1962 р. за температури -10°C . За результатами визначення якості насіння у 1978 р. виявлено його високу життєздатність. Географічні культури сосни жовтої створено з представництвом 43 походжень із 10 регіонів США, які доволі повно охоплюють природний ареал, що простягається від західного узбережжя до Південної Дакоти та Небраски – на сході та від штату Монтана на півночі до Нью-Мексико – на півдні (рис. 1).

Географічні культури закладено у 1982 р. на площі 3,0 га у трьох повтореннях дворічними сіянцями, які вирощено в теплиці. У кожній повторності висаджено по 100 рослин із початковим розміщенням садивних місць $3,0 \times 1,0$ м. Тип лісорослинних умов – свіжа діброва (D_2). Перші 20 років після створення об'єкта, зважаючи на його особливу цінність (представленість багатьма географічними походженнями), не проводили жодних рубок догляду й формування. Після цього двічі видаляли сухі та пригнічені дерева. Попри це, частину дерев було викопано, а в частини – зрубано верхівки на новорічні ялинки. Також, відповідно до схеми садіння, дерева в ряду мали обмежену площу живлення та освітлення, що зумовило інтенсивніший ріст рослин за висотою, але менший їхній приріст за діаметром. У зв'язку зі значною густотою деревостану у стадії жердняку сформувалися ослаблені крони. Надалі це призвело до ураження сніговим шотте та ушкодження насадження льодом. Протягом зими 2020–2021 рр. в культурах сосни жовтої проведено санітарну рубку.

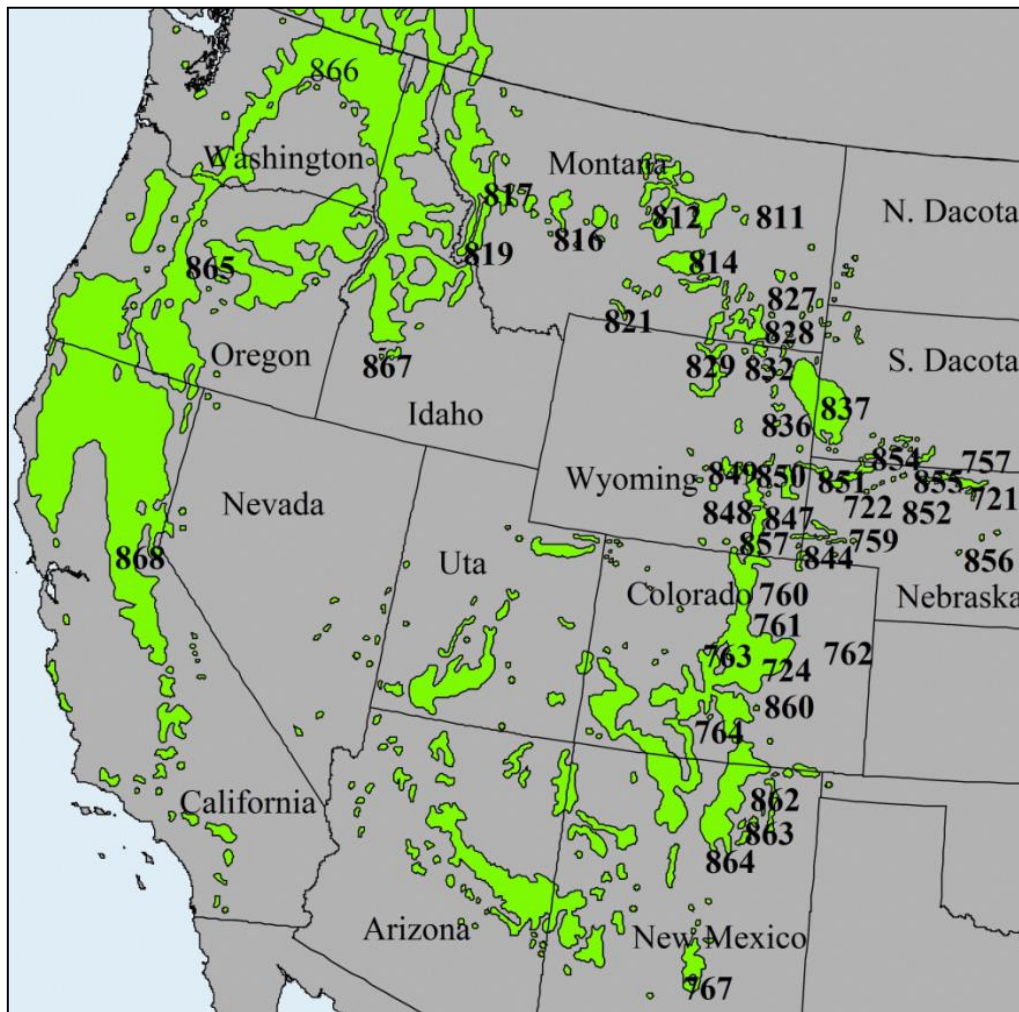


Рис. 1 – Місця заготівлі насіння сосни жовтої в природному ареалі на території США

Варіанти *Pinus ponderosa* обстежували навесні 2021 р. шляхом вимірювання діаметра кожного дерева на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту, висоти дерев, оцінювання прямизни стовбурів, стану дерев, наявності вад і пошкоджень.

Збережуваність рослин розраховували як відношення кількості живих дерев на час обстеження до початкової кількості у відсотках. Стан дерев визначали за 5-бальною шкалою (Volosyanchuk et al. 2003): 1 – відмінний стан; 2 – добрий стан; 3 – задовільний стан (ослаблені дерева); 4 – незадовільний стан (дуже ослаблені дерева); 5 – дерево загинуло. Індекс стану варіантів визначали як середньозважене показників категорій стану всіх облікованих особин. Оцінюючи якість стовбурів, виділяли три категорії за прямизною: 1 – прямий стовбур, 2 – викривлений, 3 – кривий (Methods of forest trees varietal testing 2019). Враховували також наявність насінноношення та природного поновлення.

Середньорічна температура повітря в Харкові, згідно з багаторічними даними на період садіння сосни жовтої становила 6,6°C, абсолютний мінімум сягав -40°C, абсолютний максимум – +39°C. Річна сума опадів у середньому становила від 500 до 525 мм. Посушливих днів за період з травня по вересень – по 5–7 щомісячно, а зі значними морозами (нижче за -20°C) у зимові місяці – 20. Основними стресовими абіотичними чинниками є низькі температури взимку та приморозки й посушливі періоди під час вегетації. Водночас кліматичні умови природного ареалу, зважаючи на його значну площу, є дуже різноманітними. Для порівняння кліматичних умов природного ареалу сосни жовтої та місця розташування географічних культур в Україні використано кліматограми Болла-Тейлора (Asadulaev 2013). На кліматограмі (рис. 2) простежується певна подібність умов Харкова до умов східної, центральної та північної частин природного ареалу сосни жовтої. Водночас

слід відзначити нижчі температурні показники у зимовий період для Харкова. Південна частина ареалу вирізняється помітно вищими температурами повітря (на 7°C у липні і на 12°C у січні) та майже вдвічі меншою річною кількістю опадів. Найбільш відмінними є кліматичні умови західної частини США, де середньорічна сума опадів сягає 1 260 мм, а середньомісячні температури повітря варіюють у межах від 7,2 до 15,6°C.

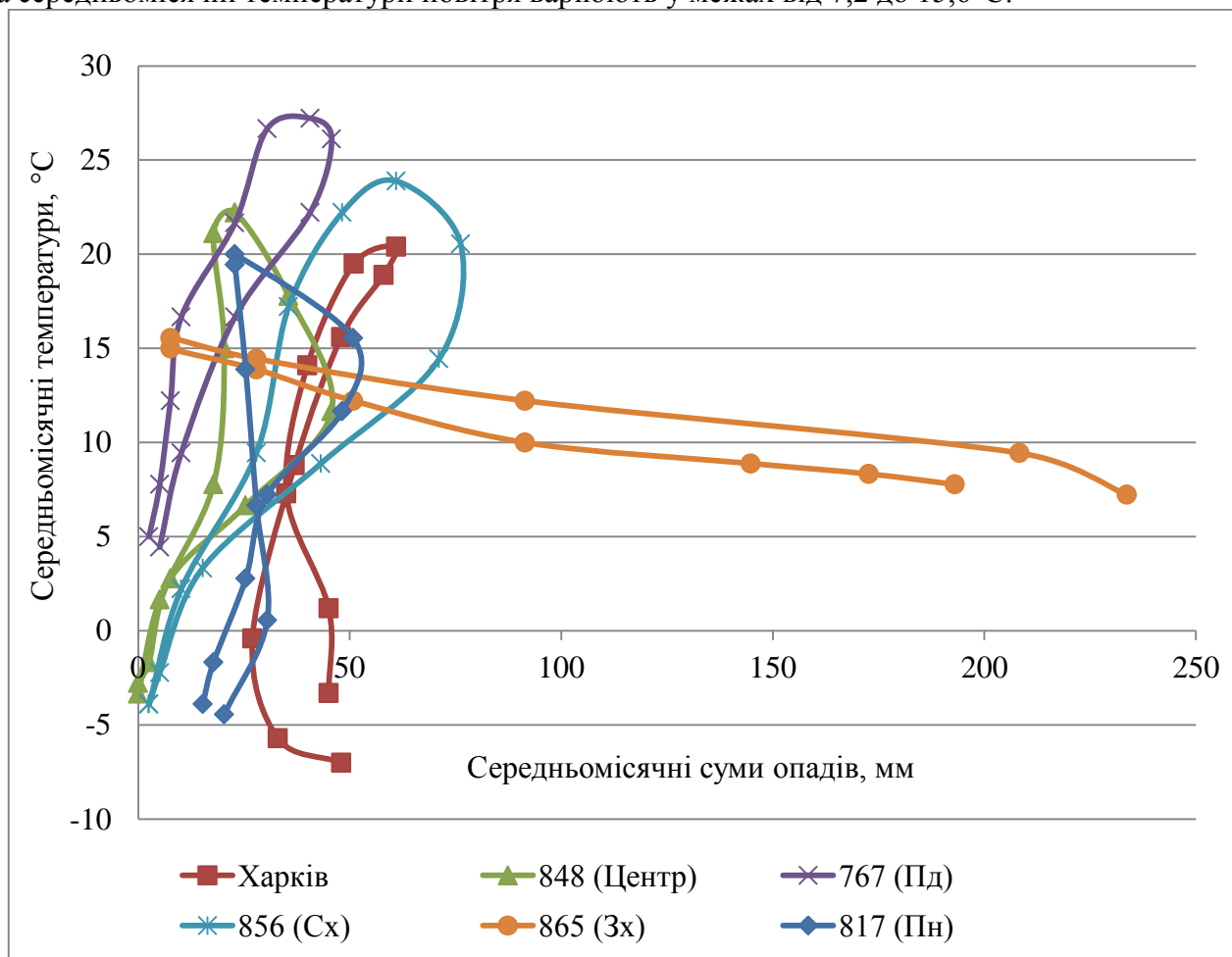


Рис. 2 – Кліматограма Болла-Тейлора крайових локацій (Пн-Пд; Сх-Зх) ареалу сосни жовтої (США) та місця розташування географічних культур (Україна)

Середні показники варіантів порівнювали із середнім на ділянці. Значущість різниці між варіантами дослідження та контролем визначено за допомогою *t*-критерію Стьюдента у програмі MS Excel. Рівень мінливості ростових показників оцінювали за шкалою С. О. Мамаєва (Мамаєв 1972).

Підсумковий висновок щодо селекційної цінності певних кліматипів робили за результатами їхнього комплексного оцінювання, яке здійснювали у балах: інтенсивність росту – на основі порівняння середніх показників варіантів із контролем, якість стовбурів – за часткою прямоствбурих дерев, а стан – за індексом стану. Шкалу оцінювання (Methods of forest trees varietal testing 2019) наведено в таблиці 1.

У підсумку кліматипи, які набрали сумарно 5,0–9,0 бала, вважали малоперспективними, 10,0–14,0 бала – порівняно перспективними, 15,0–20,0 бала – перспективними для лісового господарства з метою отримання великомірної деревини, зокрема пиломатеріалів класу А.

Результати та обговорення. За результатами обстеження ділянки географічних культур сосни жовтої (перша повторність) у 40-річному віці із 43 походжень збереглися 40. Збережуваність рослин у варіантах становила від 3 % (857, штат Вайомінг) до 36 % (855, штат Небраска), середній показник збережуваності – 24 %.

Таблиця 1

Шкала комплексного оцінювання кліматипів сосни жовтої для отримання великомірної деревини, зокрема пиломатеріалів класу А

Бали	Показник			Стан, бали
	Інтенсивність росту за висотою	Інтенсивність росту за діаметром	Якість стовбурів (частка прямостовбурних дерев, %)	
1	поступаються контролю на 10,1 % і більше	поступаються контролю на 30,1 % і більше	частка дерев з прямими стовбурами 0–10,0	4,5–5,0
2	поступаються контролю на 4,1–10,0 %	поступаються контролю на 10,1–30,0 %	частка дерев з прямими стовбурами 10,1–20,0	3,5–4,4
3	на рівні контролю – різниця до $\pm 4,0$ %	на рівні контролю – різниця до $\pm 10,0$ %	частка дерев з прямими стовбурами 20,1–30,0	2,5–3,4
4	перевершують контроль на 4,1–10,0 %	перевершують контроль на 10,1–30,0 %	частка дерев з прямими стовбурами 30,1–40,0	1,5–2,4
5	перевершують контроль на 10,1 % і більше	перевершують контроль на 30,1 % і більше	частка дерев з прямими стовбурами 40,1 і більша	1,0–1,4

Середній діаметр кліматипів сосни жовтої становив від 13,8 см у варіанті 829 (штат Вайомінг) до 21,6 см у варіанті 865 (штат Орегон). Мінливість у межах кліматипів була середньою, підвищеною та високою (C_V від 18,4 до 34,7 %), а між ними – підвищеною ($C_V = 26,5$ %). Суттєво за діаметром перевершували контроль на 9,6–19,8 % 5 варіантів (767, 757, 761, 863, 864). Поступалися за цим показником на 7,3–22,0 % – 9 (722, 812, 814, 829, 832, 848, 821, 836, 855), решта 26 варіантів росли на рівні контролю.

Середня висота дерев у варіантах становила від 11,5 м (варіант 857, штат Вайомінг) до 18,0 м (варіант 865, штат Орегон) (табл. 2). Рівні мінливості за цим показником – дуже низький, низький або середній. У межах кліматипів C_V становив від 7,3 до 16,4 %, а між ними – 15,5 %. Суттєво перевершували контроль за висотою на 5,4–21,6 % 13 варіантів (721, 865, 866, 757, 812, 816, 817, 761, 819, 850, 852, 856, 862), поступалися на 6,1–22,3 % – 11 (722, 814, 760, 847, 829, 848, 849, 857, 863, 860, 864), решта 16 – росли на рівні контролю.

Перевершували суттєво контроль за ростовими показниками два варіанти – 757 і 761.

Таблиця 2

Ростові показники кліматипів сосни жовтої в географічних культурах у Південному лісництві ДП «Харківська ЛНДС»

№ кліматипу	Штат (висота над рівнем моря, м)	Середній діаметр			Середня висота		
		<i>M</i> , см	<i>m</i>	<i>t</i>	<i>M</i> , м	<i>m</i>	<i>t</i>
865	Орегон (1310)	21,6	2,00	1,94	18,0	0,93	3,42*
866	Вашингтон (488)	18,2	1,34	0,37	16,5	0,74	2,28
811	Монтана (884)	17,2	0,90	-0,55	14,0	0,41	-1,91
812	Монтана (1036)	16,0	0,84	-1,99	15,7	0,36	2,43
814	Монтана (1128)	14,2	0,88	-3,91	13,9	0,43	-2,05
816	Монтана (1372)	17,4	0,76	-0,39	15,6	0,36	2,16
817	Монтана (1036)	18,1	0,85	0,46	16,0	0,55	2,15

Закінчення табл. 2

№ кліматипу	Штат (висота над рівнем моря, м)	Середній діаметр			Середня висота		
		<i>M</i> , см	<i>m</i>	<i>M</i> , см	<i>m</i>	<i>M</i> , см	<i>m</i>
819	Монтана (1250)	19,3	1,15	1,38	17,0	0,55	3,95
821	Монтана (1158)	16,4	0,61	-2,06	14,8	0,34	0,00
827	Монтана (1158)	16,1	0,98	-1,61	14,2	0,38	-1,54
828	Монтана (1219)	17,6	1,11	-0,09	15,1	0,50	0,59
757	Південна Дакота (792)	19,4	0,83	2,01	17,7	0,43	6,60
837	Південна Дакота (1920)	17,8	1,10	0,09	14,5	0,58	-0,51
854	Південна Дакота (1005)	17,1	0,68	-0,86	14,7	0,52	0,81
829	Вайомінг (1554)	13,8	0,65	-5,83	12,5	0,39	-5,75
832	Вайомінг (1189)	16,2	0,60	-2,42	14,2	0,39	-1,50
836	Вайомінг (1224)	16,1	0,68	-2,29	15,0	0,44	0,45
847	Вайомінг (1676)	16,4	1,11	-1,16	13,6	0,37	-3,15
848	Вайомінг (2108)	15,6	0,92	-2,25	12,0	0,38	-7,17
849	Вайомінг (1585)	17,8	0,78	0,13	12,1	0,35	-7,47
850	Вайомінг (1524)	19,3	0,88	1,79	15,8	0,37	2,63
857	Вайомінг (2347)	17,4	0,28	-0,93	11,5	0,76	-4,31
721	Небраска (823)	18,3	0,86	0,69	16,9	0,34	5,97
722	Небраска (1310)	16,1	0,73	-2,14	13,9	0,31	-2,79
759	Небраска (1310)	17,6	0,70	-0,14	15,4	0,32	1,80
844	Небраска (1585)	18,2	0,95	0,52	14,9	0,35	0,28
851	Небраска (1280)	18,3	0,87	0,68	15,1	0,31	0,93
852	Небраска (1158)	18,8	0,90	1,20	16,6	0,26	6,54
855	Небраска (975)	15,9	0,58	-2,99	14,3	0,40	-1,22
856	Небраска (883)	18,6	0,80	1,10	16,2	0,48	2,87
724	Колорадо (2256)	18,6	1,12	0,80	14,9	0,48	0,20
760	Колорадо (2560)	19,6	1,34	1,41	13,1	0,44	-3,79
761	Колорадо (2438)	20,8	1,26	2,44	15,6	0,34	2,27
763	Колорадо (2377)	19,3	1,00	1,58	14,8	0,50	0,00
764	Колорадо (2682)	18,6	0,95	0,93	15,0	0,43	0,46
860	Колорадо (1981)	16,2	1,00	-1,48	13,0	0,40	-4,39
767	Нью-Мексико (1950)	20,7	1,49	2,00	15,0	0,57	0,35
862	Нью-Мексико (2240)	19,3	1,02	1,55	15,8	0,48	2,05
863	Нью-Мексико (1950)	20,3	1,24	2,08	13,1	0,51	-3,28
864	Нью-Мексико (1950)	21,2	1,40	2,48	11,9	0,47	-6,06

Примітка. Грубим шрифтом позначено значущість різниці, $t_{st} = 1,98$ при $P = 0,95$.

Частка прямоствбурних дерев сосни жовтої в межах кліматипів становила від 0 % (857 та 852) до 77,8 % (865), у середньому – 33,9 %. Понад 20,0 % дерев з прямими стовбурами виявлено для 25 варіантів (рис. 3, а), 11–20 % – чотирьох, а до 10 % таких дерев зареєстровано для 9 варіантів. Якість стовбурів у кліматипів із центральної частини

природного ареалу була гіршою, ніж з північної та східної. Відсутність прямоствовбурних дерев зафіксовано у двох варіантах (857 і 864).

Індекс стану кліматипів становив від 1,0 (857, штат Вайомінг) до 2,8 бала (814, штат Монтана). У переважній більшості варіантів (92,5 %) (рис. 3, б) цей показник варіював від 1,5 до 2,4 бала. У 24 кліматипів сосни виявлено частку дерев відмінного стану 50 % і більшу, тоді як частка дерев незадовільного стану (зламани верхівки, пожовтіння хвої) та сухих дерев у деяких варіантах сягала 32,3 %. Серед вад, які траплялися найчастіше, виявляли нахил стовбура – відхилення від горизонтальної осі становило 10 % і більше. В окремих дерев були зламани стовбури, що є результатом льодоламу взимку 2015 р.

Під час обстеження в більшості дерев зафіксовано наявність шишок минулого та поточного років. На відкритих ділянках виявлено поодинокий самосів сосни жовтої, водночас підріст був відсутній. Наявність репродукції свідчить про добру адаптованість виду до умов регіону та про можливість подальшого розмноження й створення об'єктів насадництва.

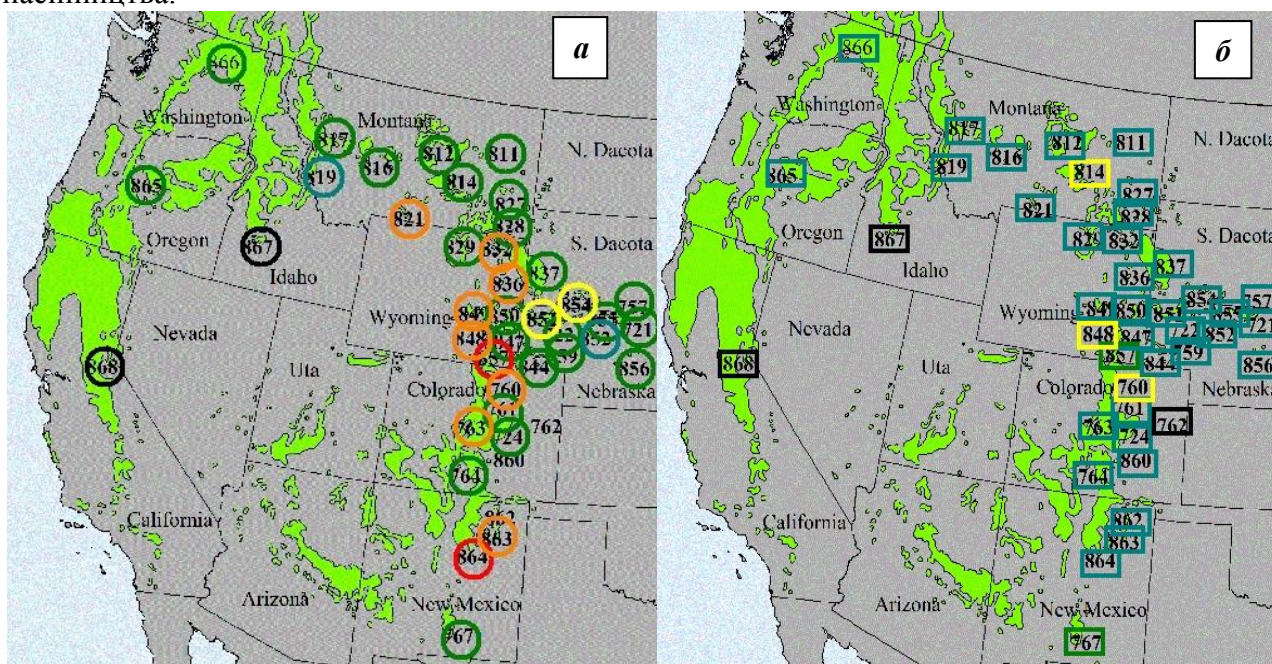


Рис. 3 – Групування кліматипів за часткою прямоствовбурних дерев (а: чорний – варіанти загинули, червоний – 0 %, помаранчевий – до 10 %, жовтий – 11–15 %, сіро-зелений – 16–20 %, зелений – понад 20 %) та індексом стану (б: чорний – варіанти загинули, жовтий – задовільний стан (> 2,5 бала), сіро-зелений – добрий стан (1,5–2,4 бала), зелений – відмінний стан (1,0–1,4 бала)

За результатами комплексного оцінювання (рис. 4) суму балів 15,0–18,0 набрали 13 кліматипів, вони є перспективними для північного сходу України з метою отримання великомірної деревини, зокрема пиломатеріалів класу А. Це переважно північні та східні походження виду (рис. 5). Для 24 кліматипів із сумою балів 10,0–14,0, які потрапили до групи відносно перспективних, рекомендовано надалі продовжити дослідження росту та розвитку. Три малоперспективні кліматипи (сума балів 7,0–9,0) можуть бути вилучені з подальших досліджень.

Таким чином, адаптованими до умов Харківщини виявилися кліматипи з усіх представлених штатів США з висотою на рівнем моря від 488 до 2 682 м. Серед них можна виділити п'ять походжень – 721, 865, 866, 767 та 757, які вирізнялися найвищими значеннями досліджуваних показників.

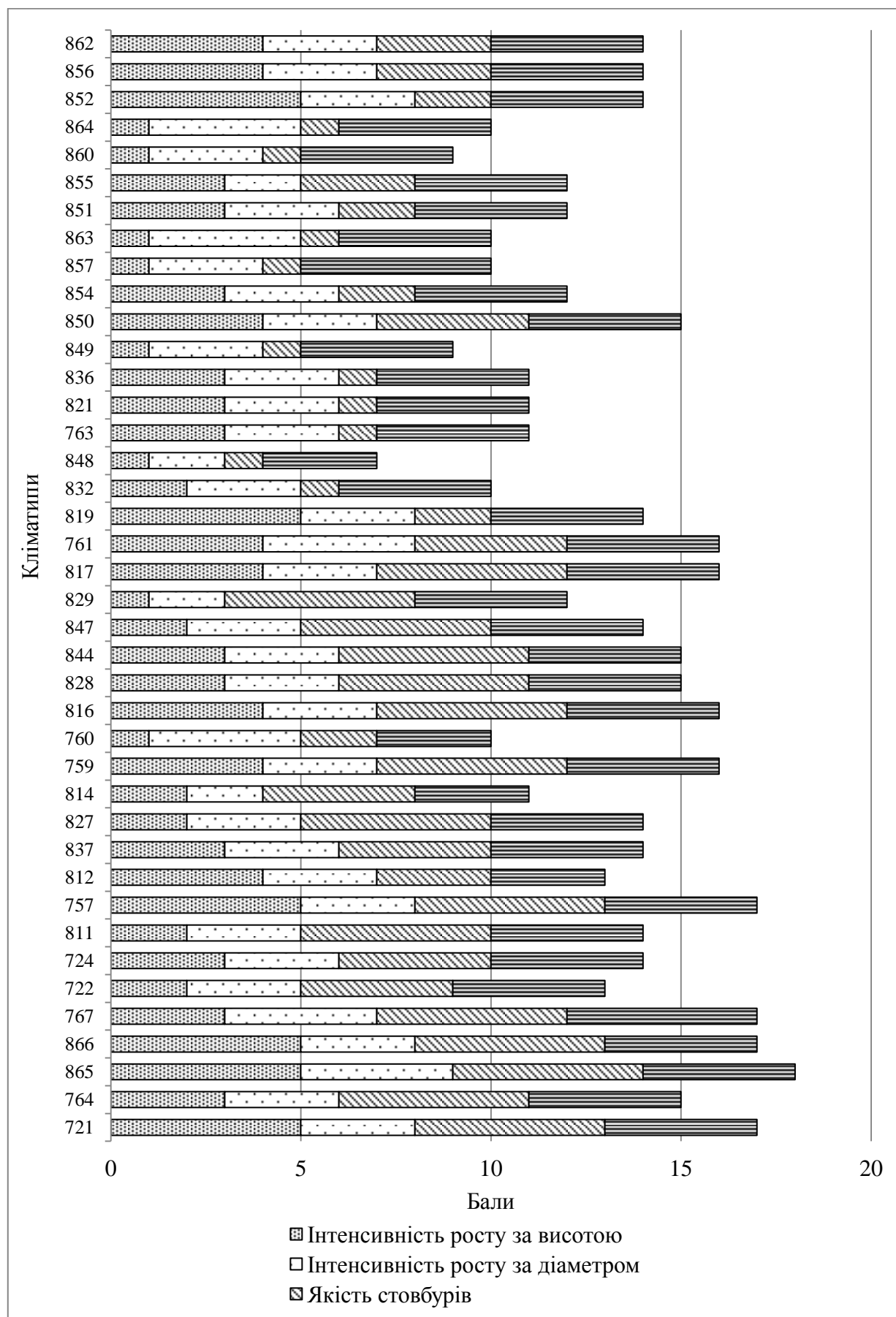


Рис. 4 – Комплексне оцінювання кліматипів сосни жовтої в географічних культурах ДП «Харківська ЛНДС»

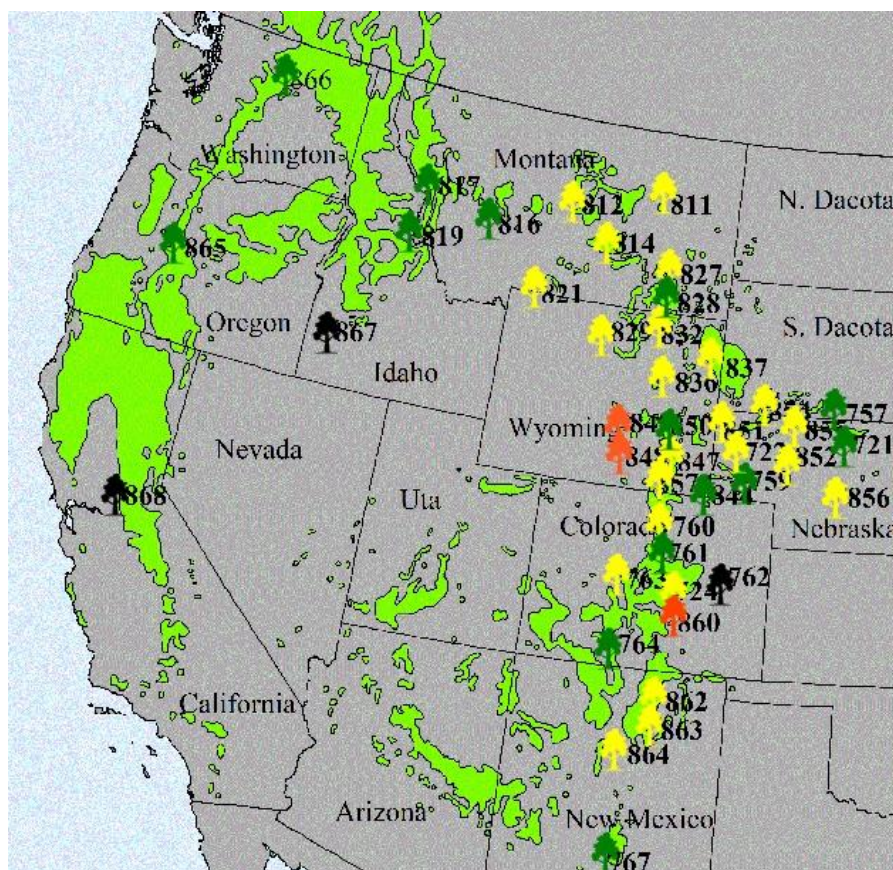


Рис. 5 – Перспективність кліматипів для лісового господарства північного сходу України: зелений – перспективні; жовтий – відносно перспективні; помаранчевий – малоперспективні; чорний – кліматипи, які загинули

Висновки. Доведено високу адаптованість сосни жовтої до умов північного сходу України, про що свідчать висока інтенсивність росту, добрий стан і наявність репродукції.

За результатами комплексного оцінювання із 40 географічних кліматипів сосни жовтої для отримання великомірної деревини, зокрема пиломатеріалів класу А, в умовах північного сходу України запропоновано 13. Це варіанти переважно північного та східного походжень.

Із 40 обстежених варіантів за висотою суттєво перевершували контроль (середнє на ділянці) 13 варіантів, поступалися йому – 11, за діаметром перевершували 5 варіантів, поступалися – 9, найкращими за висотою та діаметром одночасно були два кліматипи – 757 (штат Південна Дакота) та 761 (штат Колорадо). За результатами комплексного оцінювання виділено п'ять перспективних походжень – 721, 865, 866, 767 та 757.

Відсутність своєчасних рубок догляду, зокрема у перші 20 років, зумовила формування загущеного насадження, де значна частка дерев є ослабленими і мають тонкі стовбури. Такі дерева часто уражуються хворобами і пошкоджуються під час стихійних явищ, зокрема снігом. Рекомендовано в культурах із участю сосни жовтої своєчасно проводити рубки догляду, що підвищуватиме стійкість насадження.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Asadulaev, Z. M., Ramazanova, Z. R., Sadykova, H. A. 2013. Comparative assessment of climatic diagrams and their modifications in the interpretation of botanical studies. Bulletin of the Dagestan Scientific Center, 50: 42–48 (in Russian).

Critchfield, W. B. and Little, E. L. Jr. 1966. Geographic distribution of the pines of the world. U.S. Department of Agriculture, Miscellaneous Publication 991. Washington, DC. 97 p.

Dixit, A., Kolb, T., Burney, O. 2020. Provenance geographical and climatic characteristics influence budburst phenology of southwestern Ponderosa pine seedlings. Forests, 11 (10), 1067: 1–10. <https://doi.org/10.3390/f11101067>

Fiske, J. and Tappeiner, J. 2005. An overview of key silvicultural information for Ponderosa pine. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-198, p. 33–47.

Geyer, W. A., Lynch, K. D., Schaefer, P., Lovette, W. R. 2013. Ponderosa pine seed source test in Nebraska in the Central Great Plains of the United States. Open Journal of Forestry, 3 (3): 75–78. <http://dx.doi.org/10.4236/ojf.2013.33013>

Kitzmiller, J. H. 2005 Provenance trials of Ponderosa pine in Northern California. Forest Science, 51 (6): 595–607.

Los, S. A., Hrytsaichuk V. V., Olkhovska O. M. 2002. Reproductive features of Ponderosa pine under conditions of introduction. Biology and valeology, 5: 83–88 (in Ukrainian).

Mamayev, S. A. 1972. Forms of intraspecies variability of tree plants (the case of the *Pinaceae* family in the Urals). Moscow, Nauka, 283 p. (in Russian).

Methods of forest trees varietal testing. Departmental testing (new edition). 2019. Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Torosova, L. O., Hayda, Yu. I., Vysotskaya, N. Yu., Yatsyk, R. M., Grigorieva, V. G., Plotnikova, O. M., Shlonchak, G. A., Mitrochenko, V. V., Dishko, V. A. (Ed.). Kharkiv, URIFFM, 37 p. (in Ukrainian).

Mkrtychyan, M. A. and Putenikhin, V. P. 2016. Biological features of some North American pines during introduction in the Bashkir Cis-Urals: prospects for use in landscaping and forestry. In: Agricultural sciences and agro-industrial complex at the turn of the century. Agroforestry and protective afforestation, landscaping of settlements, 14: 96–101.

Molotov, P. I., Davydova, N. I., Ilyin, M. I. 1983. The experience of introducing Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* L.) from USA to Ukraine. In: Materials of the VII coordination meeting dedicated to the introduction of plants. Moscow, p. 65 (in Russian).

Neyko, I. S., Los, S. A., Plotnikova, O. M. 2016. The adaptability and peculiarities of growth of Ponderosa pine (*Pinus ponderosa* L.) subspecies in the provenance tests in Kharkiv Region. Scientific Bulletin of NLTU, 26.1: 116–121 (in Ukrainian).

Radsliff, W. A., Mohn, C. A., Cromell, W. H., Gray, W. H. 1981. Ponderosa pine provenance tests in Minnesota. University of Minnesota, College of Forestry, Minnesota Forestry Research, 277, 4 p.

State of forest genetic resources in Ukraine. 2014. Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Gayda, Yu. I., Ustimenko, P. M., Yatsyk, R. M., Chernyavsky, M. V., Neyko, I. S., Torosova, L. O., Dutka, M. M., Polakova, L. V., Sapiton, O. A., Grechanik, R. M., Fushilo, Ya. D., Sbitna, M. D., Shlonchak, G. A., Mitrochenko, V. V., Shlonchak, G. V., Samoday, V. P., Trofimenko, N. M., Voytuk, V. P., Volosyanchuk, R. T., Fennich, V. S., Grigor'eva, V. G., Voloshinova, N. O., Jurovaet, P. T. (Ed.) Kharkiv, Planeta-print, 138 p. (in Ukrainian).

Tkach, V. P., Los, S. A., Vysotska, N. Yu., Tereshchenko, L. I., Torosova, L. O. 2019. State of forest genetic resources in the world and in Ukraine. Plant genetic resources, 25: 26–40 (in Ukrainian). DOI: 10.36814/pgr.2019.25.02

Volosyanchuk, R. T., Los, S. A., Torosova, L. O., Kuznecova T. L., Tereshchenko, L. I., Neyko, I. S., Grygoryeva, V. G. 2003. Methodological approaches to the estimation of gene pool conservation in situunits of the broadleaves tree species and their actual conditions in the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine. Forestry and Forest Melioration, 104: 50–57 (in Ukrainian).

Youngblood, A. 2005. Silvicultural Systems for Managing Ponderosa Pine. USDA Forest Service Gen. Tech. Rep. PSW-GTR-198, p. 49–58.

Plotnikova O. M.¹, Grygoryeva V. G.², Los S. A.¹, Gubin E. A.¹

COMPREHENSIVE ASSESSMENT OF PONDEROSA PINE PROVENANCES IN THE NORTH-EAST OF UKRAINE

¹Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

²State Enterprise 'Kharkiv Forest Research Station'

The results of 40 ponderosa pine (*Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws.) provenances at the age of 40 years study in provenance trials established in 1982 in the Kharkiv Forest Research Station in Kharkiv region, Ukraine, are given. Indicators of viability, growth (height and diameter of trees), stem straightness, condition, presence of cones and natural regeneration were determined. The findings showed that 13 variants significantly exceeded the control (average for the test plot) in height, while 11 of the 40 tested variants were inferior. Five variants significantly exceeded the control in diameter, nine variants were inferior, and two variants were the best by height and diameter. The proportion of straight-stemmed ponderosa pine trees of different origins was from 0 to 77.8%. For 24 ponderosa pine provenances, the share of trees in excellent condition was more than 50%, while the share of trees in unsatisfactory condition (broken tops, yellowing of needles) and dead trees in some variants reached 32.3%. Based on the results of a comprehensive assessment, 13 varieties of ponderosa pine were identified as promising for forestry to obtain large-sized wood, in particular, class A lumber, in the north-east of Ukraine.

Key words: *Pinus ponderosa* Dougl. ex Laws., provenance trials, stem straightness.

E-mail: helen-kasai@ukr.net; grygorye@ukr.net; svitlana_los@ukr.net

Одержано редколегією 01.05.2023



Л. І. ТЕРЕЩЕНКО, С. А. ЛОСЬ, Є. А. ГУБІН

**ОСОБЛИВОСТІ РОЗВИТКУ ПОТОМСТВ ПЛЮСОВИХ ДЕРЕВ СОСНИ
ЗВИЧАЙНОЇ ЗА 36-РІЧНИЙ ПЕРІОД У ЗАДОНЕЦЬКОМУ ЛІСНИЦТВІ
(ХАРКІВСЬКА ОБЛАСТЬ)**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Дослідження особливостей розвитку потомств плюсових дерев (ПД), відібраних за фенотипом, сприяє кращому розумінню спадкової складової та удосконаленню методичних підходів до їхнього оцінювання. Метою роботи було порівняти показники сібсів і півсібсів ПД сосни звичайної впродовж 36-річного періоду у випробних культурах Задонецького лісництва ДП «Зміївське лісове господарство» Харківської області. У 13 років диференціація потомств за ростовими показниками була більшою, ніж у 36 років. Більшість потомств у 36-річному віці росли на рівні контролю, але за висотою частка родин з вищими за контроль балами на ділянці сібсів була на 15 % більшою, а за діаметром – на 25 % меншою, ніж на ділянці півсібсів. У 36 років частка мінусових дерев у варіантах зменшилася у 2,4 разу. Виявлено перспективні плюсові дерева. Запропоновано зниження вимог до якості стовбурів у віці до 15 років.

Ключові слова: *Pinus sylvestris*, випробні культури, сібсові родини, півсібсові родини, збережаність, ріст, якість стовбурів, стан дерев.

Вступ. Селекцію сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) здійснюють за комплексом господарсько-цінних ознак: швидкістю росту; стійкістю до хвороб, шкідників, несприятливих чинників довкілля; смолопродуктивністю; якістю деревини; продуктивністю тощо. З метою розвитку плантаційного насінництва виду в деревостанах відбирають плюсові дерева. Такий відбір здійснюють за фенотиповими ознаками, що зумовлює необхідність перевірки цих дерев за потомством із подальшим вибракуванням тих екземплярів, потомство яких характеризується повільним ростом, низькими якістю або стійкістю.

За даними В. В. Андреєвої (Andreieva 2010) коефіцієнт успадкування h^2 висоти сосни звичайної з віком збільшувався і у 27 років сягав 0,60. За іншим джерелом (Jansons et al. 2009) у віці 14–33 років значення коефіцієнта h^2 за висотою становило 0,45, за діаметром – 0,14. Шведськими дослідниками виявлено значну генетичну варіативність за висотою серед потомств сібсів, h^2 у 9–19 років становив 0,16 (Abrahamsson et al. 2012).

Не менш важливим із селекційного погляду є оцінювання півсібсових потомств за якісними показниками. Дослідження 40-річних випробних культур на Волині показало, що кількість кращих нормальних і плюсових, а також мінусових дерев у потомствах зменшилася, при цьому здатність до швидкого росту зберегли 27 % родин (Andreieva et al. 2020). У Латвії виявлено, що для товщини гілок показник h^2 в середньому становив 0,14, а для висоти до першої живої гілки – 0,20 (Jansons et al. 2009). У Швеції з метою непрямого генетичного покращення стабільності форми пиломатеріалів сосни звичайної шляхом неруйнівного визначення на живих деревах досліджували сібсові потомства 39-річного віку і виявили, що кут волокна (GRA) під корою є найкращою діагностичною ознакою скручування та викривлення пиломатеріалів ($r_A = 0,84$ та $0,62$ відповідно) (Fundova et al. 2020). Водночас високі від'ємні генетичні кореляції між ознаками росту та властивостями деревини, отримані Zh. Hong зі співавторами (Hong et al. 2014), свідчать про необхідність використання декількох ознак під час селекційного відбору з урахуванням економічної складової.

Польські вчені зауважують (Chmura et al. 2012), що результати дослідження потомств часом допомагають вибракувати найгірші популяції, а не відбирати найкращі. На необхідність випробування родин на інтенсивність росту та продуктивність протягом не менше ніж 20 років вказують вчені (Krynyskiy et al. 2006b, Raevsky et al. 2020), оскільки генетичні параметри можуть змінюватися з часом навіть після 30-річного віку (Zhelev & Evtimov 2017). Водночас визнано можливим отримати достовірні результати успадкування інтенсивності росту материнських дерев під час випробування потомств сосни звичайної

до 8–10-річного віку (Krunytskyu et al. 2006a, Turkin 2007). Також існує думка, що попередні результати оцінювання півсібсів можуть бути достовірними, починаючи із 7-річного віку (Raevsky et al. 2020). Тому аналіз особливостей росту й розвитку потомств у часі сприятиме кращому розумінню спадкової складової відібраних за фенотипом дерев та удосконаленню методичних підходів до їхнього оцінювання.

Метою роботи було порівняти показники сібсів і півсібсів ПД сосни звичайної впродовж 36-річного періоду у випробних культурах Задонецького лісництва ДП «Зміївське лісове господарство» (ЛГ).

Матеріали й методи. У Задонецькому лісництві ДП «Зміївське ЛГ» випробні культури півсібсових та сібсових потомств плюсових дерев із п'яти мікропопуляцій Харківської області створено В. В. Митроченко у 1986 р. в умовах свіжого дубово-соснового субору. Однорічні сіянці висаджено на розкорчованій лісосіці під меч Колесова. Через певну неоднорідність умов площу культур було розбито на 13 секцій, у кожній висаджено контроль – рослини, вирощені з насіння виробничого збору Задонецького лісництва. Ділянка складається з 2 частин: сібсової (1,3 га) та півсібсової (0,7 га). Схема розміщення рослин: для сібсових родин – $2,5 \times 1,0$ м, для півсібсових – $2,5 \times 0,75$ м.

Сібсова частина складається з блоків завдовжки до 30 м кожна, де презентовані потомства від спрямованих схрещувань за схемою топкросів (18 плюсових дерев Харківської області). Як запилювачі використано дерева різної інтенсивності росту – швидкорослий 13-Г, повільнорослий 11-з та 7-Г – середньої інтенсивності росту. Початкова кількість висаджених сіянців сібсів становила від 6 до 108 штук. Ростові показники родин порівнювали з відповідним блоковим контролем.

У півсібсовій частині висаджено півсібсові потомства 13 клонів плюсових дерев, зокрема: Зміївського (шифр «з», «зд»), Балаклійського («Б»), Володимирівського («В», «Г»), Мерешанського («М»), Ізюмського («І») лісгоспів Харківської області. Кожен варіант презентований двома 20-метровими рядами, у двох-трьох повтореннях. Контрольний варіант висаджено в кожному блоці.

Загальна кількість наявних нині варіантів на сібсовій ділянці – 45 (початково висаджено 69), на півсібсовій – 20 (висаджено 24). Оцінювання збережуваності проведено у 1989, 1998 (Tereshchenko 2004) та 2020–2021 рр., біологічний вік дерев становив 3, 13 та 36 років відповідно. У 2021 р. була повністю обстежена ділянка сібсів і половина ділянки півсібсів. Решту варіантів півсібсів планували обстежити навесні 2022 року. Проаналізовано варіанти, де мінімальна кількість живих дерев дорівнювала 3, на сібсовій ділянці таких варіантів виявилось 38, на півсібсовій – 19.

У потомствах проведено суцільний облік дерев із визначенням ростових показників, якісних характеристик і стану. Висоту дерев визначали за допомогою електронного висотоміра, діаметр стовбура – мірною вилкою (на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту). Мінливість показників оцінювали за шкалою С. О. Мамаєва (Мамаев 1973). Показник прямоствобурності розраховували як частку живих дерев з прямими стовбурами відносно загальної кількості живих дерев у варіанті. Визначення стану у варіантах (індекс стану) базувалося на розподілі дерев за категоріями стану та визначенні середньозваженого показника (Volosyanchuk et al. 2003). Селекційну категорію й прямизну стовбура дерев визначали відповідно до Методики сортовипробування (Methods of forest trees varietal testing 2019). За цією ж Методикою отримані показники оцінювали в балах (табл. 1).

Підсумкове оцінювання варіантів здійснювали на основі суми балів за такою шкалою придатності для створення продуктивних і стійких насаджень: 1) малоперспективні (5–9 балів); 2) порівняно перспективні (10–14 балів); 3) перспективні (15–20 балів).

З 2004 р. ділянка випробних культур сосни стала підпорядкована НПП «Гомільшанські ліси». Останній раз догляд за культурами на цій ділянці проведено у 2000 р. Інтенсивність природного зрідження визначали за часткою сухостійних і повалених дерев. Збережуваність

потомств визначали як відношення кількості живих дерев на час останнього обстеження до їхньої початкової кількості, виражене у відсотках.

Таблиця 1

Шкали комплексного оцінювання варіантів

Бали	Інтенсивність росту за висотою	Інтенсивність росту за діаметром	Якість стовбурів (частка дерев із прямими стовбурами), %	Стан, бали
1	поступаються контролю на 10,1 % і більше	поступаються контролю на 30,1 % і більше	0–10,0	4,5–5,0
2	поступаються контролю на 4,1–10,0 %	поступаються контролю на 10,1–30,0 %	10,1–20,0	3,5–4,4
3	на рівні контролю, різниця до $\pm 4,0$ %	на рівні контролю, різниця до $\pm 10,0$ %	20,1–30,0	2,5–3,4
4	перевершують контроль на 4,1–10,0 %	перевершують контроль на 10,1–30,0 %	30,1–40,0	1,5–2,4
5	перевершують контроль на 10,1 % і більше	переважають контроль на 30,1 % і більше	> 40,0	1,0–1,4

Критерій конкурентної напруги K_2 у насадженні (або умовний середній збіг стовбурів) розраховували за методикою Г. С. Разіна (Razin 1988), згідно з якою $K_2 = D/H$. Деревостани, у яких критерій конкурентної напруги $K_2 < 0,95$, належать до перегушених та з напруженою конкуренцією.

Завдяки наявним польовим матеріалам попереднього суцільного обстеження культур (1998 р.) проведено подеревне зіставлення ростових характеристик усіх некронованих дерев варіантів у віці 13 і 36 років (подеревна вибірка).

Для порівняння підходів до аналізу отриманих результатів способами суцільного обліку дерев і подеревної вибірки використано кореляційний аналіз. Із метою оцінювання сили зв'язку використано шкалу Чеддока: r від 0 до 0,3 – дуже слабка сила зв'язку, від 0,3 до 0,5 – слабка, від 0,5 до 0,7 – середня, від 0,7 до 0,9 – висока, від 0,9 до 1 – дуже висока.

Результати та обговорення. За критерієм конкурентної напруги K_2 випробні культури у віці 13 років не належали до перегушених та з напруженою конкуренцією ($K_2 = 1,6$). У 36-річному віці K_2 становив 1,2, тобто насадження не було перегушеним, але близьким до такого. Водночас густина культур була нерівномірною – на ділянці були наявні мікропідвищення без дерев.

Презентованість контролю у випробних культурах – 11 % (середня), збережуваність у 36 років на сібсовій і півсібсовій ділянках – 32,7 та 22,9 % відповідно.

Початково на сібсовій ділянці висаджено 2029 сіянців. У 3-річному віці збереглися 74,6 % від цієї кількості, у 13 років – 50,2 %, у 36 років – 36,7 %. Втрачено 9 варіантів, у 9 випадках залишилися 1–2 дерева. Частка варіантів із презентованістю 10 і більше дерев упродовж періоду спостережень зменшилася від 87 до 41 % (рис. 1).

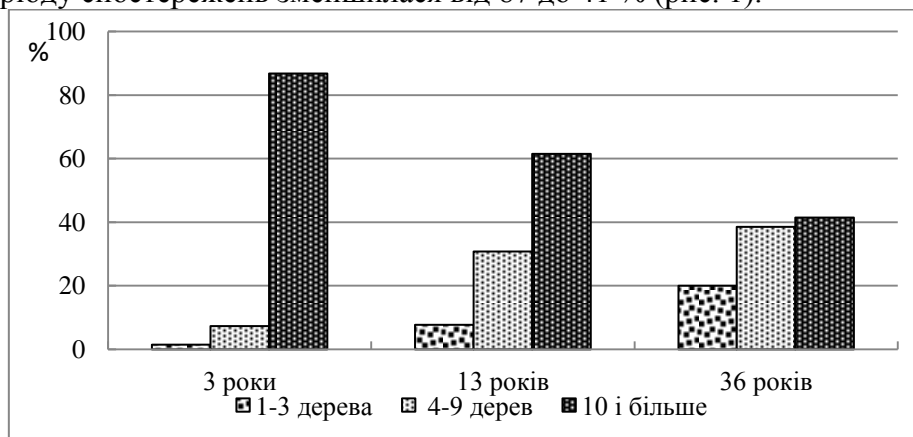


Рис. 1 – Розподіл потомств на сібсовій ділянці за часткою дерев, які збереглися

На ділянці півсібсів висаджено 4 320 сіянців. У 3-річному віці від цієї кількості зберіглося 51,2 %, тобто найбільший відпад рослин відбувся в перші роки. Водночас завдяки 2–3-кратній повторності у варіантах залишалось не менше ніж 50 дерев. До 13-річного віку загинуло ще 27 % дерев. Динаміка збережуваності потомств обстеженої частини була такою: 3 роки – 41,1 %, 13 років – 33,4 %, 36 років – 23,2 %. Жодне з потомств не було втрачено. У 80 % облікованих у 2021 р. варіантів презентованість дерев була вищою за 10 (10–40 дерев), лише 4 родини (Ск-18, 6-з, 10-з та 506-І) у 13 та у 36 років представлені варіантами з меншою кількістю дерев (4–9).

Збережуваність дерев на сібсовій ділянці у 36 років виявилася кращою (36,7 %), ніж на півсібсовій (23,2 %).

Порівняння показників росту потомств, визначених під час суцільного обліку та подеревної вибірки, засвідчило, що у разі суцільного обліку кращим ростом у 13-річному віці відзначаються потомства півсібсів, проте в 36 років перевага за ростом практично нівелюється (табл. 2).

Таблиця 2

Динаміка росту дерев сосни звичайної на сібсовій і півсібсовій ділянках випробних культур

Суцільний облік						Подеревна вибірка				
Показник	N, шт.	M	m	Min-max	CV, %	N, шт.	M	m	Min-max	CV, %
Сібсова ділянка, 13 років										
H, м	632	5,4	0,05	2,0–5,0	23,3	414	5,5	0,06	2,2–8,0	21,4
D, см	780	8,6	0,11	1,7–17,0	34,2	436	9,0	0,14	1,7–17,0	31,7
Сібсова ділянка, 36 років										
H, м	661	18,5	0,07	4,3–22,5	9,6	414	18,8	0,08	13,0–22,5	8,5
D, см	708	21,8	0,20	8,0–39,2	23,8	436	22,3	0,75	8,3–36,0	22,5
Півсібсова ділянка, 13 років										
H, м	482	5,6	0,05	2,0–7,8	20,6	265	5,6	0,07	2,0–7,8	20,6
D, см	507	8,8	0,12	2,0–15,2	31,6	296	9,1	0,16	2,0–14,5	29,8
Півсібсова ділянка, 36 років										
H, м	339	18,5	0,08	11,5–21,5	8,3	265	18,6	0,08	15,0–21,5	7,4
D, см	373	22,0	0,27	9,6–38,2	23,3	296	22,1	0,23	9,6–38,2	22,9

Визначено дуже сильний зв'язок між середніми значеннями висоти у 13-річному віці ($r = 0,98$ (півсібсова частина)/ $0,97$ (сібсова)) та у 36 років ($0,94/0,92$), за діаметром у 36 років зв'язок високий для обох частин випробних культур ($0,89/0,86$) (табл. 3).

Таблиця 3

Кореляційна матриця змінних показників росту для сібсової та півсібсової ділянок випробних культур сосни звичайної

Показник	Півсібсова/сібсова ділянки випробних культур						
	H с.о., 13 р.	D с.о., 13 р.	H с.о., 36 р.	D с.о., 36 р.	H пд.в., 13 р.	D пд.в., 13 р.	H пд.в., 36 р.
D с.о., 13 р	0,81/0,86	×	–	–	–	–	–
H с.о., 36 р	0,39/0,52	–	×	–	–	–	–
D с.о., 36 р	–	0,30/-0,16	0,45/-0,08	×	–	–	–
H пд.в., 13 р	0,98/0,97	–	–	–	×	–	–
D пд.в., 13 р	–	0,94/0,94	–	–	0,84/0,85	×	–
H пд.в., 36 р	–	–	0,94/0,92	–	0,49/0,85	–	×
D пд.в., 36 р	–	–	–	0,89/0,86	–	0,45/-0,12	0,42/-0,12

Примітки. H – середня висота, D – середній діаметр потомств, с.о. – суцільний облік, пд.в. – подеревна вибірка. Величина вибірки: сібсова частина – N = 46 варіантів, півсібсова – N = 29 варіантів.

У 13-річному віці виявлені високий (суцільний облік) та дуже високий (подеревна вибірка) взаємозв'язки між висотами й діаметрами, проте у 36 років для дерев сібсової ділянки зв'язок між цими ознаками є слабким, а півсібсової – дуже слабким.

Аналіз динаміки росту варіантів за висотою виявив зв'язки слабкої та середньої сили у разі суцільного обліку (0,39/0,52), а у разі подеревного обліку – середньої та високої сили (0,49/0,85) (див. табл. 2). У другому випадку чіткіше виявляється спадкова зумовленість цієї ознаки. Водночас для діаметра, навпаки, залежність є слабкою та дуже слабкою, що свідчить про значний вплив умов росту й збережуваності варіантів.

Згідно зі шкалою комплексного оцінювання (див. табл. 1), за інтенсивністю росту потомства розподілено на 5 груп (рис. 2).

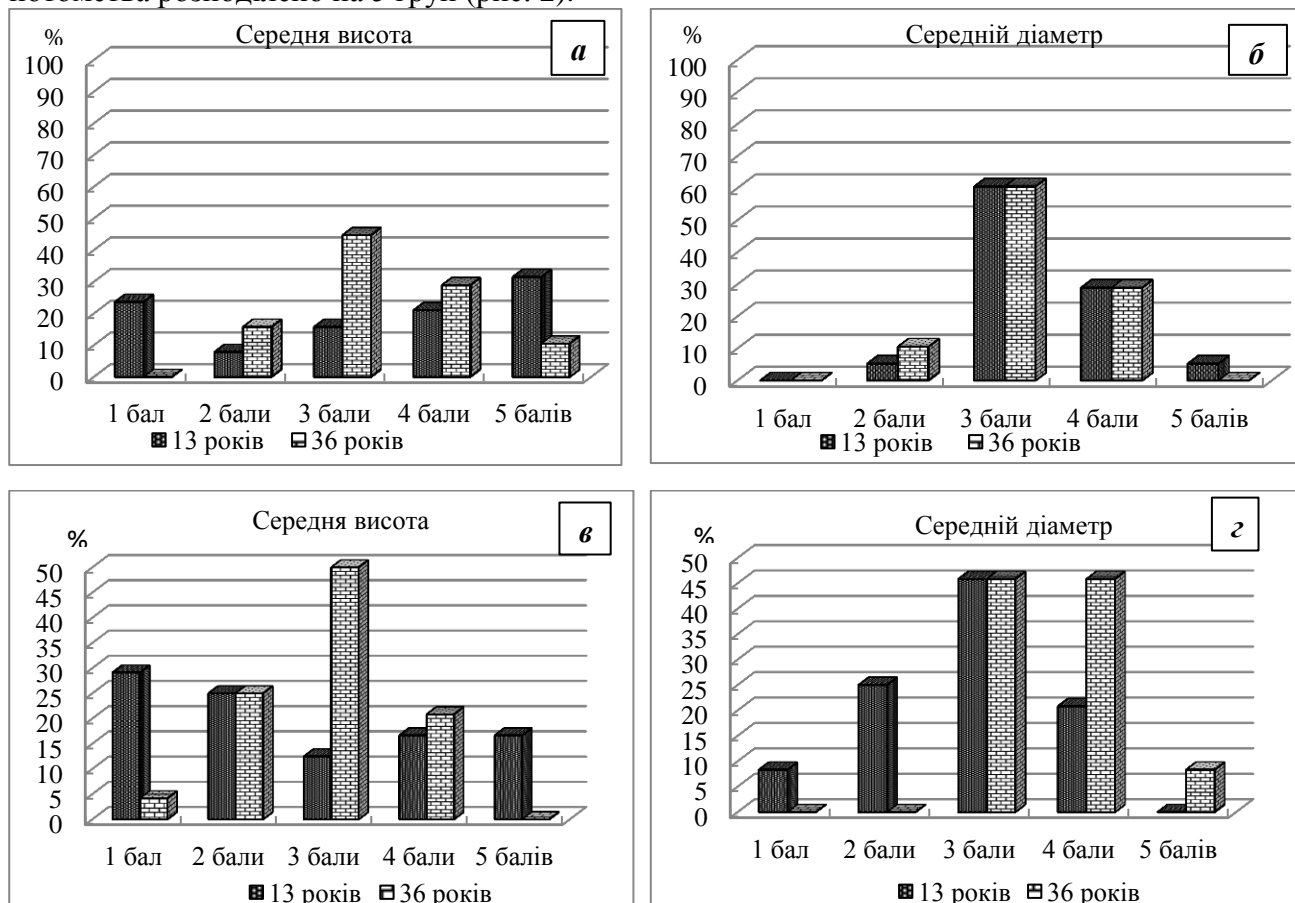


Рис. 2 – Розподіл потомств сосни звичайної за інтенсивністю росту (згідно з бальною шкалою оцінювання) на сібсовій (а, б) та півсібсовій (в, з) ділянках

У 13 років на сібсовій ділянці була наявна значна диференціація потомств за висотою: коефіцієнт варіації (CV) між варіантами – 16 %, у межах варіантів – від 4 до 32 % (в середньому 16 %). Це добре відображено на рис. 2, а, де 53 % варіантів отримали бали «4» та «5», 16 % – «3» бали, а 24 % – «1» бал. У 36-річному віці варіювання між родинами зменшилося у 3,5 разу ($CV = 5$ %), всередині родин CV знаходився у межах 1–14 % (в середньому – 7 %). Як результат – жодну родину не було оцінено найнижчим балом – «1». На рівні контролю («3» бали) росли 45 % родин, кращими за нього (бали «4» і «5») були 39 %. Таким чином, більшість потомств за висотою росли на рівні контролю або характеризувалися близькими до нього значеннями показників.

Динаміка росту потомств за діаметром на сібсовій ділянці відрізняється від такої за висотою (див. рис. 2, б). Мінливість між варіантами за зазначений період зменшилася вдвічі (з 19 до 9 %), у межах варіантів – з 29 до 20 %. Середні діаметри більшості потомств (61 %) були на рівні відповідного контролю як у 13, так і в 36 років. У старшому віці відсутні

варіанти, які за інтенсивністю росту за діаметром оцінені «1» та «5» балами відповідно. Частка родин із балом «4» становила 29 %.

На ділянці півсібсів значення CV для висоти між варіантами дорівнювало 15 % (13 років) та 5 % (36 років), у межах варіантів – у середньому 15 і 6 % відповідно. Мінливість показника до 36 років зменшилася від 17 до 9 % між родинами, від 27 до 21 % у межах варіантів. У 13 років більшість родин за висотою поступалися блоковому контролю (54 % з «1» та «2» балами) (див. рис. 2, в). Проте, як і для ділянки сібсів, надалі варіювання зменшилося – 96 % варіантів були на рівні відповідного контролю або характеризувалися близькими до нього значеннями показників («2», «3», «4» бали).

За діаметром 46 % варіантів росли на рівні відповідного контролю як у 13, так і в 36 років (див. рис. 2, г). У 36 років більше ніж половина (54 %) родин оцінені балами «4» та «5». На відміну від розподілу потомств на сібсовій ділянці, на півсібсовій були відсутні варіанти з балом «2» та наявні з балом «5». Тут також не виявлено родин, які б перевершили контроль за висотою більше ніж на 8 %, водночас за діаметром потомства В-11 і 508-І перевершили контроль варіант на 30 і 37 % відповідно.

Інтенсивність природного зрідження, визначена за часткою сухостійних і повалених дерев, під час останнього обстеження виявилася вищою, ніж під час попереднього, внаслідок припинення доглядів у культурах (рис. 3).

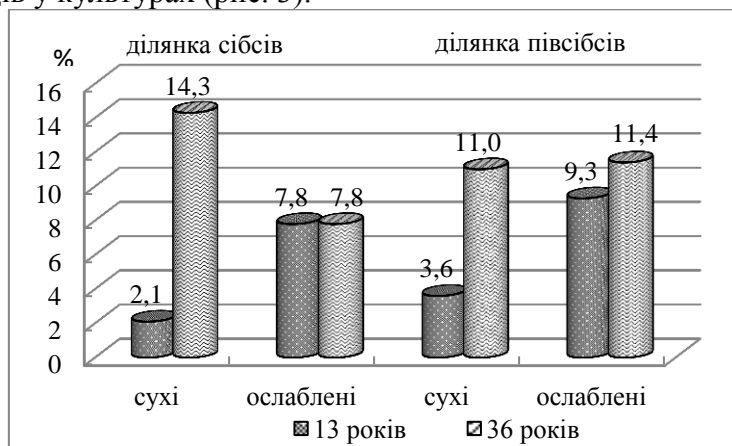


Рис. 3 – Інтенсивність природного зрідження на ділянках випробних культур сосни звичайної у 13 і 36 років

У 13 років зрідження інтенсивніше відбувалося серед півсібсових потомств. На ділянці сібсів частка сухих дерев у 36 років була на 4,3 % більшою, ніж на ділянці півсібсів. Припускаємо, що внаслідок різних схем садіння конкурентні відносини між деревами в рядах сібсів загострилися дещо пізніше, ніж для півсібсів, що призвело до відтермінування загибелі рослин на сібсовій ділянці. Крім того, сібси до 13-річного віку потерпали від кронування на 10 % більше, що в подальшому викликало відпад частини таких дерев.

Зазвичай дерева IV категорії стану з часом гинуть і випадають зі складу насадження. У більшості випадків (81,3 %) подеревний аналіз динаміки стану дерев сосни у випробних культурах це підтвердив. Водночас 12 дерев (9,0 % дерев IV категорії стану) не змінили свій стан; два дерева (1,5 %) покращили його до III категорії та 11 дерев (8,2 %) – до II категорії. Найбільшу кількість дерев, які покращили стан, виявили серед потомств ПД Б-2 – 9 екз. Крім того, зафіксовано по три таких дерева в потомствах Б-4 та М-5, по два – Ск-7, Ск-17. Виявлені факти потребують подальшого детальнішого дослідження.

Балове оцінювання стану сібсових і півсібсових потомств свідчить про дещо кращий стан варіантів у 13-річному віці на сібсовій ділянці, хоча і в 13, і в 36 років переважали варіанти задовільного стану (табл. 4).

Розподіл варіантів на ділянках сібсів та півсібсів за їхнім станом згідно з бальною шкалою оцінювання, %

Ділянка	Категорії стану сібсів, бали					Категорії стану півсібсів, бали				
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
13 років	0	0	35,5	26,7	37,8	6,5	6,5	25,8	32,3	29,0
36 років	0	2,2	64,5	33,3	0	0	3,2	61,3	35,5	0

У 13 років випробні культури не вирізнялися доброю якістю стовбурів. Майже у кожного третього дерева виявлено пошкодження верхівкових пагонів комахами, зрідка – дикими хребетними тваринами. Унаслідок цього відбулася заміна верхівок, що зумовило виникнення надалі різною мірою визначеної кривизни, пасинків, вилок, двійчаток, трійчаток тощо. Найчастіше траплялися кривизна, пасинки та вилки. Відмінності між сібсовими та півсібсовими ділянками за якісними показниками стовбурів дерев були практично відсутні, лише частка дерев з вилками та двійчатками в останніх була дещо меншою.

Майже кожне друге дерево у 13-річному віці належало до мінусових (IV селекційна категорія), проте надалі відбулося покращення якісних показників, а частка мінусових дерев зменшилася у 2,4 разу (рис. 4). У 36 років найбільш розповсюдженими вадами в культурах були кривизна та пасинки, при цьому кривих стовбурів на сібсовій ділянці виявилось на 10 % більше. Вилки в кронах (близько 20 % від кількості дерев з вадами) можуть бути наслідками як пошкодження бруньок, так і буревіїв та сніголаму, що вирували в попередні роки. Зокрема, дерев з обламаними верхівками нараховано 1,6 %, а з дугоподібними стовбурами – 3,7 % від кількості обстежених рослин.

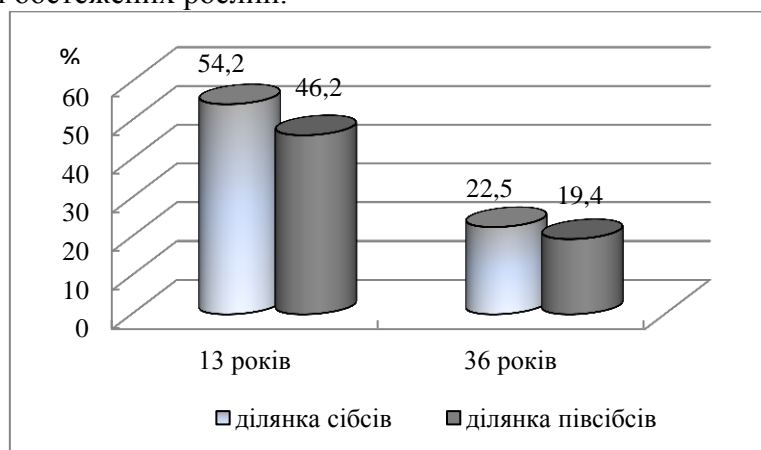


Рис. 4. –Представленість дерев IV селекційної категорії на ділянках у різному віці

Подеревний аналіз виявив, що з віком майже в половини дерев із вадами покращилася якість стовбурів. Дерев, що мали вилки та двійчатки у 13 років, до віку 36 років найчастіше трансформувалися в дерева з пасинками; дерева з пасинками – до категорії дерев із невеликою кривизною стовбура; зворотній перехід відзначено рідше: дерева з пасинками → дерева з вилками; дерева із сухим верхівковим пагоном → дерева з невеликою кривизною; дерева з нахиленою верхівкою переросли у дерева із сильною кривизною. Виразна кривизна стовбурів із віком іноді ставала слабо виявленою. Серед 24 дерев, визначених у 36 років як кандидати в плюсові, у 13 років слабку кривизну або пасинки мали 6 дерев. Враховуючи це, вважаємо, що вимоги до якості стовбурів у віці до 15 років мають бути знижені, з урахуванням ступеня та місця викривлення стовбура, товщини пасинку тощо.

Попри те, що частка мінусових дерев у 36 років зменшилася у 2,4 разу, прямостовбурних сосон виявилось небагато: в середньому для варіантів сібсової ділянки – 12,1 %, півсібсової – 13,9 % (відповідає балу «2» за шкалою оцінювання). Розподіл варіантів за часткою прямостовбурних дерев наведено на рисунку 5.

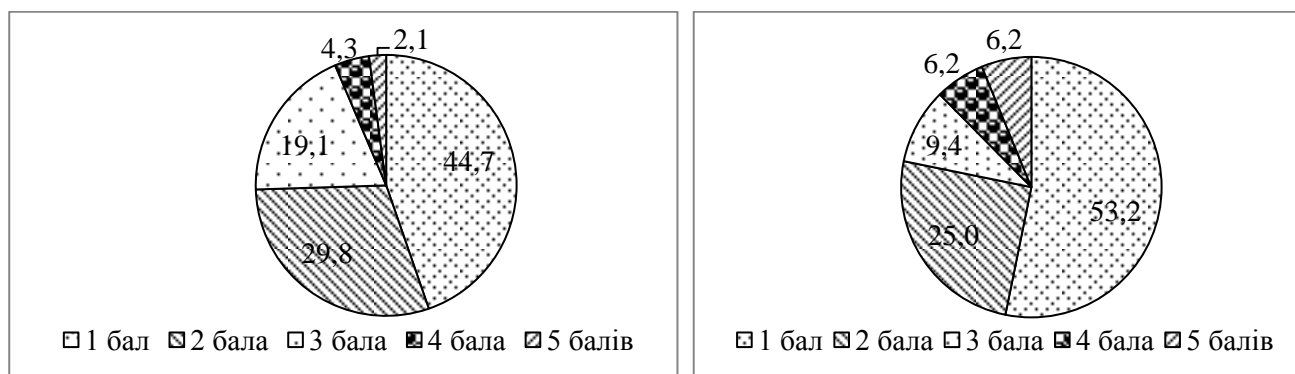


Рис. 5 – Розподіл варіантів сібсів (ліворуч) та півсібсів (праворуч) за якістю стовбурів (у балах) у віці 36 років

У більшості потомств 36-річного віку на обох ділянках частка дерев із прямими стовбурами становила до 20 %. Лише у 26 % потомств на сібсовій та у 22 % на півсібсовій ділянках частка прямоствобурних дерев перевищувала 20 %. До найкращих сібсових родин належать Ск-7×7-Г (38,5 % прямоствобурних дерев), М-2×13-Г(34,3 %) та М-2×7-Г (48,6 %). На жаль, батьківські потомства на півсібсовій ділянці не були презентовані. На ній найбільшу частку прямоствобурних дерев мали 14-М (33,3 %), 25-зд (32,8 %) та 24-зд (29,0 %). Серед контрольних варіантів прямоствобурних дерев виявилось менше ніж 10 %.

Якщо врахувати антропогенний чинник, то серед 19 півсібсових потомств найбільше від кронування потерпали три (508-І, 25-зд, 10-з), а серед сібсових – шість (Ск-19, Ск-18, Ск-7, Б-3, М-5, М-1) із 12 потомств. Це пов'язано з густішими кронами цих клонів. Садивний матеріал клонів згаданих плюсових дерев можна рекомендувати для створення плантацій новорічних ялинок.

За результатами комплексного оцінювання на ділянці сібсів малоперспективним для створення високопродуктивних і стійких насаджень є потомство Б-2×7-Г, яке оцінено 9 балами з потенційних 20. Слід зазначити, що й у 13 років варіант був серед гірших за ростом. Решта потомств увійшли до групи порівняно перспективних (10–14 балів). На ділянці півсібсів відсутні малоперспективні варіанти, найбільшою є кількість порівняно перспективних із сумою балів від 10 до 14. Найбільшою кількістю балів (15) оцінено потомство 25-зд, його віднесено до групи перспективних (якість – «5» балів, стан – «4», інтенсивність росту за діаметром – «4» та за висотою – «2» бали).

Оскільки жодне з досліджених 36-річних потомств у випробних культурах за ростовими показниками не оцінене найвищим балом (у 13 років за висотою таких було на ділянках сібсів та півсібсів 32 і 12 % відповідно, а за діаметром – 11 % на ділянці сібсів), то можна визнати певну стабілізацію ростових процесів після 30 років. Водночас відмінності за якісними показниками збереглися. Наприклад, частка дерев ІV селекційної категорії в потомстві ПД 513-І із віком майже не змінилася і становила 65,4 та 66,7% у 13 і 36 років відповідно, тоді як для інших варіантів вона зменшилася. Тому відбір за якісними ознаками у молодому віці виявився результативнішим. Збережуваність варіанта також є одним із показників, за яким можливо визначати його перспективність. Зокрема потомство ПД Б-4 вирізняється майже вдвічі кращою збережуваністю за середні показники ділянки: у 3 роки – 80,7 % від висаджених сіянців, 13 років – 64,7 %, 36 років – 44,7 %, відповідно середнє на ділянці – 41,1; 33,4 та 23,2 %. Дещо гірша збережуваність потомства Б-4 на сібсовій ділянці зумовлена крайовим розташуванням варіанта, але й тут в 36 років збереглися 38,7 % дерев. Потомство Б-4 характеризувалося також стабільно високими ростовими показниками, що свідчить про оптимальні умови для реалізації спадкових властивостей (високоповнотні деревостани). Це слід враховувати під час створення нових насаджень за участю потомства ПД Б-4. Водночас стан варіантів, як згадувалося вище, залежить від низки абіотичних та біотичних чинників.

Висновки. Випробні культури сосни звичайної за критерієм конкурентної напруги K_2 у 36-річному віці не є перегущеними, але наближаються до такого стану. Завдяки вільнішому розміщенню сіянців на сібсовій ділянці випробних культур збережуваність дерев на ній у 36 років залишилася кращою (36,7 %), ніж на півсібсовій (23,2 %). Інтенсивність природного зрідження у віці 36 років виявилася помірною – більшою за 10 %.

Певні переваги півсібсів за інтенсивністю росту, які були зазначені в 13-річному віці, у віці 36 років не виявлені. Диференціація варіантів за ростовими показниками з віком також зменшилася. Інтенсивність росту більшості потомств у віці 36 років не відрізнялася від контролю; за висотою перевершили контроль 36 % родин сібсів і 21 % півсібсів, за діаметром – 29 та 54 %. відповідно. Виявлено зв'язок середньої (ділянка півсібсів) та високої (ділянка сібсів) сили між висотами потомств у віці 13 та 36 років і слабкої та дуже слабкої – між діаметрами.

Стан більшості варіантів визнано задовільним. З-поміж загальної кількості дерев, які в 13-річному віці характеризувалися показниками IV категорії стану, близько 9 % у 36 років покращили стан. За цей період частка мінусових дерев зменшилася у 2,4 разу, що свідчить про доцільність зниження вимог до якості стовбурів у віці до 15 років.

Відбір за якісними показниками у 36 років виявився результативнішим від відбору за ростовими показниками. Відзначено 9 плюсових дерев, перспективних для створення плантацій новорічних ялинок. Завдяки добрій збережуваності та стабільно високим ростовим показникам рекомендовано використовувати живці плюсового дерева Б-4 для створення КНП II рівня, а його потомство – для створення в умовах свіжого субору продуктивних високоповнотних деревостанів.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Abrahamsson, S., Nilsson, J.-E., Wu, H., Gil, M. R. G., Andersson, B. 2012. Inheritance of height growth and autumn cold hardiness based on two generations of full-sib and half-sib families of *Pinus sylvestris*. Scandinavian Journal of Forest Research, 27(5): 405–413. <https://doi.org/10.1080/02827581.2012.663403>
- Andreieva, V. V. 2010. Forestry and breeding assessment of Scots pine half-sibs and sibs progenies in the conditions of Western Polissya. Extended abstract of PhD dissertation. Lviv, 20 p. (in Ukrainian).
- Andreieva, V., Voitiuk, V., Kychyliuk, O., Hetmanchuk, A. 2020. Forest-selection evaluation of half-sibs posterities of Scots pine in Volyn region. Lesia Ukrainka Eastern European National University Scientific Bulletin. Series: Biological Sciences, 2 (390): 8–15 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2020-390-2-8-15>
- Chmura, D. J., Rozkowski, R., Chalupka W. 2012. Growth and phenology variation in progeny of Scots pine seed orchards and commercial seed stands. Eur. J. Forest Res., 131: 1229–1243. <https://doi.org/10.1007/s10342-012-0594-9>
- Fundova, I., Hallingbäck, H. R., Jansson, G., Wu, H. X. 2020. Genetic improvement of sawn-board shape stability in Scots pine (*Pinus sylvestris* L.). Industrial Crops and Products, 157: 112939. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2020.112939>
- Hong, Zh., Fries, A., Wu, H. X. 2014. High negative genetic correlations between growth traits and wood properties suggest incorporating multiple traits selection including economic weights for the future Scots pine breeding programs. Annals of Forest Science, 71: 463–472. <https://doi.org/10.1007/s13595-014-0359-3>
- Jansons, Ā., Baumanis, I., Haapanen, M. 2009. Branch traits as selection criteria in Scots pine breeding in Latvia. [Electronic resource]. LLU Raksti, 23(208): 45–56. Available at: <https://lufb.llu.lv/proceedings/n23/5/LLU-raksti-nr23-45-56.pdf> (accessed 02.11.2022).
- Krynytskyy, G. T., Zaika, W. K., Gout, R. T. 2006a. Growth and productivity of half-sibs offspring of Scots pine. Scientific Bulletin of UNFU, 16(3): 52–58 (in Ukrainian).
- Krynytskyy, G. T., Zaika, W. K., Gout, R. T. 2006b. The growth dynamics of Scots pine (*P. sylvestris*) half-sibs offspring in Lviv Roztochya. Scientific Bulletin of UNFU, 16(2): 9–12 (in Ukrainian).
- Mamaev, S. A. 1973. Forms of intraspecific variability of woody plants (on the example of the *Pinaceae* family in the Urals). Moscow, Nauka, 283 p. (in Russian).
- Methods of forest trees varietal testing. Departmental test (New Edition). 2019. [Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Torosova, L.O., Gaida, Y. I., Vysotska, N. Yu. et al.]. Kharkiv, URIFFM, 37 p. (in Ukrainian).
- Raevsky, B. V., Kuklina, K. K., Shchurova, M. L. 2020. Breeding and genetic evaluation of Scots pine plus trees in Karelia. Proceedings of the Karelian Scientific Center of the RAS, 3: 45–59 (in Russian). <http://dx.doi.org/10.17076/eb1163>
- Razin, G. S. 1988. Growth models of different density spruce stands. Forest Science, 2: 41–47 (in Russian).

Tereshchenko, L. I. 2004. The clone of Scots pine seed progenies growth and stem quality in the different years creation test trials. *Forestry and Forest Melioration*, 107: 182–188 (in Ukrainian).

Turkin, A. A. 2007. Testing of the offspring of plus trees of Scots pine (on the example of the Komi Republic). Extended abstract of PhD dissertation. Arkhangelsk, 19 p. (in Russian).

Volosyanchuk, R. T., Los, S. A., Torosova, L. O., Kuznecova, T. L., Tereshchenko, L. I., Neyko, I. S., Grygoryeva, V. G. 2003. Methodological approaches to the estimation of gene pool conservation *in situ* units of the broadleaves tree species and their actual conditions in the Left-bank forest steppe of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 104: 50–57 (in Ukrainian).

Zhelev, P. and Evtimov, I. 2017. Diameter growth and survival of local half-sib families of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Yundola, Bulgaria. *Genetika*, 49(3): 819–829. <https://doi.org/10.2298/GENSR1703819Z>

Tereshchenko L. I., Los S. A., Gubin E. A.

FEATURES OF THE DEVELOPMENT OF SCOTS PINE PLUS TREE PROGENIES OVER A 36-YEAR PERIOD IN THE ZADONETSKE FORESTRY IN KHARKIV REGION

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

Investigation of the plus tree progenies growth and their development characteristics over time will contribute to a better understanding of the hereditary component of phenotype-selected trees and to the improvement of methodical approaches to their evaluation. The aim of the research was to analyse the growth dynamics of the full-sibs and half-sibs offspring of Scots pine plus trees during a 36-year period in the progeny test in the Zadonetske Forestry in the Zmiyiv Forest State Enterprise in Kharkiv region. The differentiation of the progenies according to growth indicators at the age of 13 was greater than at the age of 36. Most of the progenies at the age of 36 years grew at the control level; however, the proportion of the families with higher points than in the control was 15% greater (36%) in height, and 25% less (29%) in diameter in the sib plot than in the half-sib plot. At the age of 36 years, the proportion of minus trees in the variants decreased by 2.4 times. In the study, promising plus trees have been identified. The authors have proposed to reduce the requirements for the quality of trunks under the age of 15 years.

Key words: *Pinus sylvestris*, progeny test, half-sib families, sib families, survival rate, tree growth rate, stem quality, tree condition.

E-mail: larisa_tereshchenko@ukr.net; svitlana_los@ukr.net

Одержано редколегією 21.11.2022

ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ,
ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ

УДК 630.232.32 : 630.232.4

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.79>



О. М. ДАНИЛЕНКО¹, М. Г. РУМ'ЯНЦЕВ², П. Б. ТАРНОПІЛЬСЬКИЙ², В. С. ЮЩИК²,
А. А. МОСТЕПАНЮК¹

**ОСОБЛИВОСТІ РОСТУ ШТУЧНИХ ДУБОВИХ МОЛОДНЯКІВ,
СТВОРЕНИХ СІЯНЦЯМИ ІЗ ЗАКРИТОЮ КОРЕНЕВОЮ СИСТЕМОЮ,
В ДП «ХАРКІВСЬКА ЛНДС»**

¹Державне підприємство «Харківська лісова науково-дослідна станція»

²Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Наведено таксаційні показники штучних дубових молодняків, створених сіянцями із закритою кореневою системою, в лісовому фонді державного підприємства «Харківська лісова науково-дослідна станція». Виявлено, що дуб звичайний (*Quercus robur* L.) у складі молодняків, створених сіянцями, під час вирощування яких застосовували методи інтенсифікації (кореневе підживлення добривами і внесення до ґрунтової суміші мікробних препаратів та суперабсорбентів), росте краще, порівнюючи з контролем (молодняками, створеними сіянцями без застосування підживлення добривами і внесення до ґрунтової суміші мікробних препаратів та суперабсорбентів). Сіянці дуба вирощували в умовах закритого і відкритого ґрунту в контейнерах з агроволокна на субстраті, що складався із суміші темно-сірого середньосуглинкового ґрунту й торфу у співвідношенні за об'ємом 3 : 1. Виявлено, що застосовані методи інтенсифікації росту сіянців позитивно вплинули на приживлюваність висаджених рослин на лісокультурній площі і подальший успішний ріст у культурах. Водночас із віком різниці між варіантами досліду зменшувалися.

Ключові слова: дуб звичайний (*Quercus robur* L.), умови вирощування сіянців, добрива, суперабсорбенти, таксаційні показники.

Вступ. У Лівобережному Лісостепу України серед способів відтворення дубових лісів (природного, штучного або комбінованого) і надалі переважає штучний (створення лісових культур). Успішність штучного лісовідновлення багато в чому залежить від виду та якості садивного матеріалу (Luk'yanets et al. 2022). Останніми роками зберігається тенденція до збільшення обсягів вирощування садивного матеріалу із закритою кореневою системою (ЗКС), зокрема дуба звичайного (*Quercus robur* L.) (Rumiantsev et al. 2022), який в умовах Лівобережного Лісостепу є найпоширенішою головною лісоутворювальною породою (Tkach et al. 2019). Щорічні обсяги лісовідновлення дубових насаджень на підприємствах, підпорядкованих Державному агентству лісових ресурсів України, в середньому сягають 6,3 тис. га на рік (Danylenko et al. 2021a).

Впровадження новітніх технологій лісовідновлення й лісорозведення, які б забезпечили ефективне створення та вирощування високопродуктивних і біологічно стійких штучних насаджень різного цільового призначення, зокрема дубових, передбачає використання садивного матеріалу із ЗКС (Tarnopil'skyi et al. 2016). Багато дослідників (Brodovych et al. 2001, Borysova 2008, Uharov et al. 2012, Yavorovskiy & Segeda 2015, 2016, Andreeva et al. 2016, Gupal 2016, Segeda 2016, Tarnopil'skyi et al. 2016, Tovstukha et al. 2017, Lialin et al. 2020, Danylenko et al. 2021a, 2021b, Luk'yanets et al. 2022) відзначали низку переваг у вирощуванні садивного матеріалу із ЗКС та створенні ним лісових культур, зокрема: ефективне використання покращеного насіння (зібраного із об'єктів постійної лісонасінної бази); цілеспрямоване управління процесом росту завдяки легкодоступності внесення під кожен сіянець різних стимуляторів росту, добрив тощо для оптимізації співвідношення надземної та підземної частин рослин; можливість вирощування впродовж вегетаційного періоду 2–3 ротацій високоякісного садивного матеріалу; подовження строків садіння лісових культур (можливе садіння впродовж усього вегетаційного періоду); максимальне збереження кореневої системи під час пересаджування; відсутність потреби в доповненні таких культур завдяки високій приживлюваності (на рівні 95–100 %) та успішній конкуренції із небажаною трав'яною та чагарниковою рослинністю в перші роки після садіння.

Переваги у використанні сіянців дуба із ЗКС (вищі показники приживлюваності культур у 1–3-річному віці та збережуваності дуба у старшому віці; вищі таксаційні показники дуба в молодняках до 10 років та кращий санітарний його стан) проти інших видів садивного матеріалу під час штучного лісовідновлення для умов Правобережного Лісостепу були відзначені П. П. Яворовським та Ю. Ю. Сегедою (Yavorovskiy & Segeda 2015, 2016, Segeda 2016), а для Лівобережного Лісостепу – О. І. Ляліним, П. Б. Тарнопільським, О. В. Товстухою, В. А. Лук'янцем та іншими (Lialin 2014a, 2014b, Tarnopilskiy et al. 2016, Tovstukha et al. 2017, Luk'yanets et al. 2022).

Про кращу приживлюваність сіянців дуба червоного (*Quercus rubra* L.) із ЗКС, вирощених у пластикових контейнерах, проти сіянців із відкритою кореневою системою (ВКС), висаджених на лісокультурну площу (100 % проти 75 %), та більшу енергію росту за висотою в перші роки свідчать результати досліджень у штаті Онтаріо (Канада) (Wilson et al. 2007) та на сході США (Woolery & Jacobs 2014). Аналогічні результати отримані з дубом болотяним (*Quercus palustris* Münchh) і дубом двоколірним (*Quercus bicolor* Willd.) у заплаві річки Міссісіпі (Schweitzer & Stanturf 1997, Stanturf et al. 1998, Dey et al. 2006).

У Європі через більш сприятливі кліматичні умови та особливості ведення лісового господарства в дубових лісах (орієнтування на їхнє відновлення природним насінним шляхом чи створення штучних насаджень висіванням жолудів) питання відтворення штучним способом, зокрема шляхом садіння сіянців із ВКС і ЗКС, є менш актуальним (Leverkus et al. 2021).

Водночас технологічні особливості вирощування штучних дубових насаджень сіянцями із ЗКС ще недостатньо опрацьовані. Майже відсутні дані щодо особливостей росту штучних дубових молодняків, створених сіянцями із ЗКС, під час вирощування яких застосовували різні методи інтенсифікації їхнього росту, або вони обмежені віком культур на момент їхнього змикання і переведення ділянок у вкриті лісовою рослинністю землі. Саме ці обставини й зумовили актуальність проведених досліджень.

Мета дослідження – порівняти основні таксаційні показники та санітарний стан 12-річних штучних дубових молодняків, створених сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними в умовах відкритого й закритого ґрунту, із кореневим підживленням різними добривами і внесенням до ґрунтової суміші мікробних препаратів та суперабсорбентів для інтенсифікації їхнього росту.

Матеріали й методи. Дослідження проводили на стаціонарному багатоваріантному дослідному об'єкті, закладеному восени 2008 р. сіянцями дуба із ЗКС, у виділі 1 кварталу 120 Південного лісництва ДП «Харківська ЛНДС» (до 2015 р. – Данилівський ДДЛГ). Категорія лісокультурної площі – свіжий зруб, тип лісу – свіжа кленово-липова діброва, площа ділянки – 2 га. Дослід закладено науковцями УкрНДЛГА (канд. с.-г. наук, с. н. с. В. В. Борисовою, канд. с.-г. наук, пров. н. с. В. М. Угаровим та н. с. В. В. Фатєєвим) у ході виконання науково-дослідних робіт за темою № 10 «Вдосконалити сучасні методи лісовідновлення в основних типах рівнинних лісів України з метою вдосконалення їх лісівничо-екологічної та агротехнічної ефективності» (To improve the modern methods of reforestation 2008).

Сіянці дуба із ЗКС вирощено в умовах відкритого й закритого (теплиця з поліетиленовим покриттям) ґрунту в теплично-розсадницькому відділенні селекційно-насінницького комплексу Південного лісництва (ДП «Харківська ЛНДС») у 2008 р. за методикою УкрНДЛГА (Uharov et al. 2012). Для вирощування сіянців дуба використовували циліндричні контейнери з агроволокна, що мали такі розміри: висота – 28 см, діаметр – 8 см, об'єм – 1 407 см³. Склад субстрату для заповнення контейнерів – суміш темно-сірого середньосуглинкового ґрунту, заготовленого в умовах свіжої діброви, і торфу перехідного типу фрезерної заготівлі у співвідношенні за об'ємом 3 : 1.

Під час вирощування сіянців дуба постійно підтримували мікроклімат теплиці на відповідному рівні: температуру повітря в межах 20–25°C, температуру ґрунту – на 2–3°C

нижчу за температуру повітря; вологість повітря – 75–85 %; вологість ґрунту – 25–30 %. У середині липня, коли в сіянців вже сформувалися два прирости, плівкове покриття теплиці було знято з метою загартування сіянців – адаптації до умов навколишнього природного середовища.

Упродовж вегетаційного періоду в умовах як відкритого, так і закритого ґрунту застосовували різні методи інтенсифікації росту сіянців, зокрема прикоренеve підживлення (полив) різними добривами та внесення до ґрунтової суміші мікробних препаратів і суперабсорбентів:

- трикратний полив мікробіологічним добривом «Байкал» у концентраціях 50 і 100 мл/10 л води;
- трикратний полив універсальним органічним біогумусним концентрованим добривом «Гумісол» у концентрації 50 мл/10 л води;
- внесення до ґрунтової суміші мікробного препарату (концентрат міцелію мікоризних грибів *Boletus edulis*) безпосередньо перед садінням у концентраціях 1 і 2 мл/контейнер;
- внесення до ґрунтової суміші суперабсорбента «Теравет-400» у концентрації 1 і 2 г/контейнер.

Закладено 10 варіантів дослідів щодо інтенсифікації росту сіянців – по 5 варіантів для умов відкритого і закритого ґрунту. У кожному варіанті трикратного підживлення сіянців шляхом поливу використано по 90 л розчину. У кожному із дослідних варіантів вирощено по 400 сіянців дуба (загалом 4,0 тис. шт.) без урахування контрольного варіанту – сіянців, вирощених в умовах відкритого ґрунту без застосування методів інтенсифікації.

Вирощеним садивним матеріалом восени 2008 р. створено дослідні культури дуба звичайного. Загалом закладено 11 варіантів дослідних культур (з урахуванням контрольного), 6 із яких – сіянцями, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, а саме:

- сіянцями, вирощеними на субстраті без застосування методів інтенсифікації росту, які слугували контрольним варіантом (К);
- сіянцями, вирощеними на чистому за складом субстраті, із внесенням до ґрунтової суміші мікробного препарату (концентрат міцелію мікоризних грибів *Boletus edulis*) безпосередньо перед садінням 1 мл/контейнер (М1-ВГ) і 2 мл/контейнер (М2-ВГ);
- сіянцями, вирощеними з трикратним поливом універсальним органічним біогумусним концентрованим добривом «Гумісол» у концентрації 50 мл/10 л води (Гумісол-ВГ);
- сіянцями, вирощеними з трикратним поливом мікробіологічним добривом «Байкал» у концентраціях 50 мл/10 л води (Байкал50-ВГ) і 100 мл/10 л води (Байкал100-ВГ).

Садивним матеріалом, вирощеним в умовах закритого ґрунту, закладено 5 варіантів дослідних культур, а саме:

- сіянцями, вирощеними на чистому за складом субстраті, із внесенням до ґрунтової суміші мікробного препарату (концентрат міцелію мікоризних грибів *Boletus edulis*) безпосередньо перед садінням у концентрації 1 мл/контейнер (М1-ЗГ);
- сіянцями, вирощеними з трикратним поливом мікробіологічним добривом «Байкал» у концентрації 50 мл/10 л води (Байкал50-ЗГ);
- сіянцями, вирощеними з трикратним поливом універсальним органічним біогумусним концентрованим добривом «Гумісол» у концентрації 50 мл/10 л води (Гумісол-ЗГ);
- сіянцями, вирощеними з внесенням до ґрунтової суміші суперабсорбента «Теравет-400» у концентраціях 1 г/контейнер (Теравет1-ЗГ) і 2 г/контейнер (Теравет2-ЗГ).

У кожному з дослідних варіантів висаджено не менше ніж 200 сіянців дуба. Садіння сіянців на лісокультурну площу проводили вручну за допомогою мотобура. Схема розміщення садивних місць 5,0 × 0,5–0,7 м із початковою густотою 2860–4000 шт.га⁻¹. Догляд за культурами проводили до моменту переведення ділянок у вкриті лісовою рослинністю землі (у віці 5 років). Кількість проведених ручних доглядів у рядах – 12, із них у перший рік вирощування – три, у другий – чотири, у третій – три, у четвертий та п'ятий роки – по одному догляду. Кількість проведених механізованих доглядів у міжряддях –

п'ять, по одному разу на рік. Освітлення у сформованих молодняках не проводили, а прочищення проведено в 2020 р. – у віці 12 років.

Біометричні показники сіянців дуба звичайного за результатами попередніх досліджень (Tarnopil'skyi et al. 2016) наведено у табл. 1.

Таблиця 1

**Біометричні показники сіянців дуба звичайного із ЗКС,
вирощених в умовах відкритого й закритого ґрунту, в 2008 р. (за Tarnopil'skyi et al. 2016)**

Дослідні варіанти	Висота, см			Діаметр, см		
	$M \pm m$	До контролю, %	t_{ϕ}	$M \pm m$	До контролю, %	t_{ϕ}
Сіянці дуба звичайного із ЗКС, вирощені в умовах відкритого ґрунту						
К	12,0 ± 0,39	100	–	3,2 ± 0,07	100	–
Гумісол-ВГ	14,3 ± 0,38	119	4,22	3,8 ± 0,08	119	5,64
Байкал50-ВГ	12,9 ± 0,36	108	1,70	3,4 ± 0,08	106	1,88
Байкал100-ВГ	13,1 ± 0,40	109	1,97	3,4 ± 0,07	106	2,02
Сіянці дуба звичайного із ЗКС, вирощені в умовах закритого ґрунту						
К	15,3 ± 0,89	100	–	3,3 ± 0,08	100	–
Байкал50-ЗГ	18,3 ± 0,64	120	2,74	3,7 ± 0,14	112	2,48
Гумісол-ЗГ	19,9 ± 0,82	130	3,80	3,8 ± 0,12	115	3,47
Теравет1-ЗГ	17,4 ± 0,73	114	1,82	3,6 ± 0,10	109	2,34
Теравет2-ЗГ	17,6 ± 0,72	115	2,01	3,8 ± 0,12	115	3,47

Примітка. $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартне відхилення; t_{ϕ} – t -критерій Стьюдента, % (перевищення вимірюваного показника проти контролю у відсотках) ($t_{0,01} = 2,69$; $t_{0,05} = 2,01$).

Визначення таксаційних показників штучних дубових молодняків та їхній аналіз виконано за загальноприйнятими в лісівництві, лісовідновленні й лісовій таксації методиками та нормативними матеріалами (Kobranov 1973, Forest inventory sample plots 2007, Hrom 2010).

Попередні обліки проведено у віці культур 1, 3, 4, 6, 7 і 8 років. На момент проведення останнього обліку (вересень 2020 р.) вік дубових молодняків становив 12 років. У кожному із дослідних варіантів і на контролі проведено обміри основних таксаційних показників (висоти й діаметра) та визначено санітарний стан у 100 рослин. Проведено аналогічні обміри основних таксаційних показників і визначено санітарний стан у штучних дубових молодняках віком 12 років, створених сіянцями із ВКС, що є найбільш поширеним методом лісовідновлення в лісовому фонді Лівобережного Лісостепу, зокрема в ДП «Харківська ЛНДС».

Висоту дуба вимірювали рейкою з точністю до 0,1 м, діаметр – штангенциркулем на висоті 1,3 м із точністю до 1 мм. Санітарний стан дуба оцінювали відповідно до «Санітарних правил у лісах України» (Sanitary Forests Regulations in Ukraine 2016).

Середній індекс стану (I_c) насаджень визначено діленням суми добутків кількості дерев кожної категорії стану на загальну кількість дерев у переліку. Рівень пошкодження насадження визначали за індексом стану відповідно до таблиці 2 (Monitoring and increasing 2011).

Таблиця 2

Шкала визначення стану насадження та ступеня його пошкодження

Індекс стану I_c	Насадження за станом	Рівень пошкодження
1,00–1,50	Здорове	Відсутнє
1,51–2,50	Ослаблене	Слабке
2,51–3,50	Сильно ослаблене	Середнє
3,51–4,50	Всихаюче	Сильне
4,51–5,00	Загибле	Дуже сильне

Для оцінювання й порівняння особливостей та інтенсивності росту молодняків за різної початкової середньої висоти сіянців розраховано середній приріст за 12-річний період росту насаджень за формулою (1):

$$Z_{\text{сер}} = H / A, \quad (1)$$

де $Z_{\text{сер}}$ – середній поточний приріст, см;

H – висота дуба у відповідному варіанті, см;

A – вік насадження, років.

Одержані дані обробляли методами варіаційної статистики (Lakin 1990) за допомогою пакету програм MS Excel. Достовірність різниці між контролем і дослідними варіантами перевіряли на 5 і 1 % рівнях значущості (Larash et al. 2001).

Результати та обговорення. Результати досліджень, проведених у 2020 р., свідчать, що середня висота дуба в складі молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, становила 4,7–5,4 м, а сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, – 5,2–5,4 м (табл. 3).

Таблиця 3

Середні таксаційні показники 12-річних штучних дубових молодняків, створених сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними із застосуванням різних методів інтенсифікації росту

Дослідні варіанти	Висота, м			Діаметр, мм		
	$M \pm m$	t_{ϕ}	До контролю, %	$M \pm m$	t_{ϕ}	До контролю, %
Молодняки, створені сіянцями дуба із ЗКС, вирощених в умовах відкритого ґрунту						
К	4,7 ± 0,13	–	100	40 ± 2,31	–	100
М1-ВГ	5,3 ± 0,08	3,38	113	48 ± 2,28	2,56	121
М2-ВГ	5,4 ± 0,13	3,43	115	49 ± 2,34	2,89	124
Гумісол-ВГ	5,4 ± 0,11	3,62	115	50 ± 2,01	3,50	127
Байкал50-ВГ	5,4 ± 0,10	3,53	114	48 ± 1,93	2,80	121
Байкал100-ВГ	4,9 ± 0,05	1,37	105	44 ± 1,67	1,59	111
Молодняки, створені сіянцями дуба із ЗКС, вирощених в умовах закритого ґрунту						
М1-ЗГ	5,4 ± 0,09	3,90	115	51 ± 2,45	3,46	129
Байкал50-ЗГ	5,2 ± 0,08	2,89	111	50 ± 1,85	3,53	126
Гумісол-ЗГ	5,4 ± 0,10	3,81	115	48 ± 2,23	2,58	121
Теравет1-ЗГ	5,3 ± 0,07	3,41	113	47 ± 1,74	2,56	119
Теравет2-ЗГ	5,3 ± 0,08	3,37	113	46 ± 1,69	2,20	116
ВКС	4,6 ± 0,10	-0,65	97	32 ± 1,30	-2,83	80

Примітка: $M \pm m$ – середнє значення вимірюваного показника та його стандартне відхилення; t_{ϕ} – t-критерій Ст'юдента, % (перевищення вимірюваного показника проти контролю у відсотках) ($t_{0,01} = 2,69$; $t_{0,05} = 2,01$).

Різниця за висотою дослідних варіантів молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, проти контролю (молодняків, створених сіянцями із ЗКС, без застосування методів інтенсифікації росту) у відносних показниках становила 5–15 %, а дослідних варіантів молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, 11–15 %.

Найбільше середнє значення висоти дуба (5,4 м) у молодняках, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, відзначено у варіантах «М2-ВГ», «Гумісол-ВГ» і «Байкал50-ВГ», а найменше (4,9 м) – у варіанті «Байкал100-ВГ». Серед молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, найбільше середнє значення висоти дуба (5,4 м) відзначено у варіантах «М1-ЗГ» і «Гумісол-ЗГ», а найменше (5,2 м) – у варіанті «Байкал50-ЗГ». Різниця за висотою між всіма дослідними варіантами й контролем була статистично значущою при $p = 0,05$, за винятком «Байкал100-ВГ», де ця різниця була статистично незначущою при $p = 0,05$.

Середній діаметр дуба в складі молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, становив 40–50 мм, а сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, – 46–51 мм (див. табл. 3).

Різниця за діаметром дослідних варіантів молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, з контролем у відносних показниках становила 11–27 %, а дослідних варіантів молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, 16–29 %.

Найбільше середнє значення діаметра дуба (50 мм) у молодняках, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, відзначено у варіанті, «Гумісол-ВГ», а найменше (44 мм) – у варіанті «Байкал100-ВГ». Серед молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, найбільше середнє значення діаметра дуба (51 мм) відзначено у варіанті «М1-ЗГ», а найменше (46 мм) – у варіанті «Теравет2-ЗГ». Різниця за діаметром між всіма дослідними варіантами і контролем була статистично значущою при $p = 0,05$, за винятком «Байкал100-ВГ», де ця різниця була статистично незначущою при $p = 0,05$.

Дещо вищі значення середніх таксаційних показників дуба в складі молодняків, створених сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах закритого ґрунту, як порівняти з молодняками, створеними сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту, пов'язані з позитивним впливом мікрокліматичних умов контрольованого середовища (поліетиленова теплиця), де завдяки оптимальному співвідношенню тепла й вологи було створено кращі умови для росту сіянців із використанням різних методів інтенсифікації їхнього росту. Зазначене свідчить, що підтримання оптимального мікроклімату теплиці є домінантним чинником під час вирощування садивного матеріалу головних лісоутворювальних порід для потреб лісовідновлення та лісорозведення.

Успішніший «стартовий» ріст сіянців, вирощених в умовах закритого ґрунту, сприяв також кращій приживлюваності висаджених рослин на лісокультурній площі та подальшому успішному росту дуба в культурах до моменту переведення ділянок у вкриті лісовою рослинністю землі (Tarnopilskyi et al. 2016). І, як видно із результатів проведених досліджень, ця тенденція збереглася і в 12-річному віці.

Дуб у складі молодняків, створених сіянцями із ВКС, за висотою поступався контролю на 3 %, а за діаметром – на 20 %. Причому за висотою ця різниця була незначущою при $p = 0,05$, а за діаметром – значущою при $p = 0,05$ (див. табл. 3).

За результатами проведених обліків у 12-річних молодняках виявлено доволі високу збережаність дуба, яка становила 90–95 % залежно від варіанту (рис. 1). Нині відбувається змикання намету також у міжряддях (рис. 2). Це зумовило призначення рубки догляду – прочищення, яку планували провести в жовтні 2020 р.

Відстань між садивними місцями в ряду на час садіння становила 0,5–0,7 м (нині крок садіння лісових культур дуба із ЗКС у ДП «Харківська ЛНДС» становить 1 м). Це призвело до збільшення конкуренції між рослинами за елементи мінерального живлення й вологу, що у посушливий рік (2020 р.) спричинило погіршення санітарного стану насаджень.

Дубові молодняки на всіх дослідних варіантах за санітарним станом характеризувалися як «ослаблені» (середній індекс стану насаджень $I_c = 1,77–2,06$). Найгірший стан мав молодняк, створений сіянцями із ВКС ($I_c = 2,23$) (табл. 4). Найбільшу частку дубків I категорії санітарного стану («без ознак ослаблення») обліковано у варіанті «Гумісол-ВГ» – 40 % від загальної кількості, а найменшу (11 %) – у варіантах «Байкал100-ВГ» і «Теравет2-ЗГ». Частка дубків другої категорії санітарного стану («ослаблені») становила 43–83 % залежно від варіанту, а третьої категорії («сильно ослаблені») – 6–17 % від загальної кількості. Частка дубків першої категорії в молодняку, створеному сіянцями із ВКС, становила 11 % від загальної кількості, другої категорії – 55 %, третьої категорії – 34 %. Загалом застосовані

методи інтенсифікації росту сіянців помітно не вплинули на санітарний стан дубових молодняків.



Рис. 1 – Збереженість дуба звичайного в складі 12-річних молодняків на контрольному варіанті

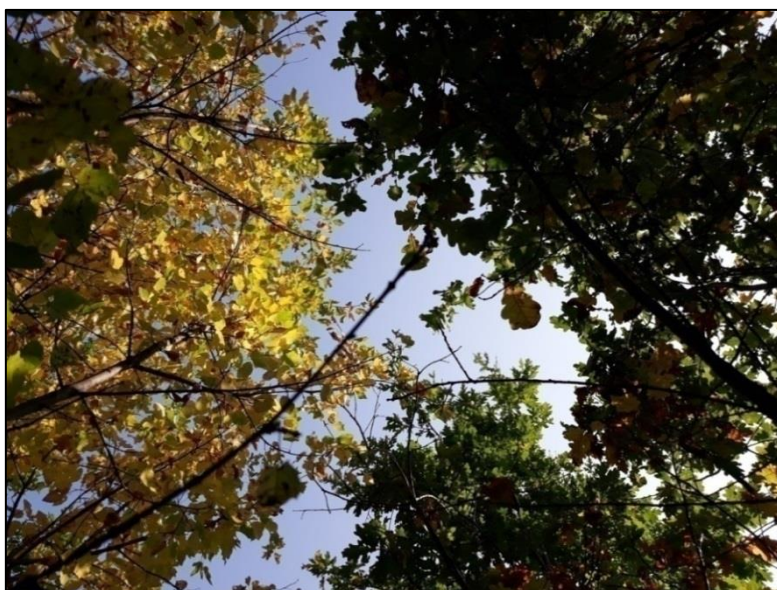


Рис. 2 – Зімкненість намету у 12-річних молодняках на контрольному варіанті

Значення середнього приросту за висотою за 12-річний період росту насаджень залежно від варіанту становило 41–45 см (рис. 3). Всі дослідні варіанти перевершували контроль (39 см) за цим показником, перевищення становило 5–15 %. Різниця за величиною середнього приросту між варіантами, створеними сіянцями із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого і закритого ґрунту, є статистично незначущою при $p = 0,05$ (до 5 %), за винятком варіанту «Байкал100-ВГ», де ця різниця є статистично значущою при $p = 0,05$ (9 %). Значення середнього приросту за висотою в насаджень, створених сіянцями із ВКС, було нижчим за контроль на 3 % (різниця є статистично незначущою при $p = 0,05$), а за дослідні варіанти – на 8–18 % (різниця є статистично значущою при $p = 0,05$) Це свідчить про те, що насадження, створені сіянцями із ЗКС, навіть у 12-річному віці зберігають вищу енергію росту, ніж насадження, що були створені сіянцями із ВКС. Ці особливості необхідно враховувати під

час вибору садивного матеріалу для доповнення створюваних лісових культур, зокрема використовувати для цього сіянці із ЗКС.

Таблиця 4

Розподіл дуба звичайного за категоріями санітарного стану та середній індекс стану (I_c) у 12-річних штучних дубових молодняках, створених сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними із застосуванням різних методів інтенсифікації росту

Дослідний варіант	Категорія санітарного стану, %						Разом	I_c
	1	2	3	4	5	6		
Молодняки, створені сіянцями дуба із ЗКС, вирощеними в умовах відкритого ґрунту								
К	20	71	9	–	–	–	100	1,89
М1-ВГ	17	66	17	–	–	–	100	2,00
М2-ВГ	28	56	16	–	–	–	100	1,88
Гумісол-ВГ	40	43	17	–	–	–	100	1,77
Байкал50-ВГ	29	54	17	–	–	–	100	1,88
Байкал100-ВГ	11	72	17	–	–	–	100	2,06
Молодняки, створені сіянцями дуба із ЗКС, вирощених в умовах відкритого ґрунту								
М1-ЗГ	17	72	11	–	–	–	100	1,94
Байкал50-ЗГ	17	77	6	–	–	–	100	1,89
Гумісол-ЗГ	20	66	14	–	–	–	100	1,94
Теравет1-ЗГ	20	74	6	–	–	–	100	1,86
Теравет2-ЗГ	11	83	6	–	–	–	100	1,95
ВКС	11	55	34	–	–	–	100	2,23

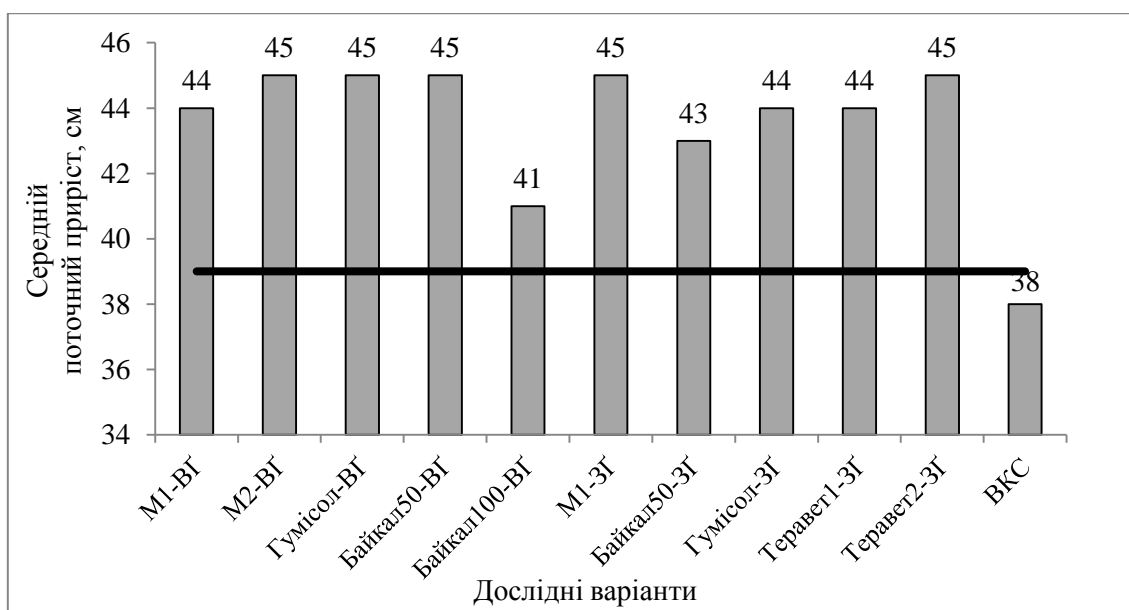


Рис. 3 – Середній приріст у 12-річних штучних дубових молодняках, створених сіянцями із закритою кореневою системою, вирощеними із застосуванням різних методів інтенсифікації росту (горизонтальна лінія – середні значення на контролі)

Перевагу слід віддавати сіянцям, що були вирощені із застосуванням методів інтенсифікації росту (кореневого підживлення різними добривами та внесення до ґрунтової суміші мікробних препаратів і суперабсорбентів).

Висновки. Дуб звичайний у складі штучних дубових молодняків, створених сіянцями із закритою кореневою системою із застосуванням під час вирощування методів інтенсифікації росту (кореневе підживлення різними добривами та внесення до ґрунтової суміші мікробних препаратів і суперабсорбентів), у 12-річному віці характеризувався вищими таксаційними показниками, порівнюючи з контролем (дуб у складі молодняку, створеного сіянцями без застосування методів інтенсифікації росту). Тому такі сіянці доцільно використовувати під час доповнення лісових культур із участю дуба звичайного, створених іншим видом

садивного матеріалу. Завдяки вищим показникам приживлюваності та високій енергії росту вони успішно конкуруватимуть із небажаною трав'яною та чагарниковою рослинністю в перші роки після садіння.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Andreeva, O. Yu., Huzii, A. I., Karchevskiy, R. A. 2016. Some parameters of pine growth in plantations created with potted planting material. *Scientific Bulletin of UNFU*, 26(3): 9–14. <https://doi.org/10.15421/40260301>
- Borysova, V. V. 2008. Influence of sprout treatment with preparation «Athlete» on development of *Pinus sylvestris* L. seedlings and their further growth in plantations. *Forestry and Forest Melioration*, 112: 159–164 (in Ukrainian).
- Brodovych, R. I., Katsuliak, Yu. D., Brodovych, Yu. R. 2001. Experience of cultivation and efficiency of coniferous seedlings with the closed rooted system use. *Forestry and Forest Melioration*, 100: 81–86 (in Ukrainian).
- Danylenko, O. M., Vysotska, N. Yu., Tarnopilskiy, P. B., Rumiantsev, M. H. 2021a. Influence of plant growth regulators on the growth and weight of english oak seedlings in the South-eastern Forest-Steppe in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 138: 59–67. <https://doi.org/10.33220/1026-3365.138.2021.59>
- Danylenko, O. M., Yushchuk, V. S., Rumiantsev, M. H., Mostepaniuk, A. A. 2021b. Some features of the growth and condition of pine plantations created by different planting material in the South-eastern Forest-steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 31(1): 26–29. <https://doi.org/10.36930/40310104>
- Dey, D. C., Kabrick, J. M., Gold, M. 2006. The role of large container seedlings in afforesting oaks in bottomlands. *Gen. Tech. Rep. SRS-92*. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station, p. 218–223.
- Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Minahropolityky Ukrayiny, 32 p. (in Ukrainian).
- Gupal, V. V. 2016. Growing of containerized oak seedlings using substrates of different composition. *Forestry and Forest Melioration*, 128: 100–103 (in Ukrainian).
- Hrom, M. M. 2010. *Forest mensuration*. Lviv, RVV NLTU, 416 p. (in Ukrainian).
- Kobranov, N. P. 1973. *Inspection and study of forest planted stands*. Leningrad, RIOLTA, 77 p. (in Russian).
- Lakin, G. F. 1990. *Biometrics*. Moscow, Vysshaya Shkola, 352 p. (in Russian).
- Lapach, S. N., Chubenco, A. V., Babych, P. N. 2001. *Statistical methods in biomedical research using Excel*. Kyiv, Morion, 408 p. (in Russian).
- Leverkus, A. B., Levy, L., Andivia, E., Annighöfer, P., De Cuyper, B., Ivetic, V., Lazdina, D., Löf, M., Villar-Salvador, P. 2021. Restoring oak forests through direct seeding or planting: Protocol for a continental-scale experiment. *PLoS ONE*, 16(11): e0259552. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0259552>
- Lialin, O. I. 2014a. Survival ability and preservation ability of seedlings in forest plantations of English oak. *Scientific Herald of NULES of Ukraine*, 198: 98–102 (in Ukrainian).
- Lialin, O. I. 2014b. Growth of oak saplings in forest plantations established by ball-rooted seedlings. *Scientific Bulletin of UNFU*, 24(5): 26–31. (in Ukrainian).
- Lialin, O. I., Tarnopilska, O. M., Tkach, L. I., Musienko, S. I., Bondarenko, V. V. 2020. Germination, survival rate and health of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) grown in containers. *Scientific Bulletin of UNFU*, 30(2): 44–48. <https://doi.org/10.36930/40300208>
- Luk'yanets, V., Rumiantsev, M., Kobets, O., Tarnopilska, O., Musienko, S., Obolonyk, I., Bondarenko, V., Tarnopilskiy, P. 2022. Biometric characteristics and health state of English oak (*Quercus robur* L.) stands established using various stock types. *Agriculture and Forestry*, 68(3): 119–132. <https://doi.org/10.17707/AgricultForest.68.3.10>
- Monitoring and increasing the resilience of man-made forests. 2011. In: *Collection of recommendations of URIFFM*. Kharkiv, Nove slovo, 304 p. (in Ukrainian).
- Rumiantsev, M. H., Danylenko, O. M., Tarnopilskiy, P. B., Yushchuk, V. S., Mostepaniuk, A. A. 2022. Influence of plant growth stimulants on biometric indicators and weight of one-year-old seedlings of English oak with a closed root system in the South-Eastern Forest-Steppe of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*, 32(1): 13–19. <https://doi.org/10.36930/40320102>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine. 2016. [Electronic resource]. 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 30.11.2022) (in Ukrainian).
- Schweitzer, C. J. and Stanturf, J. A. 1997. From okra to oak: reforestation of abandoned agricultural fields in the Lower Mississippi Alluvial Valley. In: Meyer, D.A., ed. *Proceedings of the 25th annual hardwood symposium*. Memphis, TN, National Hardwood Lumber Association, p. 131–138.
- Segeda, Yu. Yu. 2016. The experience of proceeding of an oak ordinary (*Quercus robur* L.) in the forest in the state enterprise “Smila forestry” with the using of container planting-stock. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 238: 163–168 (in Ukrainian).
- Stanturf, J. A.; Schweitzer, C. J.; Gardiner, E. S. 1998. Afforestation of marginal agricultural land in the Lower Mississippi River Alluvial Valley, U.S.A. *Silva Fennica*, 32(3): 281–287.

Tarnopil'skyi, P. B., Danylenko, O. M., Gupal, V. V., Mostepanuk, A. A., Gladun, G. B. 2016. English oak forest plantations creation experience with the use of containerized seedlings in forest enterprise "Kharkivska forest research station". *Forestry and Forest Melioration*, 128: 89–99 (in Ukrainian).

Tkach, V., Rumiantsev, M., Kobets, O., Luk'yanets, V., Musienko, S. 2019. Ukrainian plain oak forests and their natural regeneration. *Forestry Studies*, 71: 17–29. <https://doi.org/10.2478/fsmu-2019-0010>

To improve the modern methods of reforestation in the main types of lowland forests of Ukraine with the purpose of improving their forestry-environmental and agrotechnical efficiency. 2008. Work-in-progress report on research work on the topic № 10. Borysova, V. V. (Ed.). Kharkiv, URIFFM, 128 p. (in Ukrainian)

Tovstukha, A. V., Ignatenko, V. A., Tarnopil'skyi, P. B., 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 NAU*, 9: 92–101 (in Ukrainian).

Uharov, V. M., Manoilo, V. O., Fatieiev, V. V., Danylenko, O. M. 2012. Biometric parameters of *Quercus robur* L. seedlings with closed root system, depending on the mode of cultivation. *Forestry and Forest Melioration*, 121: 129–133. (in Ukrainian).

Wilson, E. R., Vitols, K. C., Park, A. 2007. Root characteristics and growth potential of container and bare-root seedlings of red oak (*Quercus rubra* L.) in Ontario, Canada. *New Forests*, 34: 163–176. <https://doi.org/10.1007/s11056-007-9046-7>

Woolery, P. O. and Jacobs, D. F. 2014. Planting stock type and seasonality of simulated browsing affect regeneration establishment of *Quercus rubra*. *Canadian Journal of Forest Research*, 44: 732–739. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2013-049>

Yavorov'skyi, P. P. and Segeda, Yu. Yu. 2015. Creation of forest plantations with common oak planting material grown in nurseries with a closed root system. *Forestry and Horticulture*, 7: 11–19 (in Ukrainian).

Yavorov'skyi, 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): 222–226 (in Ukrainian).

Danylenko O. M.¹, Rumiantsev M. H.², Tarnopil'skyi P. B.², Yushchuk V. S.², Mostepaniuk A. A.¹

FEATURES OF THE GROWTH OF PLANTED YOUNG OAK STANDS ESTABLISHED WITH CONTAINERIZED SEEDLINGS IN KHARKIV FOREST RESEARCH STATION

¹State Enterprise 'Kharkiv Forest Research Station

²Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The article deals with the mensuration characteristics of planted young oak stands established with containerized seedlings in the Kharkiv Forest Research Station. The seedlings were cultivated using intensification methods such as root feeding with various fertilizers and adding microbial preparations and superabsorbents into the soil mixture. As a control, oak stands were planted with the seedlings without the use of fertilization, and adding microbial preparations and superabsorbents to the soil mixture. It was found that English oak (*Quercus robur* L.) in the stands planted with the seedlings obtained using intensification grow better compared to the control. Oak seedlings were grown both in open ground and greenhouse in agrofiber containers on a substrate that was a mixture of dark gray medium loamy soil and peat in a volume ratio of 3:1. The applied methods of seedling growth intensification had a positive effect on the survival of the plants replanted on the forest area and their subsequent successful growth. Such seedlings can be used for additional planting in oak stands established with other types of planting stock. Due to their higher survival rates and high growth energy, they will successfully compete with unwanted grass and shrub vegetation in the first years after planting.

Key words: English oak (*Quercus robur* L.), seedling growing conditions, fertilizers, superabsorbents, mensuration characteristics.

E-mail: dandik86@gmail.com; maxrum-89@ukr.net; tarnopil'sky@ukr.net; vitay2715@gmail.com

Одержано редколегією 01.12.2022

ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ

УДК 630.43



<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.89>

О. Ю. АНДРЕЄВА¹, С. Г. СИДОРЕНКО², І. В. МАРТИНЧУК¹

ГОРИМІСТЬ ЛІСІВ ВОЛИНСЬКОГО ТА ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

¹*Поліський національний університет*

²*Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*

Дослідження спрямовані на виявлення закономірностей виникнення пожеж, оцінювання горимості лісів у лісовому фонді Волинського, Житомирського та Рівненського обласних управлінь лісового та мисливського господарства (ОУЛМГ) і зв'язків кількості випадків та площі пожеж із показниками, що характеризують погодні умови (зокрема, з індексом FWI). Середня річна кількість пожеж становила у 2007–2020 рр. $21,5 \pm 8,68$; $29,1 \pm 6,34$ та $99,2 \pm 35,96$ випадків у лісовому фонді Волинського, Рівненського та Житомирського ОУЛМГ відповідно. Середня площа пожежі була найменшою у лісовому фонді Волинського ОУЛМГ (26,4 га), а найбільшою – у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ (3 214,6 га). Пожежними піками виявилися 2009, 2015 і 2020 рр. Максимальні значення FWI у Волинському та Рівненському ОУЛМГ зафіксовані у 2009, 2011, 2015 і 2019 рр., у Житомирському ОУЛМГ – у 2015 і 2020 рр.; в усіх областях FWI збільшується у 2022 р. Найбільш значущий обернений зв'язок визначено між площею лісових пожеж і показниками, що пов'язані з дефіцитом вологи (кількістю опадів, ГТК та FWI).
Ключові слова: кількість випадків пожеж, площа пожежі, кліматичні показники, FWI – пожежний індекс погоди, пожежна безпека.

Вступ. Останнім десятиріччям у різних регіонах світу збільшилися частота й площа лісових пожеж (Zibtsev et al. 2019a, 2019b, Boer et al. 2020, Voron et al. 2021, Soshenskyi et al. 2022, Vinogradsky 2023). Виникненню лісових пожеж сприяють посушливі умови (Abatzoglou & Williams 2016, Shvydenko et al. 2018, Andreieva et al. 2022a, 2022b, Jain et al. 2022), а також збільшення частки хвойних лісів, ослаблених різними біотичними та антропогенними чинниками (Andreieva & Goychuk 2020, Davydenko et al. 2021, Meshkova 2021a, 2021b). Пожежна безпека зростає значною мірою в осередках всихання насаджень, заселених короїдами, де збільшуються обсяги лісових горючих матеріалів (Borysenko & Meshkova 2021, Sydorenko et al. 2021). Водночас пошкоджені вогнем дерева ослаблюються та стають сприйнятливими до заселення комахами (Andreieva et al. 2018, Meshkova 2021b). Це прискорює відмирання окремих гілок чи дерева загалом і призводить до збільшення обсягів лісових горючих матеріалів (Chornogor et al. 2021, Hurzhii et al. 2021, Voron et al. 2021).

За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій і Державної служби статистики України, щороку на території країни реєструють близько 30 тис. випадків лісових пожеж на площі загалом близько 20 тис. га. У 1980-ті роки пожежі зареєстровано на площі 1,2 тис. га, у 1990-ті – на площі 4,0 тис. га, у 2000–2010 рр. – на площі 4,4 тис. га (Hurzhii et al. 2021). До середини 1990-х років великі пожежі виникали переважно в степових областях України, але вже у 1996 р. – також у Київській і Чернігівській областях, у серпні 2008 р. – у Харківській, у 2015 р. – у Чорнобильській зоні відчуження й на території Поліського природного заповідника (Zibtsev et al. 2019a, 2019b). За даними EFFIS (European Forest Fire Information System, 2023) понад 85 % випадків пожеж пов'язані з недбалістю населення та ігноруванням правил пожежної безпеки. За даними Державної служби України з надзвичайних ситуацій і Державної служби статистики України, причинами виникнення пожеж також найчастіше є недотримання правил пожежної безпеки під час відпочинку в лісі, сільськогосподарські пали та зумисний підпал. Різке збільшення кількості (6 309 випадків) та площі (близько 500 тис. га) пожеж на території України у 2022 р. пов'язане з бойовими діями (Vynogradsky 2023).

За період 2007–2017 рр. у Поліссі виникало в середньому 763,9 випадку пожеж на рік на площі 1952 га на рік, що відповідало показникам 179 випадків пожеж на 1000 га площі та 4,7 га, охоплених вогнем, на 1000 га площі (Zibtsev et al. 2019a). Водночас у 2020 р. у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ пошкоджено вогнем 28,3 тис. га лісу, причому 14,8 % від усієї площі становили верхові пожежі (Andreieva et al. 2022b). Виявлено, що

виникненню пожеж сприяли погодні умови: сума температур повітря за вегетаційний період 2020 р. за даними метеостанції Житомир перевищувала середні багаторічні дані на 6,8 %. Сума опадів у квітні 2020 р. поступалася середньому багаторічному значенню 5,9 мм, або на 20,4 % (Andreieva et al. 2022b).

Питанням прогнозування виникнення й поширення пожеж присвячено низку досліджень (Abatzoglou & Williams 2016, Balabukh 2019, Hurzhii et al. 2021, Sydorenko 2022, Zacharakis & Tsihrintzis 2023). Природну пожежну небезпеку часто оцінюють із урахуванням лісорослинних умов, частки хвойних насаджень, їхніх віку, повноти й категорії земель сусідніх виділів (Borysenko & Meshkova 2021, Andreieva et al. 2022a, 2022b), об'єму і стану лісових горючих матеріалів (Hurzhii et al. 2021). Пожежну небезпеку за умовами погоди оцінюють переважно за погодними змінними і часткового за просторовим розподілом джерел загоряння (Balabukh 2019). Під час оцінювання пожежної небезпеки за умовами погоди в лісах Канади запропоновано застосовувати показник Fire Weather Index (FWI) (Stocks et al. 1989). Цей підхід згодом поширився світом і вважається нині одним із стандартних, найбільш вживаних (Zacharakis & Tsihrintzis 2023). Під час обчислення індексу FWI беруть до уваги показники початкового поширення пожежі (initial spread index – ISI) та нарощування її інтенсивності (build up index – BUI) з урахуванням впливу ступеня зволоження різних груп горючих матеріалів на поведінку пожежі за поточних значень температури, відносної вологості повітря, швидкості вітру, кількості опадів тощо. Створено глобальну базу даних (Global Modeling and Assimilation Office 2015), з якої можливо одержати максимальні значення показника в різних точках планети за кожен день і розрахувати середні за місяцями та роками значення.

Метою досліджень було виявити закономірності виникнення пожеж, оцінити горимість лісів у лісовому фонді Волинського, Житомирського та Рівненського ОУЛМГ та зв'язки кількості випадків і площі пожеж із показниками, що характеризують погодні умови (зокрема, з індексом FWI).

Матеріал й методи. Використано матеріали статистичної звітності Державного агентства лісових ресурсів стосовно кількості випадків та площі пожеж у лісовому фонді Житомирського, Волинського та Рівненського ОУЛМГ. Зважаючи на відомості стосовно залежності кількості та площі лісових пожеж від наявності хвойних насаджень (Borysenko & Meshkova 2021, Voron et al. 2021), у лісовому фонді кожної із зазначених областей визначали абсолютну горимість за середньою річною кількістю випадків загоряння на 1 тис. га вкритих лісовою рослинністю ділянок і на 1 тис. га соснових насаджень, а відносну горимість – за середньою річною пройденою вогнем площею в гектарах на 1 тис. га вкритих лісовою рослинністю ділянок і на 1 тис. га соснових насаджень.

Залежність динаміки кількості випадків пожеж і площі пожеж від погодних умов оцінювали за допомогою кореляційного аналізу. Зважаючи на те, що масиви даних, використані в аналізі, не відповідають нормальному розподілу, кореляцію для всіх порівнюваних пар показників розраховували за допомогою критерію Спірмена (Atramentova & Utievska 2007).

Показники температури повітря та кількості опадів окремих місяців одержували з метеостанцій Житомир, Рівне та Луцьк за 2007–2020 рр. в базах даних <https://climatecharts.net/> (Zepner et al. 2020). За цими даними розраховували середні значення температури та суми опадів за рік і вегетаційний період, а також гідротермічний коефіцієнт за Г. Т. Селяніновим за формулою (1):

$$\text{ГТК} = 10 \Sigma P / \Sigma t, \quad (1)$$

де ΣP – сума опадів у міліметрах за період із середньою місячною температурою понад +10°C; Σt – сума середніх добових температур за той самий період, °C (Selyaninov 1937).

Значення FWI одержано в глобальній мережі GSFC DAAC за координатами метеостанцій кожної адміністративної області регіону досліджень (Global Modeling and Assimilation Office 2015) й осереднено за місяцями та роками.

Результати та обговорення. Розрахунки свідчать, що за 2007–2020 рр. середня річна кількість пожеж становила $21,5 \pm 8,68$; $29,1 \pm 6,34$ та $99,2 \pm 35,96$ випадку в лісовому фонді Волинського, Рівненського та Житомирського обласних управлінь лісового і мисливського господарства (ОУЛМГ) відповідно (табл. 1).

Таблиця 1

Показники горимості лісів у лісовому фонді регіону у 2007–2020 рр.

ОУЛМГ	Площа, тис. га		Середня кількість випадків пожеж на рік	Горимість, випадків/ на тис. га	
	вкритих лісовою рослинністю ділянок	соснових насаджень		вкритих лісовою рослинністю ділянок	соснових насаджень
Волинське	438,6	250,0	$21,5 \pm 8,68$	0,05	0,09
Житомирське	660,6	388,4	$99,2 \pm 35,96$	0,15	0,26
Рівненське	588,5	384,1	$29,1 \pm 6,34$	0,05	0,08

Показник горимості, обчислений із урахуванням площі як усіх укритих лісовою рослинністю ділянок, так і соснових насаджень, є найбільшим у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ і майже втричі меншим у лісовому фонді Рівненського та Волинського ОУЛМГ.

У лісовому фонді Волинського та Житомирського ОУЛМГ в окремі роки взагалі не реєстрували пожеж (2011, 2013, 2017–2019 рр. та 2013 р. відповідно), а в Рівненському ОУЛМГ мінімальна кількість пожеж становила чотири випадки (рис. 1). Максимальна кількість пожеж у лісовому фонді Рівненського ОУЛМГ сягала 76 випадків (у 2020 р.), Волинського ОУЛМГ – 99 випадків (у 2015 р.), Житомирського – 503 випадки (у 2020 р.).

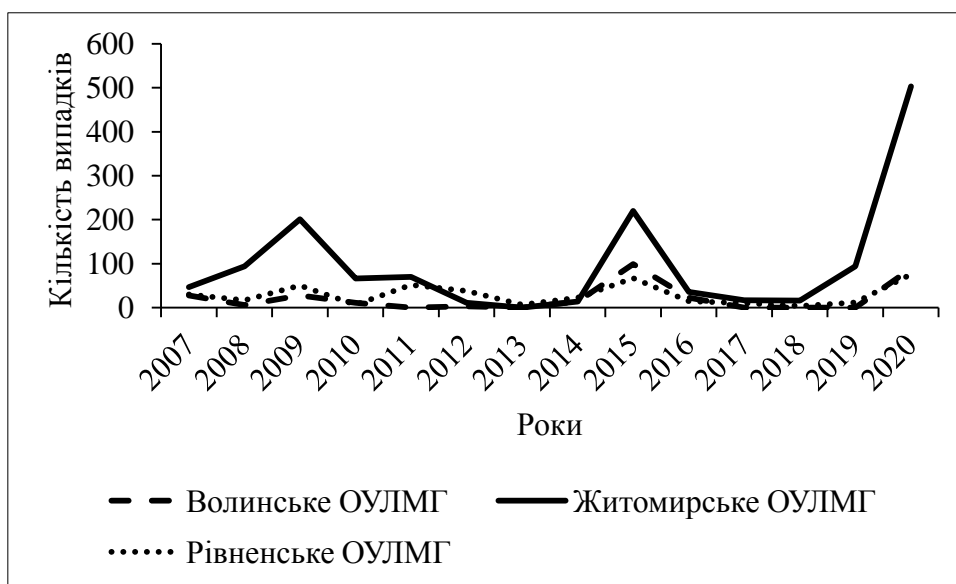


Рис. 1 – Динаміка кількості випадків лісових пожеж у лісовому фонді регіону

Найменше варіювання кількості пожеж виявлено в лісовому фонді Рівненського ОУЛМГ (81,4 %), тоді як у лісовому фонді Житомирського та Волинського ОУЛМГ коефіцієнт варіювання становив 135,6 і 151 % відповідно. У 2009, 2015 і 2020 рр. відбулося збільшення кількості пожеж в усіх зазначених областях. Значною мірою це пов'язане зі зменшенням кількості опадів у ці роки на тлі підвищення температури повітря (табл. 2).

Значення показників, що можуть мати вплив на виникнення пожеж

Рік	Середня річна температура, °С			Середня температура впродовж вегетаційного періоду, °С			Річна сума опадів, мм		
	Рівне	Луцьк	Житомир	Рівне	Луцьк	Житомир	Рівне	Луцьк	Житомир
2007	9,2	9,4	9,1	16,3	16,3	16,4	600	592	585
2008	9,1	9,3	8,9	15,5	15,4	15,4	640	659	629
2009	8,5	8,7	8,6	16,1	16,0	16,2	632	676	521
2010	8,0	8,1	8,1	16,7	16,3	16,8	707	728	655
2011	8,6	8,7	8,2	16,4	16,3	16,2	467	476	482
2012	8,3	8,5	8,3	16,8	16,6	17,3	641	621	666
2013	8,7	8,8	8,6	16,1	16,0	16,2	676	669	675
2014	9,0	9,3	8,7	16,2	16,1	16,1	525	549	536
2015	9,8	9,9	9,5	16,6	16,4	16,7	447	495	444
2016	9,1	9,3	8,8	16,8	16,7	16,7	603	651	572
2017	9,0	9,0	8,8	15,9	15,8	16,1	592	654	574
2018	9,2	9,6	8,7	17,9	17,9	17,5	546	546	548
2019	9,9	10,2	9,7	16,5	16,5	16,5	494	509	471
2020	10,6	10,6	10,7	16,4	16,3	16,7	522	591	525

Закінчення табл. 2

Рік	Сума опадів за вегетаційний період, мм			ГТК			FWI		
	Рівне	Луцьк	Житомир	Рівне	Луцьк	Житомир	Рівне	Луцьк	Житомир
2007	392	376	384	1,3	1,3	1,3	6,9	5,3	4,7
2008	438	439	450	1,5	1,6	1,6	6,5	4,9	3,8
2009	332	358	258	1,1	1,2	0,9	5,9	6,3	5,0
2010	465	492	398	1,5	1,6	1,3	5,9	3,4	2,5
2011	329	335	352	1,1	1,1	1,2	5,7	7,1	4,9
2012	392	383	390	1,3	1,3	1,2	4,7	4,2	4,6
2013	428	420	407	1,4	1,4	1,4	4,5	4,1	3,8
2014	358	367	387	1,2	1,2	1,3	7,9	7,3	5,0
2015	251	282	236	0,8	0,9	0,8	11,1	10,7	9,8
2016	270	297	272	0,9	1,0	0,9	7,4	8,4	6,9
2017	342	390	306	1,2	1,3	1,0	4,6	5,3	4,2
2018	333	335	330	1,0	1,0	1,0	5,4	6,0	5,1
2019	341	350	323	1,1	1,2	1,1	7,4	6,9	5,8
2020	328	395	333	1,1	1,3	1,1	6,9	6,1	3,8

Кількість випадків пожеж найчастіше була найбільшою в лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ (див. рис. 1).

Кількість випадків лісових пожеж між кожною парою трьох проаналізованих областей корелює на рівні $\alpha = 0,05$ ($\rho_{0,05} = 0,46$), у Волинській і Рівненській областях – на рівні $\alpha = 0,01$ ($\rho = 0,64$; $\rho_{0,01} = 0,63$); значення коефіцієнтів кореляції щодо цих показників у Рівненській і Житомирській та у Волинській і Житомирській областях становлять $\rho = 0,59$ та $\rho = 0,54$ відповідно.

Середня площа пожежі була найменшою в лісовому фонді Волинського ОУЛМГ (26,4 га), а найбільшою – у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ (3 214, 6 га) (табл. 3).

Питома площа лісів, охоплених пожежею, у лісовому фонді регіону у 2007–2020 рр.

ОУЛМГ	Площа, тис. га		Середня площа пожежі, га на рік	Горимість за площею, га на тис. га	
	вкритих лісовою рослинністю ділянок	соснових насаджень		вкритих лісовою рослинністю ділянок	соснових насаджень
Волинське	438,6	250,0	26,4 ± 15,55	0,06	0,11
Житомирське	660,6	388,4	3214,6 ± 3078,93	4,87	8,28
Рівненське	588,5	384,1	37,6 ± 12,76	0,06	0,10

Горимість за площею пожежі в лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ є більшою, ніж у Волинському та Рівненському ОУЛМГ, у 80,9 і 76,1 разу, якщо брати до уваги площу вкритих лісовою рослинністю земель, і у 76,1 і 84,5 разу, якщо брати до уваги площу соснових насаджень. Саме у 2009, 2015 і 2020 рр. зареєстровано також найбільшу кількість випадків лісових пожеж (див. рис. 1). Площа лісових пожеж у Волинській і Рівненській областях значуще корелює між собою ($\rho = 0,74$; $\rho_{0,01} = 0,63$). Зв'язок цих показників у Рівненській і Житомирській та у Волинській і Житомирській областях не є значущим ($\rho = 0,44$ та $\rho = 0,19$ відповідно; $\rho_{0,05} = 0,46$).

Оскільки площа лісових пожеж у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ у 2020 р. сягала 43 229,3 га, що набагато перевищило цей показник в інші роки та в лісовому фонді інших обласних управлінь, на рисунку 2 наведено динаміку площі пожеж за 2007–2019 рр. У лісовому фонді Волинського та Рівненського ОУЛМГ у 2020 р. також збільшилася площа пожеж, порівнюючи з попередніми роками, але становила лише 89,3 та 138,7 га відповідно. Значну площу лісових пожеж у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ (1 058,3 га) зареєстровано також у 2009 р. У 2009 р. збільшилася, але значно меншою мірою, площа лісових пожеж у Волинській і Рівненській областях (12,4 і 96,7 га відповідно). У 2015 р. збільшилася площа лісових пожеж в усіх розглянутих областях із максимальним значенням у Волинській (211,4 га) та меншими – у Рівненській і Житомирській (127,7 і 102,4 га відповідно).

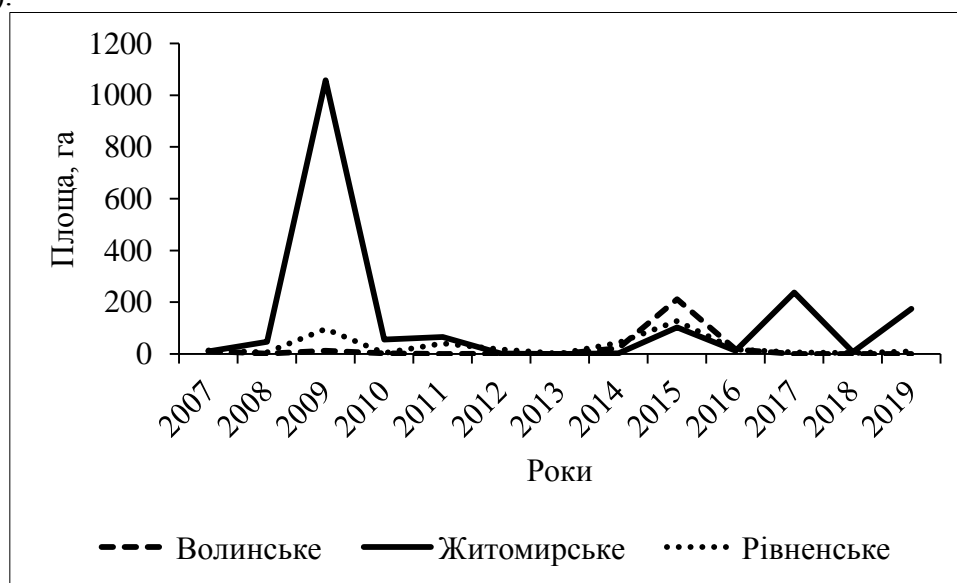


Рис. 2 – Динаміка площі лісових пожеж у лісовому фонді трьох обласних управлінь лісового та мисливського господарства

Найбільші значення показника FWI в Луцьку та Рівному розраховані у 2009, 2011, 2015 і 2019 рр. (рис. 3). У Житомирі показник FWI зменшується у 2007–2013 рр., сягає максимуму у 2015 р., залишається високим також у 2020 р., в усіх областях збільшується у 2022 р. Зв'язок між значеннями FWI у трьох областях є прямим і достовірним ($\alpha < 0,05$), коефіцієнт кореляції Спірмена – найбільшим стосовно пари Рівне – Луцьк ($\rho = 0,83$) і найменшим – стосовно пари Луцьк – Житомир ($\rho = 0,53$), а стосовно пари Рівне – Житомир він становить $\rho = 0,73$.

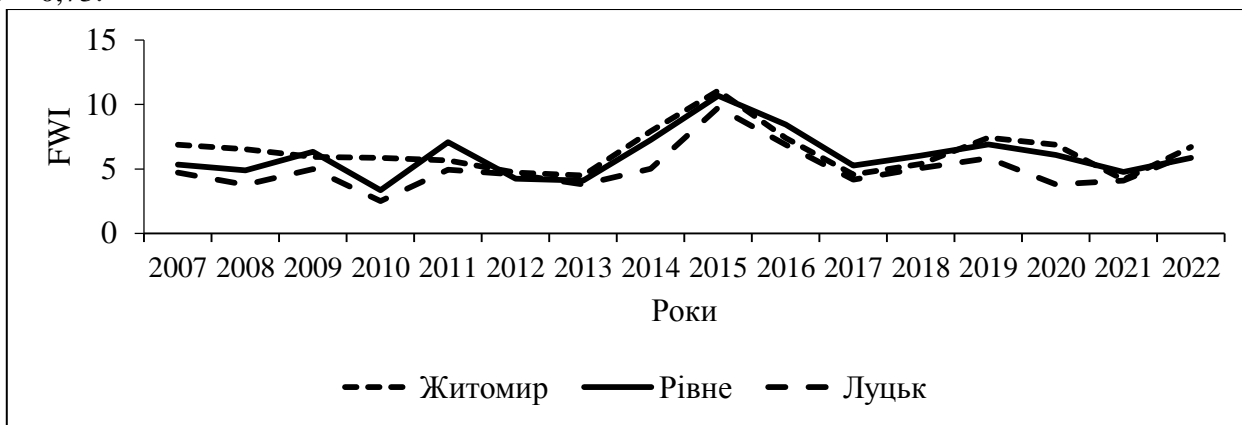


Рис. 3 – Динаміка річного індексу FWI у різних пунктах регіону у 2007–2022 рр.

Значущий обернений зв'язок визначено між кількістю випадків лісових пожеж у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ області та кількістю опадів на рік ($\rho = -0,65$; $\rho_{0,01} = 0,63$) (табл. 4).

Таблиця 4

Коефіцієнти кореляції Спірмена (ρ) між показниками поширення пожеж та іншими показниками

Показник 1	Показник 2	ρ	Показник 1	Показник 2	ρ
<i>N</i> – Луцьк	<i>Tr</i> – Луцьк	0,24	Площа – Луцьк	<i>T_p</i> – Луцьк	0,22
<i>N</i> – Житомир	<i>Tr</i> – Житомир	0,48	Площа – Житомир	<i>T_p</i> – Житомир	0,36
<i>N</i> – Рівне	<i>Tr</i> – Рівне	0,17	Площа – Рівне	<i>T_p</i> – Рівне	0,20
<i>N</i> – Луцьк	<i>T_{вег}</i> – Луцьк	0,05	Площа – Луцьк	<i>T_{вег}</i> – Луцьк	0,13
<i>N</i> – Житомир	<i>T_{вег}</i> – Житомир	-0,02	Площа – Житомир	<i>T_{вег}</i> – Житомир	-0,13
<i>N</i> – Рівне	<i>T_{вег}</i> – Рівне	-0,09	Площа – Рівне	<i>T_{вег}</i> – Рівне	0,01
<i>N</i> – Луцьк	<i>P_p</i> – Луцьк	0,05	Площа – Луцьк	<i>P_p</i> – Луцьк	-0,02
<i>N</i> – Житомир	<i>P_p</i> – Житомир	-0,65	Площа – Житомир	<i>P_p</i> – Житомир	-0,62
<i>N</i> – Рівне	<i>P_p</i> – Рівне	-0,46	Площа – Рівне	<i>P_p</i> – Рівне	-0,53
<i>N</i> – Луцьк	<i>P_{вег}</i> – Луцьк	-0,36	Площа – Луцьк	<i>P_{вег}</i> – Луцьк	-0,17
<i>N</i> – Житомир	<i>P_{вег}</i> – Житомир	-0,42	Площа – Житомир	<i>P_{вег}</i> – Житомир	-0,58
<i>N</i> – Рівне	<i>P_{вег}</i> – Рівне	-0,51	Площа – Рівне	<i>P_{вег}</i> – Рівне	-0,63
<i>N</i> – Луцьк	ГТК – Луцьк	-0,14	Площа – Луцьк	ГТК – Луцьк	-0,20
<i>N</i> – Житомир	ГТК – Житомир	-0,38	Площа – Житомир	ГТК – Житомир	-0,52
<i>N</i> – Рівне	ГТК – Рівне	-0,35	Площа – Рівне	ГТК – Рівне	-0,50
<i>N</i> – Луцьк	FWI – Луцьк	0,13	Площа – Луцьк	FWI – Луцьк	0,20
<i>N</i> – Житомир	FWI – Житомир	0,54	Площа – Житомир	FWI – Житомир	0,27
<i>N</i> – Рівне	FWI – Рівне	0,48	Площа – Рівне	FWI – Рівне	0,65

Примітка. $n = 14$; $\rho_{0,05} = 0,46$; $\rho_{0,01} = 0,63$; напівжирний шрифт – значущі при $\alpha < 0,05$; курсив – значущі при $\alpha < 0,01$; *N* – кількість випадків пожеж на рік; Площа – площа пожеж, га на рік; *Tr* – середня річна температура повітря; *T_{вег}* – середня температура повітря за вегетаційний період; *P_p* – ручна сума опадів; *P_{вег}* – сума опадів за вегетаційний період; ГТК – гідротермічний коефіцієнт; FWI – Fire Weather Index.

На рівні $\alpha = 0,05$ кількість випадків лісових пожеж у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ має прямий кореляційний зв'язок із середньою річною температурою повітря в Житомирі ($\rho = 0,48$), у лісовому фонді Житомирського й Рівненського ОУЛМГ – з відповідними FWI за ($\rho = 0,54$ та $\rho = 0,48$ відповідно). Обернений кореляційний зв'язок

визначено між кількістю випадків пожеж у лісовому фонді Рівненського ОУЛМГ та кількістю опадів на рік ($\rho = -0,46$) і за вегетаційний період ($\rho = -0,51$).

Значущий прямий кореляційний зв'язок ($\alpha = 0,01$) виявлено між площею лісових пожеж у лісовому фонді Рівненського ОУЛМГ та показником FWI ($\rho = 0,65$; $\rho_{0,01} = 0,63$) (див. табл. 4). Найбільш значущий обернений кореляційний зв'язок ($\alpha = 0,01$) визначено між площею лісових пожеж у лісовому фонді Рівненського ОУЛМГ та кількістю опадів за вегетаційний період ($\rho = -0,63$; $\rho_{0,01} = 0,63$). На рівні $\alpha = 0,05$ підтверджено наявність оберненого зв'язку площі лісових пожеж із кількістю річних опадів у лісовому фонді Житомирського та Рівненського ОУЛМГ ($\rho = -0,62$ та $\rho = -0,53$ відповідно), у Житомирському ОУЛМГ – також із кількістю опадів за вегетаційний період ($\rho = -0,58$), у Житомирському та Рівненському ОУЛМГ – з гідротермічним коефіцієнтом за Г.Т. Селяніновим ($\rho = -0,52$ та $\rho = -0,50$ відповідно). Таким чином, кількість випадків пожеж та їхня площа мали найбільш значущі зв'язки з показниками, які оцінюють дефіцит вологи (кількість опадів, ГТК та FWI),

Висновки. За період спостережень (2007–2020 рр.) у Волинському та Житомирському Поліссі збільшилися кількість випадків лісових пожеж. Пожежними піками виявилися 2009, 2015 і 2020 рр. Найбільші значення кількості випадків і площі зафіксовані у лісовому фонді Житомирського ОУЛМГ (99,2 випадків та 3 214,6 га відповідно). Середнє річне значення FWI за 15 років становить 6,35; 6,04 та 5,0 у Житомирі, Рівному та Луцьку відповідно; максимальні значення FWI в Луцьку та Рівному відзначено у 2009, 2011, 2015 і 2019 рр., у Житомирі – у 2015 і 2020 рр.; в усіх областях FWI збільшився у 2022 р. Виявлено значущі кореляційні залежності між кількістю та площею лісових пожеж і FWI.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Abatzoglou, J. T. and Williams, A. P. 2016. Impact of anthropogenic climate change on wildfire across western US forests. Proc. Natl. Acad. Sci. USA, 113: 11770–11775. <https://doi.org/10.1073/pnas.1607171113>
- Andreieva, O. Y., Zhytova, O. P., Martynchuk, I. V. 2018. Health condition and colonization of stem insects in Scots pine after ground fire in Central Polissya. Folia Forestalia Polonica. Series A – Forestry, 60(3): 143–153. <https://doi.org/10.2478/ffp-2018-0014>
- Andreieva, O. and Goychuk, A. 2020. Forest site conditions and the threat for insect outbreaks in the Scots pine stands of Polissya. Folia Forestalia Polonica, 62 (4): 270–278. <https://doi.org/10.2478/ffp-2020-0026>
- Andreieva O., Borysenko O., Martynchuk I. 2022a. Revising fire hazard rating methods for forest stands in Ukraine on the example of Ovruch Specialized Forest Enterprise. Forestry ideas, 28, 1(63): 3–13.
- Andreieva, O., Skydan, O., Wójcik, R., Kędziora, W., Alpatova, O. 2022b. Influence of weather conditions on the spread of fires in the forest fund of Zhytomyr Polesia. Scientific Horizons, 25(3): 68–75. [https://doi.org/10.48077/scihor.25\(3\).2022.68-75](https://doi.org/10.48077/scihor.25(3).2022.68-75)
- Atramentova, L. O. and Utievska, O. M. 2007. Group comparison and relations analysis: Biometrics. Chapter II. Kharkiv, Ranok, 176 p. (in Ukrainian).
- Balabukh, V. O. 2019. Pyrological-climatic zoning of Ukraine. Hydrology, Hydrochemistry and Hydroecology, 3(54): 105–106 (in Ukrainian).
- Boer, M. M., Resco de Dios, V., Bradstock, R. A. 2020. Unprecedented burn area of Australian mega forest fires. Nature Climate Change, 10: 171–172. <http://doi:10.1038/s41558-020-0716-1>
- Borysenko, O. I. and Meshkova, V. L. 2021. Prediction of fires and insect pests foci spread in the pine stands by means of GIS. Kharkiv, Planeta-Print, 148 p. (in Ukrainian).
- Chornogor, L. F., Nekos, A. N., Titenko, G. V., Chornogor, L. L. 2021. Ecological consequences of large-scale forest fires in Ukraine in spring – summer – autumn 2020. Bulletin of V.N. Karazin Kharkiv National University series “Ecology”, 24: 79–90 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.26565/1992-4259-2021-24-07>
- Davydenko, K., Vasaitis, R., Elfstrand, M., Baturkin, D., Meshkova, V., Menkis, A. 2021. Fungal communities vectored by *Ips sexdentatus* in declining *Pinus sylvestris* in Ukraine: focus on occurrence and pathogenicity of Ophiostomatoid species. Insects, 12: 1119. <https://doi.org/10.3390/insects12121119>
- European Forest Fire Information System (EFFIS). 2023. [Electronic resource]. Available at: <https://effis.rc.ec.europa.eu/> (accessed 13.03.2023).
- Global Modeling and Assimilation Office (GMAO). 2015, inst3_3d_asm_Cp: MERRA-2 3D IAU State, Meteorology Instantaneous 3-hourly (p-coord, 0.625x0.5L42), version 5.12.4, Greenbelt, MD, USA: Goddard Space

Flight Center Distributed Active Archive Center (GSFC DAAC), Accessed Enter User Data Access Date at doi: 10.5067/VJAFPLIICSIV (accessed 13.03.2023).

Hurzhi, R. V., Yavorovskiy, P. P., Sydorenko, S. H., Levchenko, V. B., Tyshchenko, O. M., Tertyshnyi, A. P., Yakubenko, B. Y. 2021. Trends in forest fuel accumulation in pine forests of Kyiv Polissya in Ukraine. *Folia Forestalia Polonica*, 63(2): 116–124. <https://doi.org/10.2478/ffp-2021-0013>

Jain, P., Castellanos-Acuna, D., Coogan, S. C., Abatzoglou, J. T., Flannigan, M. D. 2022. Observed increases in extreme fire weather driven by atmospheric humidity and temperature. *Nature Climate Change*, 12(1): 63–70. <https://doi.org/10.1038/s41558-021-01224-1>

Meshkova, V. 2021a. Assessment and prediction of biotic risks in the forests of Ukraine. *Bucovina Forestieră*, 21(1), 83–92. <https://doi.org/10.4316/bf.2021.007>

Meshkova, V. 2021b. The lessons of Scots Pine forest decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*, 3(1): article number 28. <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07990>

Selyaninov, G. T. 1937. Methods of climate description to agricultural purposes. In: *World Climate and Agriculture Handbook*. Leningrad, Moscow, p. 5–29 (in Russian).

Shvydenko, A. Z., Buksha, I. F., Krakowska, S. V. 2018. Vulnerability of Ukraine's forests to climate change. Kyiv, Nika-Center, 184 p. (in Ukrainian).

Soshenskiy, O., Myroniuk, V., Zibtsev, S., Gumeniuk, V., Lashchenko, A. 2022. Evaluation of field-based burn indices for assessing forest fire severity in Luhansk region, Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 13(1): 48–57. [https://doi.org/10.31548/forest.13\(1\).2022.48-57](https://doi.org/10.31548/forest.13(1).2022.48-57)

Stocks, B. J., Lawson, B. D., Alexander, M. E., Wagner, C. V., McAlpine, R. S., Lynham, T. J., Dube, D. E. 1989. The Canadian forest fire danger rating system: an overview. *The Forestry Chronicle*, 65(6): 450–457.

Sydorenko, S. 2022. Fire danger rating system for open landscapes of Ukraine. In: *Forests in the face of contemporary challenges. Proceedings of International Scientific and Practical Conference of Young Scientists, Postgraduates, and External Doctorate Students (20 October 2022, Kharkiv, Ukraine)*. Kharkiv, p. 69–70 (in Ukrainian).

Sydorenko, S., Voron, V., Koval, I., Sydorenko, S., Rumiantsev, M., Hurzhii, R. 2021. Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. *Lesnicky Casopis*, 67(1): 21–29. <https://doi.org/10.2478/forj-2020-0029>

Vinogradsky, O. 2023. The forests of Europe are burning. [Electronic resource]. *Nature and Society [Newspaper]*. Dated 28.04.2023. Available at: <https://ekoinform.com.ua/?p=17692> (accessed 18.05.2023) (in Ukrainian).

Voron, V. P., Koval, I. M., Sydorenko, S. G., Melnyk, E. E., Tkach, O. M., Borisenko, V. G., Timoshchuk, I. V., Bologov, O. Yu. 2021. Pyrogenic transformation of Ukrainian pine forests. Kharkiv, Planeta-Print. 286 p. (in Ukrainian).

Zacharakis, I. and Tsihrintzis, V.A. 2023. Environmental forest fire danger rating systems and indices around the globe: A Review. *Land*, 12: 194. <https://doi.org/10.3390/land12010194>

Zepner, L.; Karrasch, P.; Wiemann, F.; Bernard, L. 2020. ClimateCharts.net—an interactive climate analysis web platform, *International Journal of Digital Earth*, 14(3): 338–356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112> Available at: <https://climatecharts.net> (accessed 13.03.2023).

Zibtsev, S. V., Myronyuk, V. V., Soshenskiy, O. M., Koren, M. S., Koren, V. A. 2019a. Spatio-temporal distribution of fires in natural landscapes of Rivne region. *Scientific Bulletin of UNFU*, 29(6): 18–23 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40290603>

Zibtsev, S. V., Soshenskiy, O. M., Humeniuk, V. V., Koren, V. A. 2019b. Dynamics of forest fires in Ukraine. *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10(3): 27–40. (in Ukrainian). <http://dx.doi.org/10.31548/forest2019.03.027>

Andreieva O. Yu.¹, Sydorenko S. H.², Martynchuk I. V.¹

FOREST FLAMMABILITY IN VOLYN AND ZHYTOMYR POLISSIA

¹Polissky National University, Zhytomyr

²Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The research focused on identifying the features of the flammability of forests in Volyn, Zhytomyr, and Rivne Regional Forest and Hunting Management Administrations (RFHMA) and evaluating the relations between the number of fires and the burnt area with climatic indices including FWI index. The average annual number of fires in 2007–2020 was 21.5 ± 8.68 ; 29.1 ± 6.34 and 99.2 ± 35.96 cases in the forest fund of Volyn, Rivne, and Zhytomyr RFHMA, respectively. The average fire area was the smallest in the forest fund of the Volyn RFHMA (26.4 ha), and the largest in the forest fund of the Zhytomyr RFHMA (3 214.6 ha). Fire peaks were observed in 2009, 2015, and 2020. These years had the highest number of fires as well as burnt areas. The maximum FWI values in Lutsk and Rivne were registered in 2009, 2011, 2015, and 2019, and in Zhytomyr in 2015 and 2020. In all regions, FWI increased by 2022. The most significant negative relationship was found between the burnt area and indices associated with moisture deficit (precipitation, hydrothermal coefficient, and FWI).

Key words: number of fires, burnt area, climatic indices, FWI – Fire Weather Index, fire hazard.

E-mail: andreeva-lena15@ukr.net; serhii88sido@gmail.com

Одержано редколегією 22.05.2023



**ЛАНДШАФТНА ДИФЕРЕНЦІАЦІЯ ТА ТРЕНДИ КЛІМАТОГЕННОЇ ДИНАМІКИ
ЕКОЛОГІЧНИХ РЕЖИМІВ ЕКОТОПІВ НАГІРНИХ ДІБРОВ ПІВДЕННОЇ ЧАСТИНИ
ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ УКРАЇНИ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Здійснено синфітоіндикаційне оцінювання екотопів екосистем нагірних дібров територіально-ландшафтного комплексу модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» південної частини Лівобережного Лісостепу України. Виявлено, що характер диференціації показників основних екологічних факторів в екотопах нагірних дібров в умовах автоморфного живлення зумовлюють контрасти місцеположень на рівні ландшафтних місцевостей залежно від гіпсометричного рівня, особливості мезорельєфу окремих ділянок, зокрема різниця в крутизні (від 0 до 15°) та експозиції схилів, а також специфіка структури лісових угруповань різних типів лісу. Визначено тенденції динаміки значень показників екологічних режимів екосистем дубових лісів на ландшафтному рівні згідно з прогнозом зміною кліматичних умов. Синфітоіндикаційне оцінювання екологічних режимів дає змогу розв'язувати актуальні питання комплексного та економічного визначення на локальному й регіональному рівнях як поточного стану екотопів лісових екосистем, так і специфіки їхньої динаміки під впливом зміни клімату, що є важливою складовою моніторингу лісів у повоєнний період розвитку лісового господарства.

К л ю ч о в і с л о в а : синфітоіндикація, лісові екосистеми, елементи рельєфу, едафічні режими, кліматичні режими, лісовий моніторинг.

Вступ. Згідно з результатами широкомасштабного моделювання (La Querre et al. 2015), до кінця XXI ст. очікується підвищення температури на +4°C, що може спричинити незворотні зміни в довкіллі, зокрема у лісових екосистемах Європи. За сценарієм, розробленим Українським гідрометеорологічним інститутом (УкрГМІ) на основі ансамблю регіональних кліматичних моделей, в Україні холодний період року скорочуватиметься, зима стане м'якшою та вологішою, а теплий період подовжиться, стане спекотнішим і сухішим (Development 2013). Всебічне вивчення та систематизація особливостей прояву впливу зміни клімату в різних природних регіонах України, оцінювання уразливості екосистем лісів до очікуваної (прогнозованої) зміни клімату є важливими умовами для розроблення оптимальної стратегії мінімізації наслідків такого впливу, сталого управління лісами та невиснажливого лісокористування (Stoyko 2009, Buksha 2010, Bondaruk et al. 2020). В Україні вплив зміни клімату на ліси досліджували науковці УкрНДІЛГА (Buksha et al. 1998, 2014, Buksha 2010), Інституту екології Карпат (Stoyko 2009), Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного та Чернівецького національного університету (Didukh et al. 2016). Зокрема, розробляли методи прогнозного моделювання впливу зміни клімату на життєздатність головних лісоутворювальних порід для п'яти кліматичних регіонів за сценарієм МГЕЗК А1В у XXI столітті проти кліматичної норми (1961–1990 pp.) (Buksha et al. 2017a, 2017b, 2017c, 2018). Водночас кліматичні режими лісів як окремих екотопів, так і цілих регіонів можуть значно відрізнятися від кліматичних характеристик, одержаних у стандартних умовах метеостанцій і використаних для побудови кліматичних моделей, оскільки вплив зміни клімату на ліси України суттєво різниться залежно від геоморфології та рельєфу, фізичних, хімічних і гідрологічних характеристик ґрунту, типів лісів і відмінностей їхньої рослинності (Shcherban 1974, Romanova 1977, Didukh & Plyuta 1994, Havrylenko 2003, Bondaruk et al. 2020). Кліматичні зміни слід розглядати як тригерний механізм, що викликає ланцюгову реакцію, результати якої зумовлені кумулятивною дією різних факторів (Didukh 2016). Тому система досліджень специфіки й трендів кліматогенної динаміки екологічних режимів лісів має охоплювати моніторинг кліматичних та едафічних режимів екотопів лісових екосистем на локальному та регіональному рівнях організації.

Метою досліджень була синфітоіндикаційне оцінювання тенденцій динаміки значень показників едафічних і кліматичних режимів екотопів дубових лісів на ландшафтному рівні

згідно з прогнозою зміною кліматичних умов на прикладі модельного об'єкта для проведення моніторингу впливу кліматичних змін на лісові екосистеми регіону.

Матеріали й методи. Об'єкти досліджень – дубові деревостани природного (вегетативного та насінневого) походження середніх і старших класів віку сухої, свіжої та вологої кленово-липової діброви територіально-ландшафтного комплексу модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» південної частини Лівобережного Лісостепу України. Дослідні ділянки (кругові перелікові площадки радіусом 12,62 м і площею 0,05 га) закладено згідно з методичними рекомендаціями з моніторингу лісів (Methodical recommendations 2008). Ділянки розподіляли у виділі рівномірно. Загальна кількість виділів – 24, ділянок – 270. Ділянки оцінювали за належністю до елементів ландшафтно-територіальних комплексів (плакорні, долинні тощо), макрорельєфу (схилів прирічкові, балково-долинні, заплавні місцевості), мезорельєфу (верхня, середня, нижня частина схилу, тераса, низинні ділянки) із визначенням експозиції та крутизни схилів (Geography of Ukraine 1999, Ecological atlas 2005), типу лісорослинних умов (ТЛУ) та типу лісу (Ostapenko 1997). Геоботанічний опис містив повний перелік видів (Identifier of higher plants 1987, Mosyakin & Fedoronchuk 1999), які входять до складу деревостану, підросту, підліску, живого надґрунтового покриву, та оцінку їхніх рясності-покриття за комбінованою шкалою Г. М. Висоцького та Д. В. Воробйова (у балах і відсотках) (Vysotsky 1962, Vorobyov 1969).

Для визначення екологічних (едафічних і кліматичних) параметрів конкретних місцезростань використано метод синфітоіндикації 10 провідних факторів за уніфікованими шкалами екологічних амплітуд видів флори України (Didukh 2011). Кількісні індекси для фітоценозу розраховували за формулою в балах на основі середньої градації індексів рясності-покриття всіх інформативних видів. Переведення балової оцінки в абсолютні розмірності здійснювали за відповідними шкалами (Didukh 2011). Аналіз закономірностей зміни певних екологічних чинників та їхньої диференціації на лісотипологічному та ландшафтному рівнях організації охоплював розрахунок мінімальних (x_{\min}), середніх (\bar{x}) і максимальних (x_{\max}) значень екологічних режимів за типами лісорослинних умов, які пов'язані з елементами рельєфу. Для екстраполяції трендів кліматичних впливів на структуру та функції екосистем нагірних дібров південної частини Лівобережного Лісостепу шляхом розрахунку коефіцієнтів кореляції між екологічними режимами (Lakin 1980) визначено групи екофакторів середовища, які синхронно змінюються у просторі та зумовлюють екологічну специфіку майбутніх кліматичних змін екотопів.

Результати та обговорення. Територіально-ландшафтний комплекс модельного лісового масиву урочища «Великий ліс» за структурою є одним із типових для південно-східного Лісостепу України, а саме – для району Харківського лісостепу з дубовими, липово-дубовими лісами та лучними степами Середньоруського лісостепового округу Лісостепової лісогосподарської області України (Gensiruk et al. 1981, Ostapenko 1997), формується з елементів рельєфу долинних (87,8 %) і плакорних (12,2 %) природних комплексів та представлений чотирма типами місцевостей (плакорні, балково-долинні, схилів прирічкові та заплавні). Дослідні ділянки розташовані в різних елементах рельєфу долинних природних комплексів (балково-долинних та схилів прирічкових), різних елементах мезорельєфу (плато, верхніх, середніх та нижніх частинах схилів різних крутизни та експозиції, низинах, улоговинах) і типах лісу (сухий, свіжий і вологий кленово-липовий дібрових) (табл. 1).

Для режиму вологості ґрунту (H_d) лісових екотопів характерним є послідовне наростання значень від верху до низу: від сухолісолучного – D_1 – D_{1-2} ($W_{np} = 100$ – 150 мм) на вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій до проміжного між сухолісолучним і вологолісолучним (свіжолісолучним) – D_2 ($W_{np} = 150$ мм) на плато, середніх і нижніх частинах схилів переважно північної, північно-східної та північно-західної експозицій, рідше західної (тільки ділянки 137/1 та 137/2 мали східну та південно-східну експозицію, але на практично рівній місцевості з кутом крутизни до 2° (див. табл. 1)) із наближенням до вологих лісолучних оселищ (вологолісолучний режим – $D_{2(3)}$)

з тимчасово надмірним зволоженням шару ґрунту, в який проникають корені рослин ($W_{np} = 150\text{--}180$ мм) на середніх і нижніх частинах схилів і низинних ділянках північної та північно-східної експозицій балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей долинних природних комплексів.

Таблиця 1

**Характеристика дослідних ділянок за елементами рельєфу ландшафтно-територіального комплексу
 урочища «Великий ліс»**

Квартал/ виділ	Мезорельєф	Експозиція	Крутизна схилів, град.
Типи лісу: суха, суха-свіжа кленово-липові діброви (D_1, D_{1-2})			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
136/5	Верхні частини схилів	Північна	5
124/1	Верхні частини схилів	Південно-східна, східна	10
124/6	Вершина та верхні частини схилів	Південна	8
134/3	Верхні, середні частини схилів	Східна, південна	2
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
143/1	Верхні частини схилів	Північно-східна	3
Тип лісу: свіжа кленово-липова діброва (D_2)			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
114/4	Нижні частини схилів	Рівна	0
125/2	Нижні частини схилів	Рівна	0
135/8	Верхні, середні частини схилів	Північно-західна, західна	6; 10
144/2	Середні, нижні частини схилів, улоговина	Південно-східна, північно-західна	12; 6
135/6	Нижні частини схилів	Північно-західна	3
125/5	Верхні, середні, нижні частини схилів	Північна	9
134/16	Середні частини схилів	Північно-східна	5
134/15	Середні, нижні частини схилів	Північна, південна, східна	10
135/5	Середні частини схилів	Західна	7
135/7 і 136/4	Середні, нижні частини схилів	Північна, північно-західна	12
141/5	Верхні, середні, нижні частини схилів	Північно-східна	11
141/4	Середні частини схилів	Північно-східна	11
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
138/1	Середні частини схилів	Північно-східна	2
137/1	Плато	Східна	2
137/2	Верхні частини схилів	Південно-східна	2
Типи лісу: волога, волога-сира кленово-липові діброви (D_3, D_{3-4})			
Долинні природні комплекси. Балково-долинні місцевості			
134/6	Низинна місцевість; вогкі низинні ділянки	Північно-східна	8
134/2	Нижні частини схилів	Північно-східна	9
Долинні природні комплекси. Схилові прирічкові місцевості			
136/2	Середні частини схилів	Північна	8

Показники динаміки едафічних і кліматичних режимів в екотопах нагірних дібров за типами лісорослинних умов наведено в таблиці 2.

На ступінь гігроморфізму ґрунтів впливає рельєф: верхні ділянки є дренажними, тоді як у пониззях, навпаки, акумулюється волога. Збільшення зволоження ґрунту від вершин до підніжжя схилів і далі до знижень детермінує формування різних асоціацій із домінуванням у надґрунтового покриві в сухих і свіжих грудях осоки волосистої (*Carex pilosa* L.), у свіжих грудях – зірочника ланцетоподібного (*Stellaria holostea* L.), у свіжих і вологих-сирих грудях – яглиці звичайної (*Aegopodium podagraria* L.). Рівень зволоження ґрунту в нагірних дібровах має пряму кореляцію з показниками вмісту азоту (Nt) та аерації ґрунту (Ae), зворотну – з вмістом карбонатів у ґрунті (Ca), показниками термальності й континентальності клімату (Kn) (табл. 3).

**Синфітоіндикаційна оцінка едафічних і кліматичних режимів екотопів нагірних дібров
за типами лісорослинних умов**

Екологічні режими	Загалом лісова рослинність, бали		
	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}
Типи лісу: суха, суха-свіжа кленово-липові діброви (D₁, D₁₋₂)			
Вологість ґрунту (Hd)	11,61	11,96	11,77
Кислотність ґрунту (Rc)	8,04	8,27	8,13
Загальний сольовий режим (Sl)	6,46	6,76	6,59
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	7,09	7,33	7,19
Вміст азоту (Nt)	6,23	6,79	6,51
Аерація ґрунту (Ae)	6,68	7,09	6,85
Термальний клімат (Tm)	8,83	9,11	8,98
Вологість (Om)	12,61	13,07	12,82
Континентальність (Kn)	7,87	8,55	8,15
Кріоклімат (Cg)	8,48	8,67	8,57
Тип лісу: свіжа кленово-липова діброва (D₂)			
Вологість ґрунту (Hd)	11,81	12,25	12,01
Кислотність ґрунту (Rc)	7,94	8,27	8,12
Загальний сольовий режим (Sl)	6,45	6,69	6,56
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,71	7,06	6,88
Вміст азоту (Nt)	6,41	6,79	6,66
Аерація ґрунту (Ae)	6,82	7,13	6,98
Термальний клімат (Tm)	8,82	9,11	8,94
Вологість (Om)	12,67	13,24	12,93
Континентальність (Kn)	7,50	8,01	7,82
Кріоклімат (Cg)	8,36	8,77	8,56
Типи лісу: волога, волога-сира кленово-липові діброви (D₃, D₃₋₄)			
Вологість ґрунту (Hd)	12,17	12,43	12,30
Кислотність ґрунту (Rc)	7,86	8,09	7,99
Загальний сольовий режим (Sl)	6,50	6,64	6,57
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,59	6,79	6,70
Вміст азоту (Nt)	6,64	6,97	6,84
Аерація ґрунту (Ae)	7,25	7,36	7,30
Термальний клімат (Tm)	8,67	8,85	8,78
Вологість (Om)	12,82	13,00	12,91
Континентальність (Kn)	7,67	7,75	7,72
Кріоклімат (Cg)	8,41	8,54	8,47
Разом по формації Querceta roboris			
Вологість ґрунту (Hd)	11,61	12,43	12,00
Кислотність ґрунту (Rc)	7,86	8,27	8,10
Загальний сольовий режим (Sl)	6,45	6,76	6,57
Вміст карбонатів у ґрунті (Ca)	6,59	7,33	6,92
Вміст азоту (Nt)	6,23	6,97	6,65
Аерація ґрунту (Ae)	6,68	7,36	6,99
Термальний клімат (Tm)	8,67	9,11	8,93
Вологість (Om)	12,61	13,24	12,91
Континентальність (Kn)	7,50	8,55	7,88
Кріоклімат (Cg)	8,36	8,77	8,55

Кислотний режим ґрунтів (Rc) в екотопах урочища варіює в невеликому діапазоні проміжної між слабко-кислою та нейтральною (pH = 6,4–6,7) реакцією ґрунтового розчину (див. табл. 2). Кислотність ґрунтів, як і зволоження, демонструє певну залежність від гіпсометричного рівня, поступово зменшується від максимальної у 8,27 бала (виділ 136/5) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,86 бала (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилених прирічкових місцевостей (див. табл. 1).

Лужність ґрунтів (Rc) нагірних дібров прямо корелює зі вмістом карбонатів (Ca), кількістю тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік (показник терморезиму Tm), морозності мікроклімату (показник кріорежиму Cr), зворотно – з показниками аерації ґрунтів (Ae) і (див. табл. 3).

Таблиця 3

Коефіцієнти кореляції між показниками екологічних режимів екотопів нагірних дібров урочища «Великий ліс»

r	Hd	Rc	Sl	Ca	Nt	Ae	Tm	Om	Kn	Cr
Rc	-0,353									
Sl	-0,361	-0,122								
Ca	-0,832	0,446	0,322							
Nt	0,615	-0,069	-0,140	-0,549						
Ae	0,875	-0,484	-0,094	-0,763	0,656					
Tm	-0,465	0,610	-0,141	0,545	-0,235	-0,681				
Om	0,339	0,135	-0,566	-0,313	0,255	0,181	0,194			
Kn	-0,603	-0,162	0,393	0,633	-0,767	-0,561	0,175	-0,310		
Cr	-0,401	0,716	0,254	0,450	0,085	-0,418	0,634	-0,051	-0,191	

t _{факт.}	Hd	Rc	Sl	Ca	Nt	Ae	Tm	Om	Kn	Cr
Rc	-1,730									
Sl	-1,774	-0,565								
Ca	-6,869	2,283	1,577							
Nt	3,571	-0,318	-0,649	-3,012						
Ae	8,302	-2,532	-0,434	-5,416	3,984					
Tm	-2,407	3,527	-0,651	2,979	-1,109	-4,265				
Om	1,653	0,624	-3,142	-1,508	1,207	0,844	0,904			
Kn	-3,465	-0,754	1,956	3,747	-5,472	-3,105	0,813	-1,494		
Cr	-2,003	4,702	1,204	2,307	0,389	-2,110	3,753	-0,233	-0,891	

Примітки. n = 23, k = 21 і t_{st-05} = 2,08. Грубим шрифтом виділено достовірні значення, курсивом – недостовірні значення.

Просторова та сезонна динаміка рН сірих лісових ґрунтів пов’язана з розведенням ґрунтових розчинів дощовими й талими водами, явищами нітрифікації та вилуговування карбонатів, які сприяють зниженню кислотності. Висушування ґрунтів сприяє зменшенню біологічної активності та тиску CO₂, міграції («підтягуванню») карбонатів до верхніх горизонтів, полімеризації фульвокислот і, як наслідок, підвищенню рН.

Спектр умов сольового режиму (мінералізованості) ґрунтів (Sl) в екотопах схилових прирічкових і балково-долинних місцевостей урочища має невелику амплітуду: від 6,45 до 6,76 бала (див. табл. 1, 2) і характеризується найнижчим ступенем диференціації, якщо порівняти з іншими екологічними режимами. Тобто всі ґрунти за сольовим режимом наближені до збагачених солями (семієвтрофних) темно-сірих та опідзолених чорноземів із ознаками вилуговування та опідзолення (Sl = 0,015–0,02 % із вмістом HCO₃ = 0,004–0,016 % ґрунту та слідами SO₄²⁻ і Cl⁻ в деяких типах), які є типовими для екотопів лісів України формації *Querceta roboris* в південних регіонах Лісостепу (Didukh & Plyuta 1994). Як свідчать показники матриці кореляційних зв’язків (див. табл. 3), підвищення рівня мінералізованості ґрунтів нагірних дібров супроводжується зниженням гумідності мікроклімату в їхніх екотопах.

Режим вмісту карбонатів у ґрунтах (Ca) лісових екотопів змінюється в діапазоні від 6,59 до 7,33 бала (CaO, MgO від 0,6 до 1,5 %) і характеризує ґрунти, придатні для екогрупи акарбонатofilів (*Fraxinus excelsior* L., *Acer campestre* L., *Ulmus glabra* Huds., *Euonymus europaea* L., *E. verrucosa* Scop., *Mercurialis perennis* L.) – рослин нейтральних оселищ, стійких до малого вмісту карбонатів у ґрунті, які не підіймаються до верхніх горизонтів завдяки промивному режиму (див. табл. 2). Це – сірі лісові ґрунти, що утворилися на лесових породах, проте характеризуються підзолистими процесами (Didukh 2011). Динаміка вмісту

карбонатів за типами лісорослинних умов у ґрунтах екотопів урочища закономірно пов'язана зі зміною режимів зволоження та кислотності ґрунтів і, подібно до останніх, виявляє певну залежність від гіпсометричного рівня (див. табл. 1, 2). Вміст карбонатів поступово знижується від максимальної у 7,33 бала (виділ 124/6) на верхніх рівнях (вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій) балково-долинних місцевостей до 6,59 бала (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей. Вміст карбонатів у ґрунтах нагірних дібров виявляє сильну зворотну кореляцію з їхньою вологістю та вмістом азоту у ґрунтах (див. табл. 3). Вологість спряжена з рівнем вилугованості профілю автоморфних ґрунтів і їхньою гумусованістю, що збільшується зверху донизу. Це відповідає закономірностям перерозподілу вологи дощових опадів, що є фактором стоку й стимулює процеси змиву – акумуляції, які диференціюються за формами рельєфу. Від'ємний кореляційний зв'язок також виявлено між вмістом карбонатів та рівнем аерації ґрунтів. Проте останній зв'язок, унаслідок особливостей формування шкали аерації, трактується як збільшення аерації у разі збільшення вмісту в ґрунтах бікарбонатів кальцію. Підвищення вмісту карбонатів з низин угору в екотопах нагірних дібров закономірно супроводжується збільшенням лужності ґрунтів на тлі збільшення значень мікрокліматичних показників термального клімату й континентальності та зменшення морозності.

Показники нітратного режиму (Nt) ґрунтів екотопів (6,23–6,97 бала) (див. табл. 2) дають змогу віднести останні до достатньо забезпечених мінеральним азотом ($Nt = 0,3-0,4 \%$), придатних для рослин нітрофільної екогрупи (*Urtica dioica* L., *Lamium maculatum* (L.) L., *Galium aparine* L.). У міру підвищення вмісту мінерального азоту в ґрунтах синхронно відбувається збільшення в них рівня зволоження, погіршення режиму аерації та зменшення вмісту карбонатів на тлі зменшення континентальності мікроклімату (див. табл. 3). Найбільший вміст азоту в ґрунті виявлено в найтепліших для лісів і вологих умовах, де відбувається швидке розкладання органіки, й вона не вимивається, а накопичується. На схилах, де ґрунти сильніше промиваються, вміст азоту є нижчим, ніж на вирівняних і знижених ділянках рельєфу (див. табл. 1, 2). Сухі екотопи (виділи 124/6, 124/1, 136/5), які формуються на вершинах і верхніх частинах схилів переважно південної та південно-східної експозицій балково-долинних місцевостей, характеризуються найменшими показниками вмісту нітратних і аміачних форм азоту – 6,23–6,38 бала. У вологих і вологих-сирих умовах (виділи 134/6, 136/2, 134/2) на середніх і нижніх частинах схилів і низинних ділянках північної та північно-східної експозицій балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей долинних природних комплексів, де підсилюються перегнійно-акумулятивні процеси, а вилуговування затримується через процеси оглеєння, ґрунти мають більший вміст азоту – 6,64–6,97 бала.

Аерація ґрунтів (Ae) лісових екотопів також виявляє певну залежність від гіпсометричного рівня, поступово знижуючись від максимальної у 6,68 бала ($Ae = 46,1 \%$) (виділ 136/5) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,36 бала ($Ae = 39,8 \%$) (виділ 136/2) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1, 2). Такі ґрунти належать до помірно аерованих, сухих глинистих із повним зволоженням шару ґрунту опадами й талими водами або з тимчасовим зволоженням шару ґрунту ґрунтовими водами. Погіршення аерації ґрунтів в екотопах нагірних дібров кореляційно пов'язане зі зростанням їхнього зволоження, а також зі збільшенням забезпеченості мінеральним азотом за одночасного зменшення кислотності ґрунтів і вмісту в них бікарбонату кальцію (див. табл. 3), що спричиняє зниження структурованості ґрунтів і заповнення їхніх шпар вологою. Зниження аерації ґрунтів в екотопах нагірних дібров супроводжується також зменшенням показників термального клімату і континентальності та збільшенням морозності (див. табл. 3).

Спектр умов термоклімату (терморезим, Tm) екотопів має невелику амплітуду: від 8,67 бала ($43,35 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $1815 \text{ МДж м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$) до 9,11 бала ($45,55 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$, або $1907 \text{ МДж м}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$), що відповідає амплітуді радіаційного балансу в $2,2 \text{ ккал} \cdot \text{см}^{-2} \cdot \text{рік}^{-1}$

(92 Дж м²·рік⁻¹) (див. табл. 2). Термальний режим екотопів дубових лісів є характерним для лісових екотопів лісостепової термозони і сприятливим для розвитку екогрупи субмезотермальних видів (Didukh 2011). Максимальними значеннями терморезиму в урочищі вирізняються екотопи виділів підвищених ділянок рельєфу балково-долинних і схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1) у сухих і свіжих лісорослинних умовах (8,83–9,11 бала), мінімальними – середніх і нижніх частин схилів та низин північної експозиції схилових прирічкових місцевостей у вологих лісорослинних умовах (8,67–8,85 бала). Такі відмінності пояснюються різним альbedo сухих і зволжених поверхонь (Didukh & Plyuta 1994). Зменшення показників термоклімату в екотопах нагірних дібров кореляційно пов'язане зі зростанням зволоження ґрунтів, а також зі зменшенням вмісту бікарбонатів кальцію в них, підвищенням кислотності й погіршенням режиму аерації (див. табл. 3). Зниження рівня радіаційного балансу супроводжується також підвищенням морозності мікроклімату (кріорезиму).

Континентальність (контрасторезим, Kn) мікроклімату екотопів характеризується найбільшим градієнтом змінності серед кліматичних параметрів і має амплітуду від 8,55 бала (Kn = 126,5 %, або режим, проміжний між хемі-океанічним і хемі-континентальним) на верхніх рівнях балково-долинних місцевостей до 7,50 (Kn = 116,0 %, або хеміокеанічний режим) на нижніх рівнях схилових прирічкових місцевостей (див. табл. 1, 2). Подібні зміни зумовлені зменшенням амплітуди температури повітря і дефіциту його вологості у разі переходу від верхніх ділянок рельєфу до понизь схилів (Olszewski 1991). Разом із підвищенням континентальності мікроклімату збільшується вміст кальцію в ґрунтах, покращуються умови аерації ґрунтів на фоні зменшення показників зволоження й вмісту мінерального азоту у ґрунтах (див. табл. 3).

Морозність, або суворість зим (кріорезим, Cr), вирізняється низьким ступенем диференціації в екотопах нагірних дібров із тенденцією збільшення значень цього фактору згори вниз за зменшення балової оцінки від 8,77 до 8,36 бала (Cr = -5,0...-6,6°C, або режим, наближений до хемі-кріофітного з м'якими зимами) (див. табл. 1, 2). Пояснюється це тим, що найнижчі мінімальні температури повітря й максимальний показник кріоклімату характерні для від'ємних форм рельєфу – долин, улоговин, днищ балок тощо (Romanova 1977). Відомо, що сирі низовини мають нижчі показники освітлення та прогрівання, ніж вищі місцеположення; вночі сюди спрямований стік холодного повітря, яке в умовах низького продування застоюється. Завдяки цьому за незначних відмінностей у денних температурах нічні знижуються на 2,5–3,0°C, порівнюючи з горбами (Shcherban 1974). Збільшення морозності мікроклімату в екотопах нагірних супроводжується зниженням вмісту карбонатів і кислотності ґрунтів, погіршенням рівня їхньої аерації на тлі зменшення кількості тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік (див. табл. 3).

Мікрокліматичні показники аридності або гумідності (омброрезиму, Om) екотопів коливаються у вузьких межах субомброфітного режиму (див. табл.2): від 12,61 до 13,24 бала (Om = -200...0 мм) і є типовими для екотопів лісів України формації *Querceta roboris* у південних регіонах Лісостепу (Didukh & Plyuta 1994). Слабке коливання омброрезиму в лісових екотопах за елементами рельєфу та типами лісорослинних умов пояснюється оптимізацією гумідності мікроклімат під впливом лісів (Didukh 2016). Динаміка показників гумідності мікроклімату в екотопах нагірних дібров має від'ємний кореляційний зв'язок лише з одним екофактором – рівнем мінералізованості ґрунтів (див. табл. 3).

Висновки. Характер диференціації показників основних екологічних факторів в екотопах нагірних дібров південної частини Лівобережного Лісостепу в умовах автоморфного живлення зумовлений контрастами місцеположень на рівні ландшафтних місцевостей залежно від гіпсометричного рівня, особливостями мезорельєфу окремих ділянок, зокрема різницею в крутизні (від 0 до 15°) та експозиції схилів, а також специфікою структури лісових угруповань різних типів лісу.

За ординаційною матрицею кореляційних зв'язків екологічних факторів визначено закономірності динаміки екологічних режимів в екотопах нагірних дібров за загальносвітової тенденції аридизації клімату. На фоні збільшення кількості тепла, яке потрапляє на 1 см² поверхні за рік, насамперед відбуватиметься зменшення суворості зим і збільшення континентальності мікроклімату, підвищення випаровування вологи та зниження гумідності, які призведуть до зменшення зволоження і вмісту мінерального азоту в ґрунтах, збільшення лужності, вмісту карбонатів та рівня аерації ґрунтів, а також до незначного підвищення мінералізованості ґрунтів нетоксичними солями гідрокарбонатів. Зміни екологічних режимів відбуватимуться по чергово від верхніх рівнів (вершин і верхніх частин схилів південної та південно-східної експозицій) балково-долинних місцевостей до нижніх рівнів схилів прирічкових місцевостей північної експозиції.

Синфітоіндикаційна оцінка екологічних режимів дає змогу розв'язувати актуальні питання комплексного та економного визначення на локальному й регіональному рівнях як поточного стану екотопів лісових екосистем, так і специфіки їхньої динаміки під впливом зміни клімату, що є важливою складовою моніторингу лісів у повоєнний період розвитку лісового господарства.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bondaruk, M. A., Buksha, I. F., Tselishchev, O. H. 2020. Synphytoindication modeling of climatopes of forest ecosystems on the base of forest monitoring data in Forest-Steppe region of Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 136: 117–125 (in Ukrainian).

Buksha, I. 2010. Study of climate change impact on forest ecosystems, and development of adaptation strategies in forestry of Ukraine. *Climate Change Impacts on Forest Management in Eastern Europe and Central Asia: Dimensions, impacts, mitigation and adaptation policies*. Forests and Climate Change Working Paper 8. (Csaba Matyas, Ed.). FAO, 157–179.

Buksha, I., Bondaruk, M., Buksha, M., Tselishev, O., Pyvovar, T., Pasternak, V. 2017a. [Electronic resource]. Vulnerability assessment of the main forest tree species due to climate change in Ukraine (Poster). IUFRO 125th anniversary world congress (18–22 September, 2017). Freiburg, Germany, 427. Available at: http://iufro2017.com/wp-content/uploads/2017/11/IUFRO17_Abstract_Book.pdf (accessed 07.02.2023).

Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselishchev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I. 2018. Modeling the impact of climate change on phytocenoses of forest beech in Ukraine. In: *The main problems and trends of further development of forestry in the Ukrainian Carpathians*. Proceedings of International Scientific and Practical Conference. Ivano-Frankivsk, p. 154–160 (in Ukrainian).

Buksha, I. F., Bondaruk, M. A., Tselishev, O. H., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P. 2017b. Modelling the impact of climate change on the viability of scots pine and english oak of lowland forests of Ukraine *Forestry and Forest Melioration*, 130: 146–158 (in Ukrainian).

Buksha, I. F., Gozhik, P. F., Emelaynova, J. L., Trofimova, I. V., Shereshevskiy, A. I. 1998. Ukraine and global green-house effect. Book 2. Vulnerability and adaptation of ecological and economic systems to climate changes. Kyiv, Publishing house of Agency on rational use of energy and ecology, 208 p. (in Ukrainian).

Buksha, I. F., Pyvovar, T. S., Buksha, M. I. 2014. Vulnerability assessment of eastern Ukrainian forests to climate change: case study on the base of GIS technology use. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 12: 30–37.

Buksha, I. F., Shvydenko, A. Z., Bondaruk, M. A., Tselishchev, O. H., Pivovar, T. S., Buksha, M. I., Pasternak, V. P., Krakovska, S. V. 2017c. Methodology for modeling and assessing the impact of climate change on forest phytocenoses of Ukraine. *Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening*, 266: 26–38 (in Ukrainian).

Identifier of higher plants of Ukraine. 1987. [Prokudin, Yu.N., Ed.]. Kyiv, Naukova dumka, 548 p. (in Russian).

Development of medium- and long-term climate change scenarios in Ukraine using global and regional models' data. 2013. [Electronic resource]. Ukrainian Hydrometeorological Institute, 135 p. Available at: www.uhmi.org.ua/project/rvndr (accessed 07.02.2023) (in Ukrainian).

Didukh, Ya. P. 2011. The ecological scales for the species of Ukrainian flora and their use in synphytoindication. Kyiv, Phytosociocentre, 176 p.

Didukh, Ya. P. 2016. Climatogenic changes in the flora of the Ukrainian Carpathians. Chernivtsi, Druk Art, 280 p. (in Ukrainian).

Didukh, Ya., P. and Plyuta, P. G. 1994. Phytoindication of environmental factors. Kyiv, Naukova Dumka, 280 p. (in Ukrainian).

Ecological atlas of Kharkiv region. 2005. Second edition. Kharkiv, 83 p. (in Russian).

- Gensiruk, S. A., Bondar, V. S., Shevchenko, S. V. et al.* 1981. Integrated forestry zoning of Ukraine and Moldova. Kyiv, Naukova Dumka, 360 p. (in Russian).
- Geography of Ukraine. Atlas 1999. Kyiv, NVP Cartography, 41 p. (in Ukrainian).
- Havrylenko, E. P.* 2003. Landscape and ecological substantiation of territorial schemes and nature management projects. Kyiv Phytosociocentre, 188 p. (in Russian).
- Lakin, G. F.* 1980. Biometrics. Moscow, Vysshaya Shkola, 293 p. (in Russian).
- Le Quéré, C. et al.* 2015. Global carbon budget 2014. Earth System Science Data, 7: 47–55.
- Methodical recommendations for forest monitoring in Ukraine Level I. 2008. Buksha, I. F. (Ed.). Kharkiv, URIFFM, 47 p. (in Ukrainian).
- Mosyakin, S. L. and Fedoronchuk, M. M.* 1999. Vascular plants of Ukrain. A nomenclatural checklist. Kyiv, Institute of Botany, 346 p.
- Ostapenko, B.F.* 1997. Typological diversity of forests of Ukraine. Forest-Step. Kharkiv, Kharkiv State Agrarian University, 128 p. (in Ukrainian).
- Olszewski, J. L.* 1991. Rola ekosystemow lesnych w modifkacji termoklimatu lokalnego Puszczy Bialowieskiej. Acta Univ. Wratisl. 1213: 109–114.
- Romanova, E. N.* 1977. Microclimatic variability of the main climate elements. Leningrad, Hydrometeoizdat, 289 p. (in Russian).
- Shcherban, M. I.* 1974. Microclimate of natural and transformed landscapes of the plain part of the Ukrainian SSR. Extended abstract of PhD dissertation. Kyiv, 52 p. (in Russian).
- Stoyko, S. M.* 2009. The potential environmental impacts of global warming on forest formations of Ukrainian Carpathians. Scientific Bulletin of UNFU, 19.15: 214–224 (in Ukrainian).
- Vorobyov, D. V.* 1969. Methods of forest typology research. Kyiv, Urozhay, 388 p. (in Russian).
- Vysotsky, G. N.* 1962. Biological, soil and phenological observations and research in Veliko-Anadol. 1901–1902. Selected works. Vol. 1. Moscow, AN SSSR, p. 159–497 (in Russian).

Bondaruk M. A., Tselishev O. G.

LANDSCAPE DIFFERENTIATION AND TRENDS IN CLIMATOGENIC DYNAMICS OF ECOLOGICAL REGIMES WITHIN ECOTOPES OF UPLAND OAK FORESTS IN THE SOUTHERN PART OF THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE OF UKRAINE

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

A synphyto-indicative assessment of the upland oak forest ecosystem ecotopes within the territorial-landscape complex of the Velykyi Lis model forest massif located in the southern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine was carried out. It was found that the nature of the differentiation of indicators of the main ecological factors within the ecotopes of upland oak forests under conditions of automorphic nutrition is determined by the contrasts of locations at the level of landscape areas depending on the hypsometric level, the features of the meso-relief of individual areas, in particular, the difference in steepness (from 0 to 15°) and the slopes aspects, as well as the specifics of the forest communities' structure in different forest types. The trends for the characteristics of ecological regimes of oak forest ecosystems at the landscape level have been determined according to the predicted changes in climatic conditions.

The synphyto-indicative assessment of ecological regimes allows solving topical issues of complex and economical determination at the local and regional levels of both the current state of ecotopes of forest ecosystems and the specifics of trends in their chronological dynamics under the influence of climate changes, which is an important component of forest monitoring in the post-war period of forestry development.

К e y w o r d s : synphytoindication, forest ecosystems, relief elements, edaphic regimes, climatic regimes, forest monitoring.

E-mail: bm1961@ukr.net

Одержано редколегією 21.02.2023



О. В. ЖУКОВСЬКИЙ¹, В. П. КРАСНОВ², Т. В. КУРБЕТ^{1,2}, З. М. ШЕЛЕСТ²
ОСОБЛИВОСТІ СУЧАСНОГО РАДІОАКТИВНОГО ЗАБРУДНЕННЯ ЛІСІВ
ВОЛИНСЬКОГО ТА ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ

¹Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації
ім. Г. М. Висоцького

²Державний університет «Житомирська політехніка»

Наведено результати досліджень рівнів радіоактивного забруднення площ лісів Волинського та Житомирського Полісся, а також вертикальний перерозподіл ¹³⁷Cs в ґрунті. Матеріали лісовпорядкування свідчать, що в регіоні досліджень необхідно обстежити 56 816,9 га лісових насаджень із метою їхньої реабілітації. Результати повторних обстежень (2020 р.) демонструють зменшення рівнів радіоактивного забруднення лісових насаджень від 1,2 до 15,6 разу. Також виявлено значну мозаїчність щільності радіоактивного забруднення ґрунту ¹³⁷Cs у межах лісових кварталів: коефіцієнт варіації сягає 52,5 %. Виявлено, що в ґрунтах вологих суборів і сугрудів відбулося суттєве заглиблення ¹³⁷Cs. Проте існують певні відмінності у цьому процесі. У вологих суборах значна кількість радіонукліда міститься у лісовій підстилці – 13,68 %, у вологих сугрудах цей показник становить лише 3,11 %; у 10-сантиметровому шарі мінеральної частини ґрунту у вологих суборах міститься 74,7 % ¹³⁷Cs, а у вологих сугрудах – 87,26 %.

К л ю ч о в і с л о в а : лісовий фонд, щільність забруднення ґрунту ¹³⁷Cs, лісова підстилка, ЧАЕС.

Вступ. Аварія на Чорнобильській АЕС призвела до радіоактивного забруднення величезних площ лісів Полісся України, що, зі свого боку, викликало необхідність заборони проведення лісогосподарських та лісозаготівельних робіт і перегляду численних положень щодо лісокористування. Запровадження різноманітних заборон та обмежень було обґрунтоване інформацією щодо рівнів радіоактивного забруднення територій (щільності радіоактивного забруднення ґрунту) та наукових даних про накопичення й розподіл радіонуклідів у лісових екосистемах та їхніх певних складових (Kaletnyk et al. 1990).

Широкомасштабне обстеження лісів щодо радіоактивного забруднення в Україні відбувалося протягом 1991–1992 рр. та охоплювало всі лісові масиви Полісся, більшу частину масивів у Лісостепу та вибірково – у Степу. Ці роботи проводили за єдиною методикою, яка враховувала результати попередніх обстежень забруднених радіонуклідами лісів і відомі на той час закономірності розподілу радіонуклідів у ґрунтах. Враховували також фінансовий ресурс: для виконання робіт було виділено певний обсяг фінансування на 100 га лісових насаджень. Перший фактор (інформація щодо розподілу радіонукліда у ґрунті) визначив глибину взяття зразків ґрунту (до 10 см), а другий (об'єми фінансування) – кількість зразків на одиницю площі. Через недостатнє фінансування цих робіт не всі лісові квартали було обстежено, оскільки значна їхня кількість мала площу, меншу за 100 га (Krasnov 1998). Втім, матеріали цього обстеження використовують донині. Також цю інформацію покладено в основу «Рекомендацій з ведення лісового господарства в умовах радіоактивного забруднення» (Recommendations for forest management 1995). Численні положення цих Рекомендацій у подальшому періодично актуалізували відповідно до наявних на конкретний час уявлень щодо накопичення та розподілу радіоактивних елементів у лісових екосистемах та у певних їхніх компонентах.

Із часом радіаційна ситуація в лісах поступово змінювалася: відбувався перерозподіл радіонуклідів між складовими лісових екосистем, зниження загального радіоактивного забруднення територій унаслідок фізичного розпаду радіонуклідів тощо (Orlov et al. 2002). Ці обставини потребували перегляду не лише згаданих «Рекомендацій з ведення лісового господарства», але й баз даних щодо радіоактивного забруднення лісів. Необхідна була їхня актуалізація та деталізація. Науковцями розроблено, а Державним комітетом лісового господарства України (нині – Державне агентство лісових ресурсів) у 2005 р. затверджено «Концепцію реабілітації лісів, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на Чорнобильській АЕС». Цей документ містив: обґрунтування необхідності реабілітації лісів; нормативну базу, основні критерії, методологію, цілі, які необхідно ставити, розробляючи

програми реабілітації лісів; основні визначення, терміни (насамперед термін «реабілітація лісів»), послідовність і умови проведення реабілітації лісів. Визначено, що реабілітація лісів – це поступове відновлення господарської діяльності та використання продукції лісового господарства на територіях, забруднених радіонуклідами. У пункті, який визначав послідовність реабілітації лісів, зазначено, що насамперед потрібно обстежувати лісові квартали, які мають щільність забруднення ґрунту ^{137}Cs понад $555 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$, а потім – $260\text{--}555 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ та $< 260 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$. Подібна послідовність була продиктована необхідністю забезпечити працівників лісового господарства на площах із високими рівнями радіоактивного забруднення. Крім того, була потреба у відновленні лісокористування в лісових насадженнях, де було заборонено проведення лісогосподарських заходів і стан яких погіршувався (Buzun & Prystupa 1999).

Прийняття вищезгаданого документа дало змогу науковцям розробити «Методичні рекомендації з реабілітації лісів на територіях, забруднених радіонуклідами внаслідок аварії на ЧАЕС» (Krasnov et al. 2006) та «Методику обстеження радіаційно забруднених лісів із метою їх реабілітації (на період 2010–2015 рр.)» (Krasnov et al. 2010). Останній нормативний документ рекомендував під час обстеження лісового кварталу з метою його реабілітації (за щільності радіоактивного забруднення ґрунту $370,1 \text{ kBк}\cdot\text{м}^{-2}$ і більше) відбирати змішані зразки як мінімум у 20 таксаційних виділах. Кожен змішаний зразок мав складатися з п'яти одинарних зразків, які відбирали по всій площі виділу відповідно до запропонованих методик. Відбирати зразки ґрунту пропонувалося на глибину 10 см. Ця методика давала можливість скласти загальне об'єктивне уявлення щодо щільності радіоактивного забруднення ґрунту в межах кожного лісового кварталу.

За період чинності вищезгаданої методики (12 років) відомчими лабораторіями радіаційного контролю на замовлення лісогосподарських підприємств було обстежено певну кількість лісових кварталів. Отримані матеріали надходили до лісовпорядних підприємств, які використовували їх для проектування лісогосподарських і лісозаготівельних робіт. Водночас дані не аналізували щодо їхньої об'єктивності та можливості вдосконалення. Деякі узагальнення було зроблено в перші роки з початку робіт з реабілітації лісів (Krasnov et al. 2015). Дослідники відзначили суттєве зниження рівнів радіоактивного забруднення лісових насаджень та запропонували створити об'єднаний електронний банк даних, куди планували внести результати обстеження лісів 1991–1992 рр. та результати, які будуть отримані під час обстеження лісів з метою їхньої реабілітації. Деяко пізніше дослідники, які вивчали перерозподіл ^{137}Cs у лісових ґрунтах, виявили, що від часу надходження радіонукліда до лісових екосистем відбулося його суттєве заглиблення в ґрунт. Ці результати свідчили про те, що методики обстеження лісів з метою їхньої реабілітації слід переглянути (Krasnov et al. 2016).

Мета дослідження – проаналізувати та узагальнити сучасні матеріали щодо радіоактивного забруднення лісів, а також сформулювати пропозиції щодо уніфікації методики обстеження лісів з метою їхньої реабілітації.

Матеріали й методи. У процесі досліджень використовували електронну базу даних із обстеження лісових насаджень Житомирського обласного управління лісового та мисливського господарства (1991–1992 рр.), створену лабораторією радіоекології Поліського філіалу УкрНДІЛГА. Із метою визначення сучасних площ лісів, забруднених радіонуклідами у Волинській, Рівненській та Житомирській областях, використовували сучасну реляційну базу даних «Лісовий фонд України».

Розподіл ^{137}Cs в лісових ґрунтах досліджували на постійних пробних площах (ППП), закладених у 1991 р. Вони розташовані у вологому сугруді (склад насадження – 5С34Ос1Бп+Дз) (ДП «Ліси України» філія «Лугинське лісове господарство», Лугинське л-во, ППП № 1) та у вологому суборі (склад насадження – 10С) (ДП «Ліси України» філія «Лугинське лісове господарство», Повчанське л-во, ППП № 15). Для радіоекологічної характеристики ґрунтів на кожній пробній площі закладали три ґрунтові профілі. Із кожного

грунтового профілю з площі 500 см² відбирали зразки лісової підстилки за шарами (фракції за ступенем розкладання – нерозкладена, напіврозкладена та розкладена). Мінеральні горизонти відбирали пробовідбірником (25 × 20 × 2 см) за шарами 2 см завтовшки, в об'ємі 1 000 см³, до глибини 40 см. Усі зразки висушували до повітряно сухого стану, гомогенізували на пробопідготовлювачі ПРП-1 та зважували. Спектрометричні дослідження питомої активності ¹³⁷Cs у зразках проводили на двох гамма-спектрометрах: СЕГ-001 «АКП-С»-63 та СЕГ-001 «АКП-С»-150 із використанням еталонованого посуду: посудини Марінеллі 1 000 см³; посудини Марінеллі 500 см³ та посудина Дента 135 см³ (Program for controlling 2004). Похибка вимірювання не перевищувала 12 %. Середні величини щільності радіоактивного забруднення ґрунту, а також показники їхніх відхилення й точності розраховували за загальноприйнятими методиками (Tsarenko et al. 2000).

Результати та обговорення. Погодні умови під час гострого періоду аварії на Чорнобильській АЕС і надходження радіонуклідів в атмосферу зумовили особливості просторового розподілу площ найбільшого радіоактивного забруднення взагалі та лісових масивів безпосередньо. До таких територій належать ті, що знаходяться в західному напрямку від джерела радіоактивних викидів, – лісові насадження Волинського та Житомирського Полісся. Матеріали останнього обстеження лісів (табл. 1) свідчать, що найбільші площі з високими рівнями радіоактивного забруднення лісів розташовані в ближчій до ЧАЕС області – Житомирській. У міру збільшення відстані до зруйнованого реактора ці площі й рівні забруднення зменшуються. Згідно з чинними нормативними документами, які регламентують проведення лісогосподарських і лісозаготівельних робіт та лісокористування взагалі, у регіоні на площі 32 400 га лісів було заборонено проведення будь яких робіт, окрім гасіння пожеж. Крім того, на площі 77 000 га було запроваджено деякі обмеження щодо використання деревини. Зазначені обмеження стосувалися переважно лісів Житомирської області. У Рівненській області існували обмеження щодо використання деревини для певних цілей на площі 11 000 га. У Волинській області не було виявлено лісових насаджень зі щільністю радіоактивного забруднення ґрунту понад 185 кБк·м⁻², і обмеження стосувалися лише використання недеревної продукції лісу.

Таблиця 1

Розподіл площ лісів Волинської, Рівненської та Житомирської областей за зонами радіоактивного забруднення ¹³⁷Cs+¹³⁴Cs (Krasnov 1998)

Область	Розподіл забруднених радіонуклідами лісів (тис. га) за щільністю радіоактивного забруднення, кБк·м ⁻²					разом
	до 37,0	37,1–74,0	74,1–185,0	185,1–555,0	понад 555,0	
Волинська	136,2	36,9	5,3	–	–	178,4
Рівненська	293,6	215,3	151,6	11,0	–	671,5
Житомирська	292,4	182,5	158,3	66,7	32,4	732,3
Разом	722,2	424,7	315,2	77,7	32,4	1 582,2

Відповідно до рівнів радіоактивного забруднення лісів, нормативними документами Державного комітету лісового господарства обласним управлінням лісового господарства пропонувалося визначити масштаби й темпи проведення повторного обстеження лісів із метою їхньої реабілітації (табл. 2). Насамперед було заплановано проведення подібних робіт у лісових кварталах зі щільністю радіоактивного забруднення ґрунту понад 555,0 кБк·м⁻² та від 185,1 до 555,0 кБк·м⁻², тобто у тих, де існували заборона або обмеження проведення лісогосподарських і лісозаготівельних робіт. Закономірно, що найбільші об'єми обстеження заплановано в Житомирській області, й вони зменшувались у міру віддалення від ЧАЕС. У лісогосподарських підприємствах східного Полісся ці обстеження були більш інтенсивними, ніж у Волинському та Житомирському Поліссі.

Аналіз сучасних матеріалів лісовпорядкування дав змогу визначити, що в них окремо обліковують площі тих лісових кварталів, які мають щільність радіоактивного забруднення понад 370,0 кБк·м⁻². Це, напевно, пов'язане з тим, що в нормативних документах із

реабілітації лісів рекомендовано саме в цих лісових кварталах проводити повидільне обстеження. Узагальнення цих матеріалів свідчить, що в Житомирській області потребують обстеження 56 816,9 га лісових насаджень із метою їхньої реабілітації. Слід зазначити, що за даними обстеження 1991–1992 рр. таких площ у Житомирській області виявлено менше – 48 800 га. Це може свідчити про поповнення території лісгосподарських підприємств сільськогосподарськими угіддями й лісами з високими рівнями радіоактивного забруднення.

Таблиця 2

Площі лісів, які підлягають обстеженню з метою їхньої реабілітації, за областями, тис. га

Область	Площа лісів, рекомендована до обстеження	Площі обстеження за роками						
		2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016-2020
Волинська	19,62	4,20	4,10	4,80	3,17	3,35	–	–
Рівненська	194,12	28,25	51,29	31,57	44,06	8,70	30,25	–
Житомирська	291,25	3,00	9,00	9,00	13,90	14,60	3,10	238,65
Разом	640,37	58,26	90,05	76,59	89,04	41,98	45,80	238,65

Для визначення можливих змін рівнів радіоактивного забруднення лісів у регіоні досліджень із часом нами проведено обстеження лісових кварталів у частині лісництв державних підприємств «Лугинське лісове господарство», «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» та «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» Житомирської області, у яких було заборонено проведення лісгосподарських і лісозаготівельних робіт (табл. 3).

Таблиця 3

Значення щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs у лісових кварталах, визначені у 2020 та 1991–1992 роках, кБк·м⁻²

Лісництво	№ кварталу	Кількість зразків, шт.	Статистичні параметри показника щільності радіоактивного забруднення, станом на 2020 р.							Щільність радіоактивного забруднення, визначена у 1992 р.
			M	±m	±σ	max	min	V, %	P, %	
Філія «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України» (ДП «Лугинський лісгосп»)										
Липницьке	36	11	93,5	10,14	33,6	161,0	60,3	36,0	10,8	777,0
	37	15	84,8	7,73	29,9	128,0	25,2	35,3	9,1	–
Лугинське	43	8	124,6	14,03	39,7	190,2	83,6	31,9	11,3	621,6
	48	6	58,0	7,83	19,2	95,8	43,3	33,1	13,5	921,3
	50	20	109,9	4,92	22,0	156,9	55,5	20,0	4,5	488,4
	76	19	98,4	3,63	15,8	140,6	66,6	16,1	3,7	828,8
	79	30	99,9	5,94	32,5	162,4	33,7	32,6	5,9	418,1
	82	35	133,5	10,55	62,4	355,9	36,6	46,8	7,9	–
	84	20	250,6	10,62	47,5	340,4	175,4	19,0	4,2	1 061,9
	85	36	242,9	19,17	115,0	465,1	61,8	47,3	7,9	599,4
	86	26	212,2	11,33	57,8	335,2	92,9	27,2	5,3	995,3
	87	10	191,3	20,64	65,3	305,3	47,0	34,1	10,8	865,8
	91	32	77,9	6,99	39,6	148,7	21,5	50,8	9,0	643,8
Повчанське	50	20	186,9	13,43	60,0	341,5	82,1	32,1	7,2	658,6
	52	20	207,0	12,90	57,7	332,3	96,6	27,9	6,2	747,4
Повчанське	50	20	187,9	14,81	66,2	352,6	88,1	35,3	7,9	647,5
	52	20	95,5	11,22	50,2	175,4	12,2	52,5	11,7	451,4

Продовж. табл. 3

Лісництво	№ кварталу	Кількість зразків, шт.	Статистичні параметри показника щільності радіоактивного забруднення, станом на 2020 р.							Щільність радіоактивного забруднення, визначена у 1992 р.
			<i>M</i>	$\pm t$	$\pm\sigma$	max	min	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %	
Філія «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» (ДП «Овруцький спецлісгосп»)										
Виступовицьке	17	19	87,7	6,87	29,9	130,2	40,7	34,2	7,8	373,7
	25	20	106,3	8,88	39,7	174,3	60,3	37,4	8,4	506,9
	48	19	79,9	2,99	13,0	102,5	52,5	16,3	3,7	366,3
	51	20	46,5	2,40	10,7	73,3	28,9	23,1	5,2	432,9
	52	20	68,6	4,41	19,7	116,9	38,1	28,8	6,4	658,6
	73	20	136,0	4,41	19,7	168,4	95,5	14,5	3,2	399,6
Журбенське	17	20	85,5	8,18	36,6	167,2	25,2	42,8	9,6	636,4
	18	20	73,8	6,94	31,0	123,6	20,0	42,0	9,4	170,2
Ситовецьке	8	20	105,9	4,84	21,7	146,2	76,6	20,5	4,6	347,8
Філія «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» (ДП «Народицький спецлісгосп»)										
Базарське	31	5	233,7	34,41	76,9	290,5	109,2	32,9	14,7	858,4
	33	18	292,1	14,58	61,9	359,3	152,4	21,2	5,0	–
	78	14	105,6	9,06	33,9	170,2	56,2	32,1	8,6	769,6
	79	15	135,0	14,70	56,9	260,5	89,2	42,2	10,9	625,3
Закусилівське	21	9	76,2	11,49	34,5	125,1	43,7	45,2	15,1	–
	22	20	92,5	8,27	37,0	175,0	34,4	40,0	8,9	506,9
	23	12	128,7	7,32	25,4	159,5	89,9	19,7	5,7	–
Кліщівське	62	16	187,6	11,99	47,9	278,2	83,3	25,6	6,4	1 635,4
	65	20	245,3	15,28	68,3	360,4	125,8	27,9	6,2	–
	66	20	210,3	12,68	56,7	358,9	98,4	27,0	6,0	832,5

Закінчення табл. 3

Лісництво	№ кварталу	Кількість зразків, шт.	Статистичні параметри показника щільності радіоактивного забруднення, станом на 2020 р.							Щільність радіоактивного забруднення, визначена в 1992 р.
			<i>M</i>	$\pm t$	$\pm\sigma$	max	min	<i>V</i> , %	<i>P</i> , %	
Філія «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» (ДП «Народицький спецлісгосп»)										
Кліщівське	67	20	226,2	17,51	78,3	354,1	115,1	34,6	7,7	–
Радчанське	33	20	119,0	5,72	25,6	167,2	75,5	21,5	4,8	144,3
	34	20	86,2	7,38	33,0	168,7	47,7	38,3	8,6	–

Примітка. *M* – середнє значення; $\pm t$ – похибка середнього значення; $\pm\sigma$ – стандартне відхилення; max – максимальне значення; min – мінімальне значення; *V* – коефіцієнт варіації, %; *P* – коефіцієнт точності дослідження, %.

Отримані результати демонструють зменшення рівнів радіоактивного забруднення лісових насаджень в усіх обстежених лісових кварталах, але показники дуже різняться. Так, у ДП «Лугинське лісове господарство» це зменшення становить від 2,5 до 15,9 разу, в ДП «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» – від 2,3 до 9,3 разу, у ДП «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» – від 1,2 до 8,7 разу. Необхідно зазначити, що об'єктивне зменшення щільності радіоактивного забруднення ґрунту може відбуватися внаслідок фізичного розпаду радіонукліда, переміщення радіонуклідів до компонентів

лісових екосистем (насамперед до рослин), а також часткового винесення за їхні межі. Для більшості обстежених лісових кварталів фактично визначені сучасні значення щільності радіоактивного забруднення ґрунту виявилися набагато меншими, ніж ті, які були визначені у 1991–1992 рр. Ці зниження не можна пояснити лише зазначеними вище об'єктивними причинами. Втім, існують також суб'єктивні причини і, певно, саме вони пояснюють виявлені розходження. Насамперед необхідно констатувати, що під час проведення обстеження лісів у 1991–1992 рр. відповідно до методики відбирали лише один зразок на лісовий квартал розміром 1×1 км. Зразок був змішаним, його готували з п'яти менших зразків, які відбирали по кутах і в центрі лісового кварталу. Враховуючи значну мозаїчність радіоактивного забруднення лісів, сформований таким чином зразок не міг об'єктивно відображати дійсні радіаційні умови в таксаційних виділах. Крім того, зразки могли відбирати в найбільш забруднених радіонуклідами частинах кварталу після вимірювання експозиційної дози гамма-випромінювання, оскільки в ті часи так намагалися убезпечити працівників лісового господарства від переопромінення.

Матеріали, отримані нами тепер, свідчать також про значну мозаїчність щільності забруднення ґрунту ^{137}Cs в межах лісових кварталів. Так, у філії «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України» величина коефіцієнта варіації сягала 52,5 %, у філії «Овруцьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» – 42,8 %, у філії «Народицьке спеціалізоване лісове господарство» ДП «Ліси України» – 45,2 %. Конкретніше демонструють виявлену мозаїчність значення щільності радіоактивного забруднення ґрунту в окремих таксаційних виділах. Так, наприклад, у лісовому кварталі № 85 Лугинського лісництва філії «Лугинське лісове господарство» ДП «Ліси України» є таксаційні виділи, в яких цей показник становив від 62,9 до 466,2 $\text{кБк}\cdot\text{м}^{-2}$. У першому випадку це дає змогу використовувати деревину без обмежень, зокрема вільхи чорної, а в другому – вимагає обмежень для певного використання деревини. Подібні тенденції властиві й іншим лісовим кварталам. Ці обставини потребують дієвого радіаційного контролю продукції лісового господарства, а також відбору великої кількості зразків ґрунту для визначення величини його радіоактивного забруднення під час радіоекологічних досліджень у лісових насадженнях.

Обстеження в лісових кварталах, перелічених вище, проводили шляхом відбору зразків ґрунту в більшій частині таксаційних виділів. Тому кількість зразків була різною. Після опрацювання результатів аналізів із використанням методів варіаційної статистики виявилось, що точність результатів становила від 15,08 до 3,25 %, що є достатнім для подібних робіт. Вона була вищою в тих лісових кварталах, в яких відбирали більшу кількість зразків ґрунту. З метою обґрунтування кількості необхідних зразків ґрунту для досягнення результатів з необхідною точністю нами проведено розрахунки для частини обстежених лісових кварталів (табл. 4). Відбирали квартали, в яких була найбільша кількість таксаційних виділів, що в підсумку дало можливість відібрати найбільшу кількість зразків ґрунту. Природньо, що в усіх лісових кварталах точність досліджень збільшується в разі збільшення кількості спостережень. Ці результати можуть бути використані для проведення наукових досліджень і обстеження лісів на радіоактивне забруднення.

Аналіз отриманих статистичних показників щодо середньої щільності радіоактивного забруднення ^{137}Cs лісових кварталів за різної кількості спостережень дає змогу також зробити деякі узагальнення. По-перше, високі величини коефіцієнтів варіації означають, що донині зберігається значна мозаїчність радіоактивного забруднення лісових кварталів. По-друге, про високу мозаїчність радіоактивного забруднення лісів також свідчить низька точність визначення середньої щільності радіоактивного забруднення навіть за значної кількості спостережень (до 36 визначень). Крім того, це доводить необхідність подальшого радіаційного контролю продукції лісового господарства.

Статистичні показники значення щільності забруднення ґрунту ¹³⁷Cs лісових кварталів за різної кількості спостережень у Лугинському лісництві ДП «Лугинський лісгосп» (2020 р.)

№ кварталу	Кількість спостережень, шт.	Статистичні параметри значення щільності радіоактивного забруднення, кБк·м ⁻²						
		<i>M</i>	$\pm m$	$\pm\sigma$	max	min	V, %	P, %
82	35	133,3	10,52	62,2	355,2	37,0	46,7	7,9
	30	119,0	8,26	45,2	229,4	37,0	38,0	6,9
	25	118,5	9,36	46,8	229,4	37,0	39,5	7,9
	20	119,9	9,28	41,5	181,3	37,0	34,6	7,7
	15	117,9	11,49	44,5	181,3	37,0	37,7	9,7
	10	122,8	14,48	45,8	181,3	62,9	37,3	11,8
	5	99,2	20,51	45,9	173,9	62,9	46,3	20,7
85	36	243,3	19,16	114,9	466,2	62,9	47,2	7,9
	30	242,7	21,16	115,9	466,2	62,9	47,8	8,7
	25	216,5	21,03	105,2	466,2	62,9	48,6	9,7
	20	198,7	24,12	107,9	466,2	62,9	54,3	12,1
	15	214,1	30,86	119,5	466,2	62,9	55,8	14,4
	10	207,2	33,92	107,3	444,0	74,0	51,8	16,4
	5	237,5	63,36	141,7	444,0	74,0	59,6	26,7
91	32	77,8	7,02	39,7	148,0	22,2	51,0	9,0
	30	80,7	7,18	39,3	148,0	22,2	48,7	8,9
	25	88,7	7,54	37,7	148,0	25,9	42,5	8,5
	20	96,9	8,24	36,9	148,0	44,4	38,0	8,5
	15	91,8	9,55	37,0	148,0	44,4	40,3	10,4
	10	96,9	12,50	39,5	148,0	44,4	40,8	12,9
	5	110,3	20,85	46,6	148,0	44,4	42,3	18,9
79	30	99,9	5,92	32,4	162,8	33,3	32,4	5,9
	25	92,9	6,03	30,1	155,4	33,3	32,4	6,5
	20	88,1	6,43	28,8	151,7	33,3	32,7	7,3
	15	86,1	8,30	32,1	151,7	33,3	37,3	9,6
	10	84,7	8,26	26,1	144,3	44,4	30,8	9,8
	5	80,7	9,89	22,1	99,9	44,4	27,4	12,3
84	20	250,7	10,66	47,7	340,4	173,9	19,0	4,3
	15	260,7	13,23	51,2	340,4	173,9	19,6	5,1
	10	261,6	17,11	54,1	333,0	173,9	20,7	6,5
	5	242,7	18,37	41,1	296,0	188,7	16,9	7,6

Вище ми відзначали, що радіаційна ситуація в лісових екосистемах змінилася також унаслідок перерозподілу радіонуклідів у них, і насамперед у ґрунті. Саме знаходження радіонуклідів у коренезаселеному шарі ґрунту визначає інтенсивність їхнього надходження до рослин. Крім того, у зв'язку з вертикальною міграцією радіоактивних елементів у ґрунті (заглиблення) необхідний контроль наявних методичних підходів щодо глибини відбору зразків ґрунту. Ми вже зазначали, що в методиці з реабілітації лісів запропоновано відбирати зразки на глибину 10 см. Для обґрунтування цієї пропозиції ми проаналізували розподіл ¹³⁷Cs у різних шарах ґрунту у вологих суборах і сугрудах (табл. 5).

**Вміст ¹³⁷Cs в шарах ґрунту у вологих суборах (ППП № 15)
та вологих сугрудах (ППП № 1) у 2020 р.**

Ґрунтовий шар	Частка сумарної активності шарів ґрунту у типах лісорослинних умов, %	
	Вологий субір	Вологий сугруд
H ₀ ¹ нерозкладена	0,15	0,21
H ₀ ² напіврозкладена	5,53	1,15
H ₀ ³ розкладена	8,00	1,75
0–2 см	32,76	31,00
2–4 см	21,79	28,70
4–6 см	9,83	18,24
6–8 см	6,55	6,65
8–10 см	3,77	2,67
10–12 см	2,85	1,91
12–14 см	2,14	1,40
14–16 см	1,37	1,25
16–18 см	0,95	0,82
18–20 см	0,90	0,68
20–22 см	0,80	0,57
22–24 см	0,61	0,56
24–26 см	0,46	0,52
26–28 см	0,35	0,49
28–30 см	0,39	0,30
30–32 см	0,20	0,25
32–34 см	0,19	0,23
34–36 см	0,20	0,22
36–38 см	0,12	0,23
38–40 см	0,09	0,20
Разом у лісовій підстилці	13,68	3,11
Разом у мінеральних шарах	86,32	96,89

Отримані результати свідчать, що в ґрунтах обох типів лісорослинних умов відбулося суттєве заглиблення ¹³⁷Cs, але існують певні відмінності у цьому процесі. Так, у вологих суборах значна кількість радіонукліда міститься в лісовій підстилці – 13,68 %, тоді як у вологих сугрудах – лише 3,11 %. Це пояснюється тим, що у вологих суборах опад соснового насадження доволі повільно мінералізується, внаслідок чого накопичується, а радіонукліди утримуються в лісовій підстилці. У вологих сугрудах росте переважно листяне насадження, щорічний опад якого доволі швидко мінералізується, і радіонукліди переміщуються до мінеральної частини ґрунту. У 10-сантиметровому шарі мінеральної частини ґрунту у вологих суборах міститься 74,7 %, а у вологих сугрудах – 87,26 % радіонуклідів. Напевно, менша частка у вологих суборах пояснюється повільнішою мінералізацією лісової підстилки. Аналіз результатів дослідження щодо акумуляції ¹³⁷Cs в шарах ґрунту на різній глибині свідчить, що під час обстеження лісів на радіоактивне забруднення необхідно відбирати зразки на глибину більшу ніж 10 см (рис. 1). У зв'язку з вертикальною міграцією нуклеотидів за понад тридцять років, необхідно змінити методичні підходи.

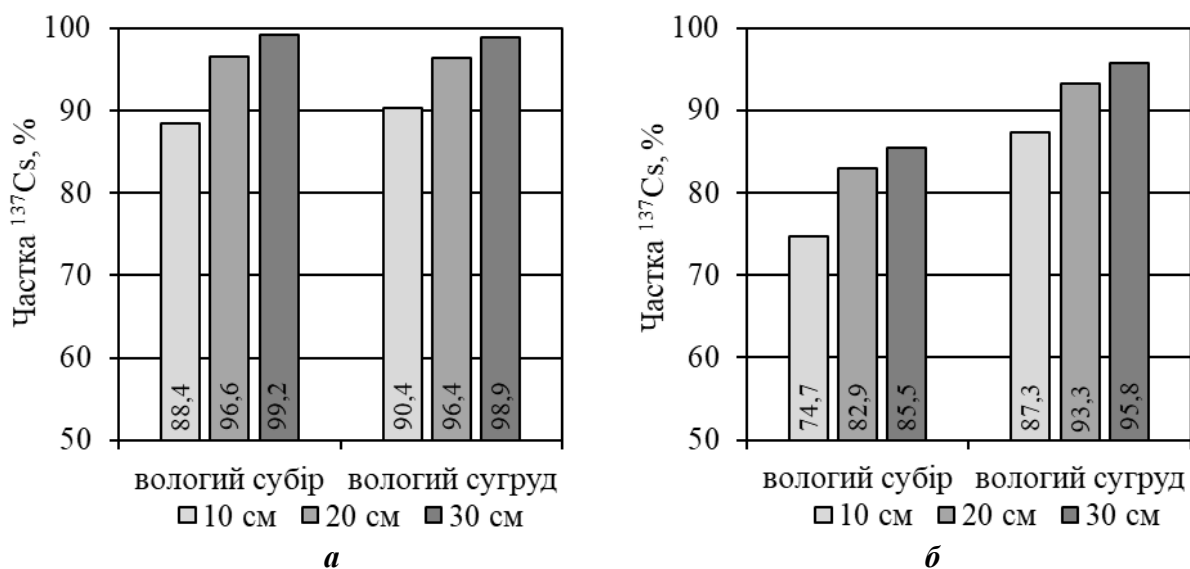


Рис. 1 – Акумуляція ¹³⁷Cs у шарах ґрунту (10, 20 і 30 см) з урахуванням лісової підстилки (а) та без лісової підстилки (б) у вологому суборі й сугруді

Висновки. У лісовому фонді підприємств, які розташовані у Волинському та Житомирському Поліссі, здійснюють поступове обстеження лісів на радіоактивне забруднення з метою їхньої реабілітації, але його темпи не відповідають запланованим. Матеріали лісовпорядкування свідчать, що додаткове обстеження необхідно провести на 56 816,9 га лісових насаджень, які знаходяться переважно в Житомирській області на території 11 лісгосподарських філій/підприємств.

У процесі досліджень виявлено, що й донині зберігається значна мозаїчність радіоактивного забруднення лісових кварталів, й є необхідним детальне (повидільне) обстеження. Від часу аварії на ЧАЕС щільність радіоактивного забруднення ґрунту ¹³⁷Cs зменшилася, що зумовлено як його фізичним розпадом, так і іншими причинами.

Після надходження радіонуклідів до лісових екосистем відбулася вертикальна міграція ¹³⁷Cs в ґрунті. Найбільшу частку сумарної активності цього радіонукліда виявлено в мінеральній частині ґрунту. У лісовій підстилці вологих суборів міститься 13,68 % від сумарної активності ¹³⁷Cs в ґрунті і значно менше – 3,11 % – у вологих сугрудах. Це пояснюється більшою потужністю й особливістю походження лісової підстилки у суборах. У вологих сугрудах, завдяки наявності у складі насаджень листяних деревних порід, відбувається інтенсивніша мінералізація лісової підстилки, а відтак швидке переміщення радіонукліду до мінеральної частини ґрунту. Матеріали сучасного розподілу радіонукліду в ґрунті свідчать, що необхідно зробити доповнення до «Методики обстеження радіаційно забруднених лісів з метою їх реабілітації (на період 2010–2015 рр.)», а відбір ґрунту здійснювати на глибину не меншу 20–30 см.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Buzun, V. O. and Prystupa, H. K. 1999. Some peculiarities of self-weeding out and state of Scotch pine plantations in the zone of absolute settling out. Problems of ecology of forests and forest use on Polissya of Ukraine, 6: 108–113 (in Ukrainian).

Kaletnyk, M. M., Landin, V. P., Krasnov, V. P., Tereshchenko, V. M., Los, I. P. 1990. Problems of organization of forest management in conditions of radiation pollution. Forestry, forest, paper and woodworking industry, 2: 4–7 (in Ukrainian).

Krasnov, V. P. 1998. Radioecology of forests of Polesse of Ukraine. Zhytomyr, Volyn, 112 p. (in Ukrainian).

Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Shelest, Z. M. 2015. The problems of rehabilitation of the forests contaminated by radionuclides in Ukrainian Polissya. [Electronic resource]. Scientific Bulletin of UNFU, 25(2): 103–109 (in Ukrainian). Available at: <https://nv.nltu.edu.ua/index.php/journal/article/view/993> (accessed 01.03.2023).

Krasnov, V. P., Kurbet, T. V., Sukhovetska, S. V. 2016. The development of the methods of forests examination for their further rehabilitation on the territory contaminated by radionuclides. Scientific Bulletin of UNFU, 26(1): 152–157 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40260122>

Krasnov, V. P., Orlov, O. O., Kurbet, T. V., Landin, V. P. 2010. Methodology for surveying radiation-contaminated forests for the purpose of their rehabilitation (for the period 2010-2015). Zhytomyr, Polisky Branch of URIFFM, 16 p. (in Ukrainian).

Krasnov, V. P., Orlov, O. O., Vedmid, M. M., Landin, V. P. 2006. Methodological recommendations for the rehabilitation of forests in the territories contaminated by radionuclides as a result of the accident at the Chernobyl Nuclear Power Plant. Zhytomyr, Volyn, 20 p. (in Ukrainian).

Orlov, O. O., Krasnov, V. P., Pryshchepa, O. L. 2002. Radioactively contaminated forests as critical landscapes: food radioactivity and influence on formation of internal dose of population. Analytical review. Zhytomyr, ZHYTY, 202 p. (in Russian).

Program for controlling the analyzer and processing spectrometric information. User guide “AkWin”. 2004. Kyiv, AtomKompleksPrylad, 152 p. (in Russian).

Recommendations for forest management in conditions of radioactive contamination. 1995. Krasnov, V. P. (Ed.). Kyiv, Ahrarna nauka, 64 p. (in Russian).

Tsarenko, O. M., Zlobin, Y. A., Sklyar, V. G., Panchenko, S. M. 2000. Computer methods in agriculture and biology. [Electronic resource]. Sumy, University Book, 203 p. (in Ukrainian). Available at: <http://repo.snau.edu.ua/xmlui/handle/123456789/1492?locale-attribute> (accessed 01.03.2023).

Zhukovskyi O. V.¹, Krasnov V. P.², Kurbet T. V.^{1,2}, Shelest Z. M.²

CURRENT SITUATION WITH FOREST RADIOACTIVE CONTAMINATION IN VOLYN AND ZHYTOMYR POLISSIA

¹ Polissia Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Zhytomyr, Ukraine

²Zhytomyr Polytechnic State University, Zhytomyr, Ukraine

The article outlines the findings on both radioactive contamination levels in forest areas in Volyn and Zhytomyr Polissia, and the ¹³⁷Cs vertical redistribution in soil. Forest surveying materials point at the fact that in the study regions, 56,816.9 hectares of forest stands have to be surveyed to rehabilitate them in the future. The results of repeated surveys (2020) demonstrate a decrease in the levels of radioactive contamination of forest stands in the range of 1.2 to 15.6 times. A significant mosaic density of radioactive soil contamination with ¹³⁷Cs within the forest compartments was also found: the coefficient of variation reached 52.5 %. The study showed that there was a significant penetration of ¹³⁷Cs in soils in moist fairly infertile pine site types and fairly fertile site types. However, there are certain differences in this process. In moist fairly infertile pine site types, a significant amount of radionuclide is contained in forest litter – 13.68 % while in moist fairly fertile site types, the value is only 3.11 %; in a 10-cm layer of the mineral part of the soil, there are 74.7 % of the radionuclide, and in moist fairly fertile site types 87.26 %.

Key words: forest fund, ¹³⁷Cs soil contamination density, forest litter, Chernobyl Nuclear Power Plant.

E-mail: zh_oleh2183@ukr.net; volodkrasnov@gmail.com

Одержано редколегією 09.03.2023



Є. Є. МЕЛЬНИК, В. П. ВОРОН, С. Г. СИДОРЕНКО, І. М. КОВАЛЬ
ВТРАТИ ВІД ПОЖЕЖ У РОКИ ПОЖЕЖНОГО ПІКУ В ЛІСАХ ЗЕЛЕНОЇ ЗОНИ
МІСТА ХАРКІВ ІЗ НАЙБІЛЬШОЮ ГОРИМІСТЮ

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Розглянуто вітчизняні й зарубіжні методики оцінювання економічних збитків від лісових пожеж і надзвичайних ситуацій. Наведено методику розрахунків і проаналізовано динаміку горимості сосняків як за кількістю випадків, так і за площею за 20 років у лісах зеленої зони міста Харків на прикладі Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ», насадження якого найчастіше пошкоджують пожежі. Виявлено періоди пожежного піку. На основі часових тенденцій лісових пожеж визначено їхній вплив на обсяги санітарних рубок у сосняках саме в ці роки. Проведено розрахунок загальних обсягів і структури прямих економічних збитків за рік унаслідок пожеж. Виявлено, що основна частка збитків припадає на втрати через зменшення товарності деревини сосняків (56–68 %). Також суттєвою є частка витрат на проведення рубок із урахуванням відведення та трелювання деревини (понад 22 %). Найменшими виявилися витрати на лісовідновлення згарищ (6–12 %) і проведення рубок догляду (5–10 %).

Ключові слова: низові пожежі, пожежний максимум, збитки, витрати, товарність, сосна звичайна.

Вступ. За останні 20 років майже щороку виникають багато пожеж, які охоплюють значні площі як в Україні, так і в багатьох країнах світу. На значній площі лісів верхові пожежі спричиняють катастрофічні наслідки та великі втрати (Kelly et al. 2013, Tedim et al. 2015, Doerr & Santín 2016, World Fire Statistics 2020, Statistica fire in Forest Turkey 2021). Основними причинами таких надзвичайних ситуацій (НС) є зміна клімату через глобальне потепління та постійне зростання антропогенного навантаження (Balabukh & Zibtsev 2016, Doerr & Santín 2016, World Fire Statistics 2020). Однією з основних причин виникнення великих лісових пожеж та швидкого руйнівного поширення є захаращеність лісів (Giryayev 1989). Економічні збитки таких пожеж доволі складно розрахувати в повному обсязі через наявність прямих (зменшення обсягів і товарності деревини, витрати на рубки й лісовідновлення тощо) та непрямих (зниження протиерозійної, полезахисної, рекреаційної, санітарно-гігієнічної, водоохоронної та водорегулювальної функцій лісу) втрат (Belashov 1978, Gorshenin et al. 1981, Leshchenko 2009). Менш небезпечними є низові лісові пожежі, хоча вони також спричиняють значні збитки (Leshchenko 2009, Voron et al. 2021).

У світі існує чимала кількість методик визначення економічних збитків від НС техногенного та природного характеру. Водночас відсутні оптимізовані та універсальні підходи до обчислення цих збитків. Наявні методики розрахунку економічних збитків різняться за підходами до обчислення загальної суми збитків від НС (Komarnytsky & Bublik 2008).

Нормативно-правова база, що регламентує оцінювання збитків від НС техногенного та природного характеру в Україні, складається з декількох документів (Methodology for estimating losses 2002, On approval of amendments 2003). На основі цих документів затверджено методику, яка містить формули для розрахунку збитків для різних типів НС (зокрема пожеж лісових природних та пожеж і вибухів техногенного походження), а також опис розрахунків основних видів збитків за типами заподіяної фактичної шкоди (серед яких, зокрема, збитки від втрати деревини та інших лісових ресурсів, від руйнування та пошкодження основних фондів, знищення майна та продукції тощо).

Оцінюючи прямі збитки, у світовій практиці здебільшого використовують модифіковані методи експертних оцінок (Komarnytsky & Bublik 2008).

В Україні і сусідніх з нею країнах найчастіше використовують оцінюють прямі та непрямі втрати від пожеж (Belashov et al. 1978). До прямих втрат від лісових пожеж належать:

- втрати через зниження продуктивності й товарності деревостанів;
- витрати, пов'язані з необхідністю проведення санітарних рубок лісу;

– витрати на лісовідновлення згарищ;
– витрати, пов'язані з необхідністю вирощування насаджень до віку рубки головного користування.

До непрямих збитків в цьому випадку належать втрати:

- від зниження протиерозійної функції лісу;
- від зниження полезахисної функції лісу;
- від зниження водоохоронної та водорегулювальної функцій лісу;
- від зниження санітарно-гігієнічної функції лісу;
- пов'язані зі зниженням рекреаційної функції лісу.

У Польщі використовують порівняно простий підхід, що полягає в оцінюванні вартості пошкодженої/знищеної деревини та витрат на відновлення лісу до віку рубки головного користування. Розрахунки здійснюють на підставі Положення Мінприроди Польщі про «Одноразову компенсацію за передчасну вирубку деревостану» (Decree of the Minister of Environment 2002) та Інструкції із захисту лісу від пожеж (Forest Fire Protection Manual 2020).

В Австралії витрати розраховують за групами (Ashe et al. 2009):

- на забезпечення заходів протипожежної профілактики (57 % від усіх витрат);
- на реагування, тобто власне на дії щодо пожежогасіння (29 % від загального обсягу витрат);
- витрати на усунення наслідків пожежі – реабілітацію ландшафту (14 % витрат).

У США відсутня єдина методика розрахунку втрат від пожеж (Hall 2014, Wang et al. 2021). Гармонізовану методологію для оцінювання загального економічного впливу лісових пожеж не затверджено на федеральному рівні, але разом із цим певні компоненти оцінювання економічного впливу пожеж частково розкривають наукові публікації (Wang et al. 2021), звіти та інструкції. Загалом такими компонентами є збитки (прямі, непрямі, спеціальні) та витрати на лісовідновлення й реабілітацію територій. Так, до прямих витрат належать федеральні й місцеві витрати на пожежогасіння – такі, як вартість використання авіації, інших сил і засобів пожежогасіння, паливно-мастильних матеріалів тощо. Інші прямі витрати охоплюють збитки, заподіяні приватній власності, інфраструктурним об'єктам. Також до них належать втрати деревини та витрати на евакуацію місцевих жителів (у разі, коли пожежа стає неконтрольованою). Витрати на лісовідновлення та стабілізацію пошкоджених екосистем – це витрати, пов'язані з реабілітацією ландшафту, та заходи пом'якшення потенційної шкоди від пожеж у майбутньому. До них належать: оцінювання ризиків від підтоплення пошкодженої території, ерозії, збільшення кількості інвазійних видів тощо. Непрямі витрати – це витрати, спричинені пожежами, які зазвичай не враховують. Вони об'єднують втрати від податкових надходжень до місцевих бюджетів, зменшення доходів бізнесу та тривале зниження вартості нерухомості у районах, що зазнали впливу пожеж. Ці витрати зазвичай накопичуються впродовж тривалого часу після ліквідації пожежі під час робіт із відновлення ландшафту. Під час розрахунку економічних втрат від пожеж саме непрямі витрати часто не враховують, хоча вони можуть суттєво перевищувати витрати за іншими складовими. Спеціальні витрати є довгостроковими та охоплюють оцінювання впливу на здоров'я людей, ризики від зниження біорізноманіття в екосистемах, пошкодження та знищення оселищ рідкісних видів тварин і рослин, зникнення окремих видів. Наслідком лісових пожеж є значне забруднення ґрунту та води продуктами горіння, що може призвести до загострення хронічних захворювань людей, таких як астма та пневмонія, або навіть призвести до смерті. Такий вплив на здоров'я людини може виявлятися через багато місяців або навіть років після пожежі, що надзвичайно ускладнює розрахунок цієї компоненти (Hall 2014, Wang et al. 2021).

Дослідження негативних змін та економічних втрат у роки пожежного піку у соснових лісах зеленої зони міста Харків, що часто пошкоджуються пожежами, дають змогу визначити максимально можливі збитки. Під пожежним піком, або максимумом мається на увазі період найбільшої горимості лісів, порівнюючи з попередніми й подальшими роками.

Подібні дослідження проводили в соснових насадженнях, пошкоджених низовими пожежами (Leshchenko 2009, Voron et al. 2021), але бажано здійснити більш детальний аналіз в інших підприємствах та в різні періоди. Це дасть змогу розрахувати не тільки втрати через зменшення товарності деревини після пожеж, але й обсяг коштів, необхідних для планування першочергових заходів щодо зменшення збитків у певному лісогосподарському підприємстві, зокрема на відновлення пошкодженого лісу.

Метою дослідження є визначення обсягів та структури прямих економічних втрат у періоди пожежного піку в одному з найчастіше пошкоджуваних пожежами лісництв зеленої зони міста Харків.

Матеріали й методи. Середньорічні тенденції виникнення лісових пожеж проаналізовано на основі бази даних пожеж, сформованої за інформацією з Книги обліку лісових пожеж ДП «Жовтневе ЛГ» за період з 2002 до 2021 рр. Оцінено кількість і площу пожеж для всього державного лісогосподарського підприємства (ДЛГ) та проведено аналіз середньої фактичної горимості для досліджуваного лісництва окремо для кожного року. Розраховано показники горимості як за площею (фактична горимість), так і за кількістю випадків пожеж (щільність лісових пожеж).

Щільність лісових пожеж ($R_{dens.}$) розраховували за формулою (1):

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

де $R_{dens.}$ – середньорічна щільність пожеж на 1 000 га площі лісів, кількість випадків на рік на 1 000 га;

N_i – щорічна кількість лісових пожеж, кількість випадків / роки;

n – кількість років за період дослідження (не менше ніж 10 років);

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

Фактичну горимість лісів за площею ($R_{f.comb}$) розраховували за формулою (2):

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

де $R_{f.comb}$ – середньорічне значення фактичної горимості лісів на 1 000 га, га/рік/1 000 га;

$F_{burnt.area}$ – щорічна площа лісових пожеж, га на рік;

n – кількість років за період дослідження (не менше ніж 10 років);

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

Для вибору та обробки даних щодо прямих втрат від пожеж визначено періоди пожежних піків, тобто виявлено роки, в які зафіксовано максимальні показники горимості за кількістю та площею пожеж, порівнюючи з іншими роками та середнім значенням за досліджуваній період (Voron et al. 2021).

Унаслідок негативного впливу від НС техногенного чи природного характеру лісове господарство зазнає різних збитків. Згідно з нормативними документами, які затверджено в Україні (Methodology for estimating losses 2002, On approval of amendments 2003) та методики розрахунку збитків від лісових пожеж використовують формули з урахуванням правил і нормативів для певних груп лісових угідь у регіонах України.

На нашу думку, вихідною точкою в удосконаленні системи оцінювання прямих збитків лісового господарства від пожеж може бути спрощений синтез наявних підходів. Основними вимогами для нової методики є доступність вхідних даних для розрахунків, легкість оцінювання та чітке розмежування прямих і непрямих збитків. У цій публікації ми приділили увагу оцінюванню прямих втрат та витрат, до складу яких входять:

- втрати товарності деревостанів, втрати від знищення деревини під час пожеж;
- витрати, пов'язані з необхідністю проведення санітарних рубок лісу;
- витрати на лісовідновлення згарищ (створення лісових культур, їхнє доповнення, проведення агротехнічних доглядів тощо);

– витрати, пов’язані з необхідністю вирощування насаджень до віку рубки головного користування (проведення рубок догляду).

Оцінювання непрямих збитків у цій статті не розглядали.

Втрати товарності розраховували на основі інформації щодо потенційної частки ділової деревини за таксаційними описами у порівнянні з фактичним виходом ділової деревини під час санітарних рубок на ділянках, де росли насадження, пошкоджені низовими пожежами. Дані про витрати на проведення санітарних рубок у пошкоджених насадженнях одержано в ДП «Жовтневе ЛГ». Розраховано усереднену вартість проведення суцільної санітарної рубки в перерахунку на 1 га. Інформацію щодо середньої вартості створення 1 га соснових культур, усередненої вартості проведення доповнень лісових культур (разом із вартістю садивного матеріалу) та проведення агротехнічних доглядів також одержано в ДП «Жовтневе ЛГ». У розрахунках прийнято типову повторюваність агротехнічних доглядів упродовж чотирьох років після створення культур із використанням КЛБ-1,7 і кущорізу Сікор та усереднену вартість доповнень культур на підприємстві. Подібним чином розраховували витрати на вирощування насаджень до віку пошкодження вогнем (проведення рубок догляду). Припустили, що під час вирощування насаджень до віку пошкодження вогнем було проведено два освітлення, два прочищення, одне прорідження та одну прохідну рубку. Така схема господарювання є типовою для досліджуваного підприємства.

Результати та обговорення. На основі порівняння тенденцій виникнення пожеж за 2002–2021 рр. у ДП «Жовтневе ЛГ» визначено, що саме на Васищевське лісництво припадає понад 40 % від загальної кількості випадків пожеж у цьому державному підприємстві. Такі дані демонструють, що займання там трапляються щороку, але при цьому мінімальні та максимальні загальні значення кількості випадків і площі пожеж можуть сильно різнитися.

Аналіз динаміки горимості соснових лісів як за кількістю випадків, так і за їхньою площею з 2002 до 2022 рр. у Васищевському лісництві виявив, що періоди пожежного піку припали на 2009 і 2010 рр. В середньому горимість сосняків у досліджуваному лісництві за кількістю становить 22,1 випадку на 1 000 га сосняків, а за площею – 2,0 га на 1 000 га. Водночас на 2009 р. припадає максимальна кількість випадків – 55,6 шт.·га⁻¹ та одне з найбільших значень за площею – 8,4 га на 1 000 га. Майже подібні значення зафіксовано у 2010 р., коли показник горимості за кількістю пожеж становив 55,0 шт.·га⁻¹, а за площею зафіксовано максимальне значення за весь досліджуваний період (8,5 га на 1 000 га). За цими даними можна зробити висновки, що соснові насадження досліджуваного лісництва зазнали суттєвої шкоди від пожеж у 2009 та 2010 рр. (рис. 1).

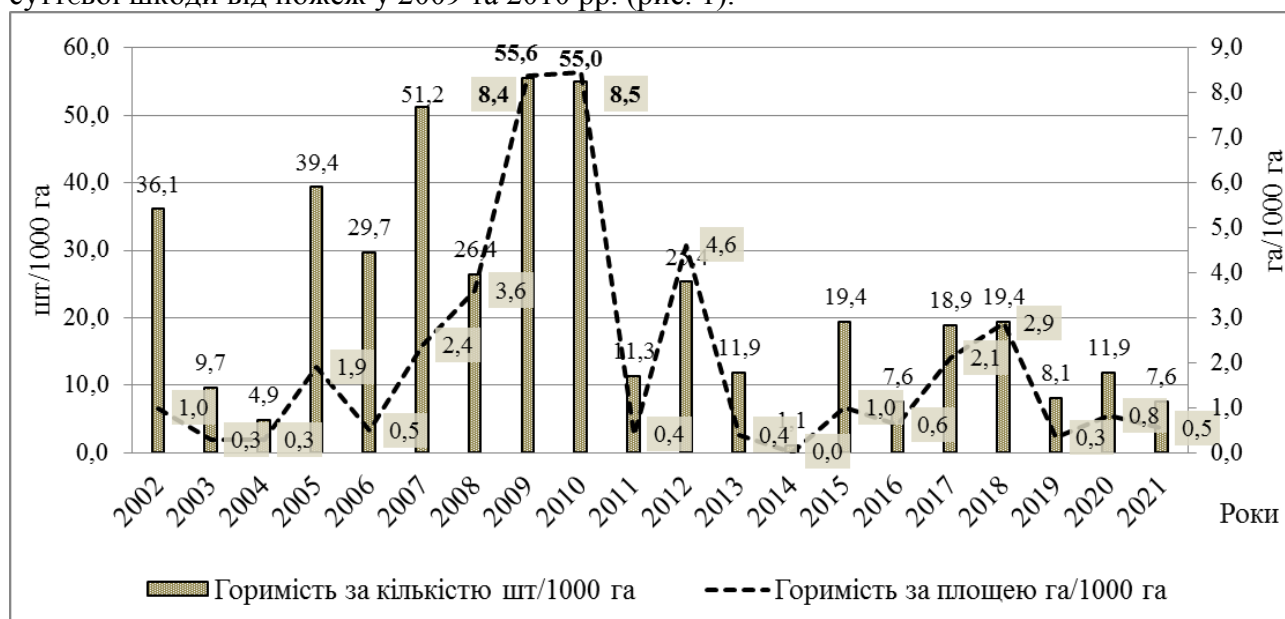


Рис. 1 – Динаміка горимості за кількістю та площею пожеж на 1 000 га сосняків у Васищевському лісництві ДП «Жовтневе ЛГ» за 20 років і роки пожежного піку (максимуму)

Лісові пожежі, які відбулися у 2009–2010 рр., спричинили певне погіршення санітарного стану лісових насаджень. Як зазначено вище, прямі збитки лісового господарства складаються: із втрат від зниження товарності сосняків; вартості робіт, пов'язаних із проведенням санітарних рубок; витрат на лісовідновлення та вирощування насаджень до віку суцільних санітарних рубок. Тому ретельно проаналізовано частку від загальних збитків за втратами товарності деревини, а також витрат, необхідних на проведення відновлювання та вирощування лісу.

Погіршення санітарного стану лісових насаджень унаслідок впливу лісових пожеж зумовило проведення відповідних заходів у Васищевському лісництві ДП «Жовтневе ЛГ» – суцільних санітарних (СПС) і вибіркових санітарних (СПВ) рубок.

СПС, причиною яких стали пожежі, проведено на площі 9,2 га у 2009 р. та 15,1 га у 2010 р. За ці два роки загалом зрубано 6 952 м³ деревини (табл. 1). СПС на найбільшій площі проведено у кварталах, близько розташованих до населених пунктів, автошляхів, залізниць тощо.

Таблиця 1

Розрахунок втрат від зниження товарності деревини в соснових насадженнях Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ» у роки пожежного піку

Рік	Площа, га	Запас, м ³					Втрати деревини від плану на га		Вартість, грн.		Втрати від плану, грн.	
		Загалом	Вихід ділової деревини		м ³	%	м ³	%	планова	фактична з рубки	загалом	на 1 га
			плановий	фактичний								
			м ³	%								
2009	9,2	2 635	2 415	91	431	16	216	82	973 620	337 315	636 305	69 164
2010	15,1	4 317	3 790	88	619	14	210	83	1 681 134	958 258	722 876	47 873

Масштабні лісові пожежі, які сталися в досліджуваному лісництві в роки пожежного піку, спричинили помітне погіршення стану соснових насаджень і значне зменшення виходу ділової деревини. Втрати товарності деревини безпосередньо пов'язані з погіршенням її технічних властивостей (появою сухості, сивини, заселенням стовбурів комахами тощо), що спричинило перетворення ділових стовбурів на дров'яні. Так, згідно із товарними таблицями (Anuchin 1982) вихід ділової деревини в чистих сосняках для II–III розрядів висот становить 70–91 %. Водночас, згідно з нашими дослідженнями фактичний вихід ділової деревини становив лише від 14 до 16 %. Таким чином, після пожеж та проведення СПС було втрачено 216 і 210 м³/га ділової деревини, що становить 82 та 83 % від потенційно можливого «планового» виходу за відсутності пошкоджень. Загальні втрати вартості деревини у 2009 р. становили 636 305 грн, у 2010 р. – 722 876 грн, що в середньому на 1 га становить 69 163 грн у 2009 р. та 47 872 грн у 2010 р. (див. табл. 1).

Площа СПВ у лісництві у 2009 р. становила 14,4 га, у 2010 р. – 9,3 га. Загалом за два роки зрубано 145 м³ деревини, причому ділова – відсутня.

Загальні витрати на проведення СПС та СПВ, а також на відведення у рубку та трелювання деревини в сосняках Васищевського лісництва у 2009 р. становили 201 420 грн, у 2010 р. – 289 775 грн.

Після пошкодження пожежами й проведення СПС необхідні значні кошти на відновлення лісу. У 2009 р. на створення 8,1 га лісових культур витрачено 24 907 грн, а в 2010 р. на заліснення 22,6 га – 69 495 грн, тобто фактично в середньому на 1 га використано 3 075 грн (табл. 2). Доволі великі кошти необхідні також на проведення агротехнічних доглядів за лісовими культурами – 25 774 грн у 2009 р. та 71 913 грн у 2010 р. Порівняно менше коштів витрачено на доповнення лісових культур – 2 535 грн у 2009 р. та 7 074 грн у 2010 р. Таким чином, сумарні витрати на лісовідновлення згарищ у досліджувані роки становили 53 217 грн у 2009 р. і 148 482 у 2010 р., що в середньому становить 6 570 грн / га.

Таблиця 2

Витрати на лісовідновлення згарищ (створення та доповнення лісових культур, проведення агротехнічних доглядів на місці зрубаних сосняків) у Васищевському лісництві ДП «Жовтневе ЛГ» у роки пожежного піку

Рік	Площа, га	Витрати, грн							
		створення чистих соснових культур		доповнення лісових культур		агротехнічні догляди за лісовими культурами		загалом	на 1 га
		загалом	на 1 га	загалом	на 1 га	загалом	на 1 га		
2009	8,1	24 907	3 075	2 535	313	25 774	3 182	53 217	6 570
2010	22,6	69 495	3 075	7 074	313	71 913	3 182	148 482	6 570

Примітка. Вартість робіт і матеріалів приведено до цін 2010 року.

У таблиці 3 наведено розрахунок прямих витрат на вирощування лісових культур (проведення рубок догляду) до віку суцільно-санітарної рубки в досліджуваному лісництві. На всі види рубок догляду витрати становлять: у 2009 р. – 45 100 грн, у 2010 р. – 125 837 грн, що в середньому сягає 5 568 грн /га в разі проведення освітлення два рази, прочистки – два рази, прорідження – один раз і прохідної рубки – один раз.

Таблиця 3

Витрати, пов'язані з вирощуванням насаджень (проведенням рубок догляду) на місці зрубаних сосняків до віку санітарної рубки у Васищевському лісництві ДП «Жовтневе ЛГ» у роки пожежного піку

Рік	Площа, га	Витрати на проведення рубок догляду, грн					
		Освітлення	Прочищення	Прорідження	Прохідна рубка	Загалом	на 1 га
2009	8,1	15 277	15 115	7 419	7 290	45 101	5 568
2010	22,6	42 624	42 172	20 702	20 340	125 838	5 568

Сумарні прямі збитки, заподіяні внаслідок лісових пожеж у Васищевському лісництві в роки пожежного піку, становлять 936 043 грн у 2009 р. та 1 286 971 у 2010 р. (табл. 4).

Таблиця 4

Загальні прямі збитки внаслідок пожеж у сосняках Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ» у роки пожежного піку, грн

Рік	Втрати товарності	Витрати на проведення рубок	Витрати на лісовідновлення згарищ (створення та доповнення лісових культур, проведення агротехнічних доглядів на місці зрубаних сосняків)	Витрати на проведення рубок догляду	Всього збитків
2009	636 305	201 420	53 217	45 101	936 043
2010	722 876	289 775	148 482	125 838	1 286 971

Так, у 2009 р. збитки від втрат товарності деревини становили 68 %, витрати на проведення рубок – 22 %, лісовідновлення згарищ – лише 6 %, проведення рубок догляду для відновлення лісу – 5 %. У 2010 р. збитки через втрату товарності становили були дещо меншими (56 %), а частка витрат на проведення рубок із відведенням у рубку і трелюванням деревини була майже такою, як попереднього року (23 %). Водночас у 2010 р. частка витрат на лісовідновлення становила 12 %, а на проведення рубок догляду – 10 %, що вдвічі перевершило показники попереднього року (рис. 2).

Водночас, зважаючи на те, що у 2009 та 2010 рр. найбільш істотної шкоди господарству заподіяно внаслідок погіршення товарності деревини, здійснення вчасних суцільних санітарних рубок у насадженнях, які прогнозовано отримали летальні пошкодження, було необхідним (Sydorenko et al. 2020, Voron et al. 2021).

Аналіз складу й структури збитків після пожеж у роки пожежного піку виявив, що витрати на певні заходи в середньому на 1 га у 2009 та 2010 рр. принципово не різняться.

Значущі відмінності не виявлені також стосовно часток збитків у 2009 і 2010 рр. ($F_f = 0,011$; $F_t = 5,98$; $p = 0,92$).

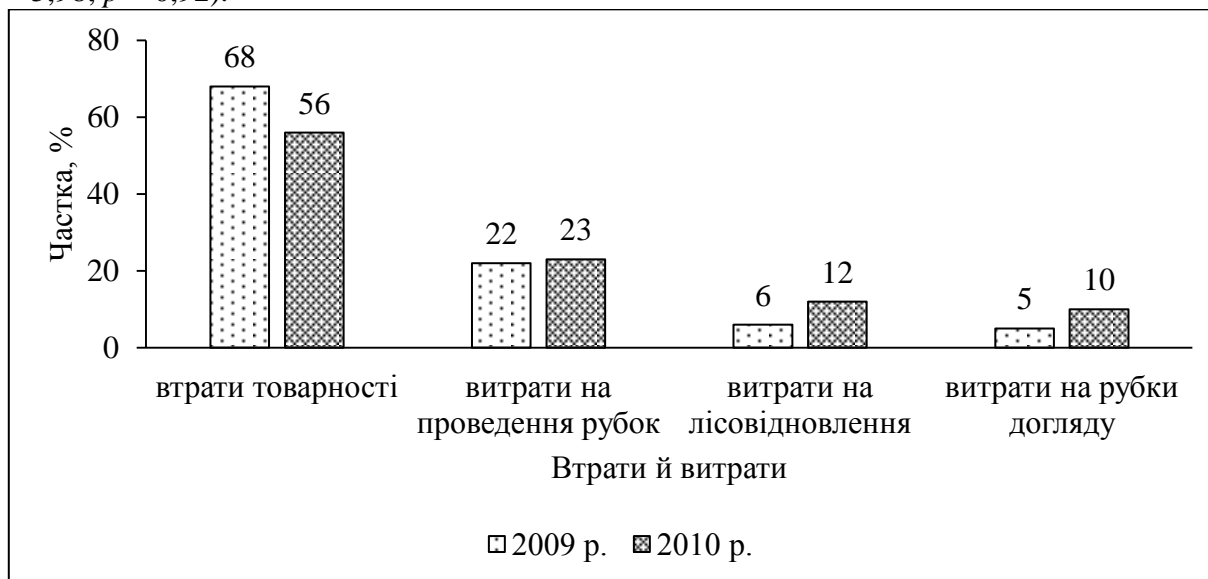


Рис. 2 – Частка втрат та окремих витрат від загальної величини прямих збитків унаслідок пожеж у сосняках Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ» у роки пожежного піку

Результати наших досліджень можуть допомогти лісівникам у плануванні заходів і створенні резервів із урахуванням ризиків, пов'язаних із настанням піків горимості.

Висновки. У насадженнях сосни звичайної, пошкоджених низовими пожежами різної інтенсивності, основні збитки припадають на втрату товарності деревини (56–68 %). На проведення санітарних рубок із відведенням у рубку і трелюванням деревини припадають понад 22 % витрат. Найменші витрати в структурі збитків (6–12 %) припадають на лісовідновлення згарищ. Для проведення рубок догляду необхідно витратити від 5 до 10 % коштів від загальної суми збитків.

Вищенаведені дані дають змогу точніше оцінювати негативні наслідки пожеж у сосняках лісів зеленої зони міста Харків у роки (піків горимості) та допоможуть підприємствам вчасно підготуватися до можливих загроз і пом'якшити наслідки пожеж у майбутньому. Зважаючи на те, що найбільші збитки припадають на втрати товарності, необхідним є вчасне проведення суцільних санітарних рубок, які мають базуватися на науково обґрунтованому прогнозуванні зміни стану пошкоджених сосняків і постійному моніторингу пошкоджених пожежами ділянок.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

- Anuchin, N. P. 1982. Forest Mensuration. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 552 p. (in Russian).
- Ashe, B., McAneney, K., Pitman, A. 2009. Total cost of fire in Australia. *Journal of Risk Research*, 12 (2): 121–136.
- Balabukh, V. A. and Zibtsev, S. V. 2016. Impact of climate change on the number and area of forest fires in the North Black Sea region of Ukraine. *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, No. 18: 60–71.
- Belashov, L. A., Voblaya, A. S., Zharkova, I. V., Turkevich, I. V. 1978. Economic assessment of damage caused to forests by atmospheric pollution. Methodology guidelines. Voroshilovgrad, 26 p. (in Russian).
- Decree of the Minister of Environment dated June 20, 2002. 2002. [Electronic resource]. Official Gazette No. 99. Item 905 p. 6485–6531 Available at: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20020990905/O/D20020905.pdf> (accessed 05.10.2022) (in Polish).
- Doerr, S. H. and Santin, C. 2016. Global trends in wildfire and its impacts: perceptions versus realities in a changing world. *Phil. Trans. R. Soc. B* 371: 20150345. <https://doi.org/10.1098/rstb.2015.0345>
- Forest Fire Protection Manual 2020. [Electronic resource]. Published by order of the Directorate General of State Forests. Warsaw, 68 p. Available at: <https://isap.sejm.gov.pl/isap.nsf/download.xsp/WDU20020990905/O/D20020905.pdf> (accessed 05.10.2022) (in Polish).

Giryayev, D. M. 1989. How to protect a forest from fire. Moscow, Agropromizdat, 286 p. (in Russian).

Gorshenin, N. M., Dichenkov, N. A., Shvidenko, A. I. 1981. Forest Pyrology. Lviv, Vyshcha Shkola, 160 p. (in Russian).

Hall, J. R. 2014. The total cost of fire in the United States. Quincy, MA, National Fire Protection Association.

Kelly, R., Chipma, M. L., Higuera, P. E., Stefanov, I., Brubaker, L.B., Hu F. S. 2013. Recent burning of boreal forests exceeds fire regime limits of the past 1000 years. P Natl Acad Sci USA, 110: 13055–13060.

Komarnytsky, I. M. and Bublyk, M. I. 2008. Assessment of man-made damages and analysis of approaches to their calculation in global and regional aspects. Bulletin of Lviv Polytechnic National University, Economics and Management Issues, 628: 134–144 (in Ukrainian).

Leshchenko, V. O. 2009. Direct losses of forestry from fires in the pine forests of State Enterprise “Zmiyiv Forest Economy”. Scientific Bulletin of UNFU, 19.8: 91–96 (in Ukrainian).

Methodology for estimating losses from emergencies of anthropogenic and natural character. 2002. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 175 dated 15 February 2002 (in Ukrainian).

On approval of amendments to the methodology for assessing losses from the consequences of anthropogenic and natural emergencies. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No. 862 (862-2003-p) dated June 4, 2003 (in Ukrainian).

Statistica fire in Forest Turkey: wildfire area burned. 2021. [Electronic resource]. Available at: <https://www.statista.com/statistics/1264713/area-burned-by-wildfire-in-turkey/> (accessed 05.10.2022).

Sydorenko, S. G., Voron, V. P., Koval, I. M., Sydorenko, S. V., Rumiantsev, M. H., Hurzhii, R. V. 2020. Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Lesnicky casopis, 67, 21–29. doi: 10.2478/forj-2020-0029

Tedim, F., Xanthopoulos, G., Leone, V. 2015. Forest fires in Europe: Facts and challenges. In: Wildfire Hazards, Risks and disasters. Douglas Paton (Ed.). Chapter: 5. Elsevier, p. 77–99. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-410434-1.00005-1>

Voron, V. P., Koval, I. M., Sydorenko, S. G., Melnyk, Ye. Ye., Tkach, O. M., Borysenko, V. G., Tymoshchuk, I. V., Bologov, O. Yu. 2021. The pyrogenic transformation of pine stands in Ukraine. Kharkiv, 286 p. (in Ukrainian).

Wang, D., Guan, D., Zhu, S., Mac Kinnon, M., Geng, G., Zhang, Q., Zheng, H., Lei, T., Shao, S., Gong, P., Davis, S. 2021. Economic footprint of California wildfires in 2018. Nature Sustainability, 4: 252–260. <https://doi.org/10.1038/s41893-020-00646-7>

World Fire Statistics. CTIF Report. 2020. [Electronic resource]. 67 p. Available at: https://www.ctif.org/sites/default/files/2020-06/CTIF_Report25.pdf (accessed 05.10.2022).

Melnyk Ye. Ye., Voron V. P., Sydorenko S. H., Koval I. M.

ECONOMIC LOSSES CAUSED BY FIRES IN YEARS OF THE FIRE PEAK IN THE MOST FREQUENTLY FIRE-DAMAGED STANDS IN THE KHARKIV GREEN BELT

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

The article analyses the long-term dynamics of both fire frequency and area over the last 20 years in the forests of the Kharkiv green belt, using the example of the Vasyshchevo Forestry in the Zhovtneve State Forest Enterprise. The forests of this forestry are most often damaged by fires. Fire peak periods for the forests have been identified, that is, the years in which the highest fire number and the largest burnt area were recorded. Based on the temporal trends of forest fires, their impact on the volume of sanitation felling in pine forests in these years was determined. Both the total direct economic losses per year and the losses per 1 ha were calculated. It was found that the main share of losses comes from a decrease in the marketability of pine wood (56–68%). Also, a significant share of losses is associated with felling and skidding of wood (22%). Costs for reforestation account for only 6–12%, and thinning treatments until the age of sanitation felling make up 5–10% and were the lowest.

Key words: surface fires, fire peak, direct losses, costs, marketability, Scots pine.

E-mail: wudckij1985@gmail.com

Одержано редколегією 29.10.2022

УДК582.641.6:630.1+582.475.4(477)

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.124>**О. О. ОРЛОВ¹, О. В. ЖУКОВСЬКИЙ¹, В. О. БОРОДАВКА¹, О. Б. БОРОДАВКА¹,
В. В. ШЕВЧУК¹, В. І. МАТЕЙЧИК², Л. С. АРВАТ³****ОМЕЛА АВСТРІЙСЬКА (*VISCUM ALBUM SSP. AUSTRIACUM* (WIESB.) VOLLM.)
У СОСНОВИХ ЛІСАХ УКРАЇНИ: СУЧАСНИЙ СТАН ПРОБЛЕМИ**¹Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісівництва та агролісомеліорації
ім. Г. М. Висоцького²Шацький національний природний парк³Шацький лісовий фаховий коледж ім. В. В. Сулька

Проаналізовано матеріали та базу даних щодо поширення омели австрійської в соснових лісах України. Нині омелу австрійську вважають підвидом омели білої (*Viscum album ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollm.). Вона розвивається переважно на гілках крони хвойних порід: багатьох видів роду сосна, значно рідше – видів родів ялина та модрина. Поширення насіння омели австрійської пов'язане переважно з двома видами птахів – дроздом-омелюхом та омелюхом. Поширення омели в Україні є дуже фрагментарним: зона мішаних лісів (Поліський край, фізико-географічні області Волинського Полісся, Житомирського Полісся, Київського Полісся та Чернігівського Полісся) і лісостепова зона (Подільсько-Придніпровський край, Київська та Центрально-придніпровська височинні області). За нашою оцінкою, в Україні сумарна площа соснових лісів, уражених омелою австрійською, сягає близько 13 500 га. Вона переважно уражує чисті за складом високобонітетні середньоповнотні перестійні сосняки. Омела в соснових насадженнях насамперед колонізує домінуючі дерева. Обмежене лісокористування сприяє поширенню омели, особливо на території об'єктів природно-заповідного фонду й лісів зелених зон міст. Ураження соснових лісів омелою австрійською слід визнати загальнодержавною проблемою.

Ключові слова: напівпаразит, поширення, орнітохорія, сосна звичайна, таксаційні показники, санітарний стан, природно-заповідний фонд.

Вступ. В умовах глобальної зміни клімату та збільшення посушливості умов відбувається ослаблення лісів (Rigling et al. 2010, Shvidenko et al. 2018), зокрема соснових (*Pinus sylvestris* L.). Нині останні є певною мірою ослабленими не лише на локальному, але й на регіональному рівні, зокрема в основному ареалі поширення соснових лісів в Україні – Поліссі (Getmanchuk et al. 2017), що, зі свого боку, зумовило масовий розвиток у них шкідників, зокрема комплексу короїдів (Meshkova & Bobrov 2020), а також збудників хвороб, серед яких –офіостомові гриби (види роду *Ophiostoma* Syd. & P.Syd., 1919) (Davydenko et al. 2017) та опеньок темний (*Armillaria ostoyae* (Romagn.) Herink, 1973). За офіційними даними Держлісагентства України, станом на 31.12.2022 площа соснових насаджень, що всихають, становила 79 000 га (SFRA of Ukraine 2023).

Водночас поряд із добре відомими комахами-фітофагами та патогенами сосни звичайної останні 10–15 років виявилася нова загроза сосновим лісам країни – ураження їх омелою австрійською (*Viscum album ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollm.). На жаль, наразі в Україні відсутня загальна база розміщення соснових виділів, уражених омелою австрійською, невідома їхня сумарна площа, динаміка поширення виду за останні 5–10 років, а також не вивчено її вплив на санітарний стан і продуктивність соснових насаджень. Парадокс полягає в тому, що ця проблема фактично випала з поля зору науковців у галузі захисту лісу, але практики лісозахисту в кількох регіонах України вже понад 10 років ведуть моніторинг та контроль омели австрійської, зокрема спеціалісти ДСЛП «Київлісозахист» у Київській і Черкаській областях.

Проблеми таксономії. За сучасними уявленнями (POWO 2023), омела австрійська (соснова) втратила ранг виду (*Viscum austriacum* Wiesb.), нині її вважають підвидом омели білої (*Viscum album ssp. austriacum* (Wiesb.) Vollm.). Цей її таксономічний ранг підтверджено численними сучасними молекулярно-генетичними дослідженнями (Mejnartowicz 2006, Zuber & Widmer 2009, Bilonozhko et al. 2021a). Від інших підвидів омели білої (*Viscum album* L.), яких в Україні трапляється ще два – омела біла, підвид біла (*Viscum album ssp. album* L.), та омела ялицева (*Viscum album ssp. abietis* (Wiesb.) Janch.), омела австрійська значно

відрізняється морфологічно (Zuber 2004) та біохімічно (Hayashi et al. 1996, Yelptiforov et al. 2017, Bilonozhko et al. 2021b).

Біологічні та екологічні особливості омели австрійської. Омела австрійська – вічнозелений, напівпаразитний, дводомний чагарник кулястої форми, діаметром до 60 см, з дихотомічним галузженням. Вона розвивається переважно на гілках крони хвойних порід: багатьох видів роду сосна (*Pinus* L.), значно рідше – видів роду ялина (*Picea* A. Dietr.) та модрина (*Larix* Mill.) (Dobbertin et al. 2005). Однак в Україні вид зафіксовано лише на сосні звичайній (Krasylenko et al. 2020). Вік рослин омели сягає 15–20 років (Zuber 2004), за іншими даними – 24–25 років (Bilgili et al. 2020). Ареал виду – середньоевропейсько-середземноморсько-малоазійський, охоплює північний захід Африки, Піренейський півострів, Центральну та Південну Європу, Кавказ, Малу Азію (*Loranthaceae* Juss. 2022).

Омела австрійська щорічно цвіте та плодоносить, починаючи з 5–6-річного віку (Kahle-Zuber 2008). В Україні дозрівання плодів починається в кінці листопада й триває до кінця квітня, в цей період птахи поїдають плоди омели і поширюють насіння. Плід омели – куляста несправжня ягода діаметром 7–10 мм, яка містить вісцин – дуже клейку речовину, так званий «пташиний клей». На відміну від підвиду *Viscum album* ssp. *album*, насіння якого поширюється десятками видів птахів (Krasylenko et al. 2020), поширення насіння підвиду *Viscum album* ssp. *austriacum* пов'язане переважно з двома видами птахів – дроздом-омелюхом (*Turdus viscivorus* Linnaeus, 1758) та омелюхом (*Bombycilla garrulus* Linnaeus, 1758) (Szmidla et al. 2019, Krasylenko et al. 2020), які поїдають ягоди та разом з послідом поширюють насіння виду. В Україні більш звичайним є перший вид, а другий є зимовим перелітним (Krasylenko et al. 2020). Розповсюдження насіння омели австрійської також пов'язане з менш спеціалізованими видами – переважно з кропив'янкою чорноголовою (*Sylvia atricapilla* Linnaeus, 1758) і нечасто – із синицею великою (*Parus major* Linnaeus, 1758), синицею чорною (*Periparus ater* Linnaeus, 1758) та деякими іншими видами птахів (Mellado & Zamora 2014). Ці види поїдають лише соковитий клейкий мезокарп ягід омели, не з'їдаючи насінини. Насіння приклеюється до дзьобів птахів, які згодом звільняються від нього, обтираючи дзьоби об гілки, тим самим залишаючи насіння омели переважно в кронах дерев. Саме тому кількість особин омели та їхня фітомаса статистично достовірно збільшується від нижньої частини крони сосни до верхньої (Bilgili et al. 2020).

Виявлено, що за допомогою птахів омела австрійська в соснових насадженнях колонізує спочатку домінуючі дерева, які характеризуються найвищими кронами та більшою кореневою системою, що забезпечує рослині-живителю та одночасно омелі кращі умови водно-мінерального живлення (Kartoolinejad et al. 2007, Mellado & Zamora 2017).

Фотосинтетична поверхня стебел омели становить 47 % від загальної, тобто майже дорівнює такій листя (Míguez et al. 2015), причому вид є фотосинтетично активним протягом усього року, навіть за від'ємної температури (Schröder et al. 2022). Це зумовлює поглинання омелою води й поживних речовин із організму дерева-живителя навіть під час зимового спокою, коли їх надходження з ґрунту до крони не відбувається, що, зі свого боку, викликає ослаблення дерев сосни, починаючи із зими.

Показано (Mathiasen et al. 2008), що рівень транспірації омели австрійської є значно вищим, ніж у сосни, що зменшує ефективність використання сосною води до 9 разів (Sanguesa-Barreda et al. 2012, Bilgili et al. 2018), зокрема для фотосинтезу, особливо в літню посуху (Rigling et al. 2010). Дефіцит вологи зумовлює закриття продихів на хвої, що значно зменшує асиміляцію вуглецю деревами (Zweifel et al. 2012), а синтез вуглеводів зменшується на 22–43 % (Hosseini et al. 2007). Крім того, у хвої дерев сосни, колонізованих омелою, у період вегетації – з квітня до жовтня – зменшується вміст хлорофілу (Rigling et al. 2010), що додатково знижує фотосинтетичну активність дерев (Hosseini et al. 2007) та спричинює втрати в прирості фітомаси (Catal & Carus 2011).

Вплив омели на санітарний стан і продуктивність соснових насаджень в умовах зміни клімату. Значний рівень транспірації та фотосинтетичної активності омели, відбір у дерева-

живителя великої кількості вологи та поживних речовин негативно впливають на життєвість колонізованих омелою дерев сосни, що виявляється в зрідженні хвої, відмиранні пагонів, зменшенні продуктивності окремих дерев і насаджень (Szmidla et al. 2019). За даними (Rigling et al. 2010), існує тісна кореляція між втратою продуктивності сосною і ступенем ураження дерева омелою. Багато досліджень свідчать про зменшення радіального приросту колонізованих омелою дерев сосни (Catal & Carus 2011, Yan et al. 2016, Kollas et al. 2018, Pilichowski et al. 2018). Наведено дані (Bilgili et al. 2018), що залежно від ступеня ураження дерева сосни омелою втрати приросту коливаються в межах 41–64 %. Такі дослідження є необхідними в Україні. Показано (Szmidla et al. 2019), що в Польщі поширення омели австрійської відбувається переважно в районах, де зафіксовано найбільше збільшення весняних температур повітря та зменшення кількості опадів – унаслідок формування гідротермічного стресу дерев сосни, що сприяє їхній колонізації омелою австрійською.

В умовах зміни клімату та збільшення частоти посух у Європі омела австрійська підсилює гідротермічний стрес у соснових насадженнях, зумовлюючи збільшення кількості загиблих від посухи дерев сосни, як це показано для Швейцарії (Rigling et al. 2010). Існує також взаємозв'язок між колонізацією дерева сосни омелою та його заселенням короїдами. Для обох чинників є сприятливим зменшення вмісту живиці в трахеїдах дерева, наприклад, у посуху. Один із цих чинників (умовно перший) зумовлює ще більше зниження вмісту живиці, що збільшує сприйнятливість дерева для дії другого (Dobbertin & Rigling 2006). Подібну картину ураження соснових насаджень ми спостерігали у Волинському Поліссі у 2018 р.

Метою дослідження було виявити особливості поширення омели австрійської в соснових насадженнях України. Завдання охоплювали аналіз біологічних та екологічних особливостей омели австрійської, оцінювання площі її осередків, таксаційних показників і санітарного стану уражених насаджень.

Матеріали й методи. Поширення омели австрійської в Україні нами вивчено за чотири групи джерел: 1 – флористичними базами даних: GBIF (GBIF 2023), iNaturalist (iNaturalist 2022), UkrBIN (UkrBIN 2022); 2 – гербарними зборами, які зберігаються в Національному гербарії Інституту ботаніки ім. М. Г. Холодного НАН України (KW), гербаріями Національного ботанічного саду ім. М. М. Гришка НАН України (KWHN), гербаріями Державного природознавчого музею НАН України у м. Львові (LWS), гербаріями Інституту екології Карпат НАН України (LWKS), гербаріями Львівського національного університету ім. Івана Франка (LWU); 3 – науковими публікаціями; 4 – опублікованими актами санітарно-лісопатологічних обстежень соснових насаджень, проведених спеціалістами ДСЛП «Київлісозахист» у 2018–2022 рр. (NPL Holosiiivskiy 2022, SE Vyschedubchansky forestry 2022a, 2022b, 2022c, SE Cherkasy forestry 2023).

Проведено пілотне дослідження поширення омели австрійської в соснових лісах України з різними таксаційними показниками. Із цією метою з бази даних виділено 100 виділів сосняків, уражених омелою, – по 20 виділів з основних регіонів її поширення в Україні – та вивчено такі таксаційні показники, як вік насаджень, їхній склад, відносна повнота, бонітет. Базу даних аналізували з використанням прикладного пакету програмного забезпечення MS Office MS Excel.

Результати та обговорення. *Поширення в Україні та площі осередків омели австрійської.* Публікації щодо поширення омели австрійської в Україні є дуже фрагментарними. Зокрема, М. І. Котов у 1940 р. знайшов цей вид в околицях с. Старосілля Вищедубчанського р-ну Київської обл. (село затоплене у 1960 р., нині Вишгородський р-н), у колишньому заповіднику АН УРСР «Гористе» (Kotov 1941). Є. І. Бордзиловський, О. О. Лоначевський на початку 1950-х років зазначили, що омела австрійська в Україні поширена на сосні звичайній переважно в західній частині держави – Західному Поліссі та окремих районах Правобережного Полісся (м. Київ, Пуща-Водиця), Лівобережного Полісся (Київська обл., околиці с. Вища Дубечня) (Bordzilovskiy & Lonachevskiy 1952). Як звичайний

вид омела австрійська цими авторами також наведена для Волинського Лісостепу (без зазначення конкретних місцезнаходжень) та окремих частин Правобережного Лісостепу (околиці м. Канів). У сучасних публікаціях щодо поширення омели австрійської наведено розрізнені дані (Tsylyuyuk & Urduakov 2012, Chornobrov et al. 2019, Yukhnovskyi et al. 2019). Відомості щодо поширення омели австрійської в Україні станом на 2020 рік узагальнено у (Krasylenko et al. 2020), зокрема наведено дані, що цей вид зафіксовано у 28 локалітетах у різних регіонах України, переважно на правобережжі Дніпра.

За нашими даними, нині соснові насадження, уражені омелою австрійською, виявлені у таких регіонах країни (рис. 1): зона мішаних лісів (Поліський край, фізико-географічні області Волинського Полісся, Житомирського Полісся, Київського Полісся та Чернігівського Полісся). Останній регіон – єдиний в Україні осередок поширення омели австрійської на лівобережжі Дніпра. У Волинському Поліссі вид поширений у Шацькому НПП, НПП «Прип'ять-Стохід», Черемському та Рівненському природних заповідниках і в багатьох лісогосподарських підприємствах – філіях ДП «Ліси України», зокрема, у Волинській області – таких, як «Володимир-Волинське лісомисливське господарство», «Любомльське лісове господарство», «Ковельське лісове господарство», «Ратнівське лісомисливське господарство», «Любешівське лісомисливське господарство», «Колківське лісове господарство», «Ківерцівське лісове господарство»; у Рівненській області – «Костопільське лісове господарство» та «Рафалівське лісове господарство».

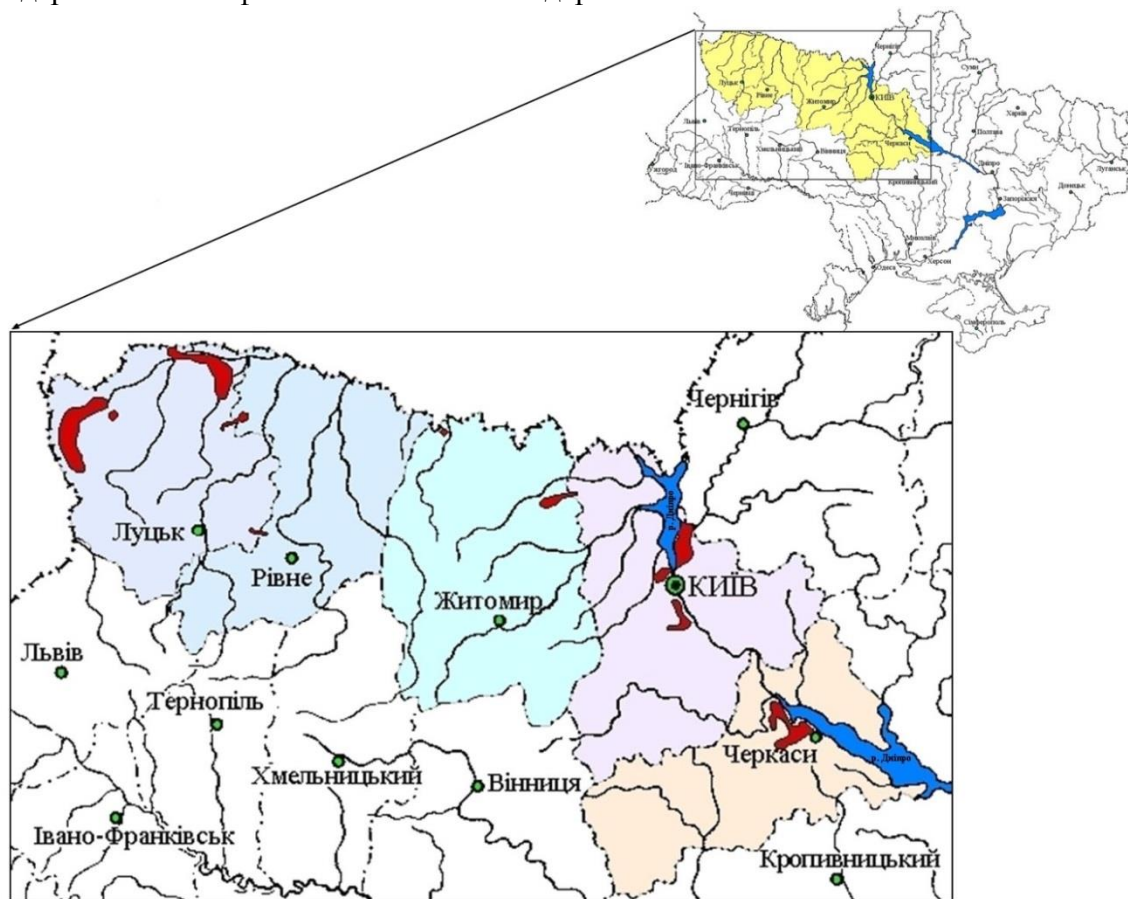


Рис. 1 – Поширення омели австрійської в Україні (інтенсивним забарвленням виділені найбільші осередки поширення омели австрійської; межі природних зон – за Marynych et al. 2007)

У Житомирському Поліссі вид виявлено нами тільки в природному заповіднику – Поліському на площі близько 120 га. У Київському Поліссі вид значно поширений у зеленій зоні м. Київ, зокрема, в Голосіївському НПП та навколишніх насадженнях. У Чернігівському Поліссі омелою австрійською уражені значні площі у межиріччі Дніпра та Десни у філії «Вище-Дубечанське лісове господарство» ДП «Ліси України».

У Лісостеповій зоні, Подільсько-Придніпровському краї, омела австрійська поширена в Київській височинній області (Київська обл., філія «Київське лісове господарство» ДП «Ліси України») та Центральнопридніпровській височинній області у Черкаській області (філії «Черкаське лісове господарство», «Смілянське лісове господарство», «Жорсуно-Шевченківське лісове господарство» ДП «Ліси України»), де за результатами осінньої інвентаризації 2020 р., проведеної спеціалістами ДСЛП «Київлісозахист», площа соснових лісів, уражених омелою австрійською, дорівнювала 10 700 га (Cherkasy DSA 2022), з них 9 300 га – у насадженнях Черкаського лісгоспу. Осіння інвентаризація 2021 р. виявила збільшення площі уражених омелою сосняків у Черкаському ОУЛМГ – до 11 300 га (Procherk 2022), з них в унікальному пристеповому Черкаському бору цим видом уражено 4 000 га.

За нашою оцінкою, в Україні сумарна площа соснових лісів, уражених омелою австрійською, сягає близько 13 500 га, з них у Поліссі – близько 2 100 га та в Лісостепу – 11 400 га. Зважаючи на сучасне поширення омели австрійської у різних регіонах країни, уражену нею площу, значну шкідливість і прогнозовану тенденцію подальшого поширення, ураження соснових лісів згаданим видом слід визнати загальнодержавною проблемою, яку слід терміново вирішувати. Також слід звернути особливу увагу на соснові ліси Гірського Криму, які зазвичай характеризуються значним віком і середньою повнотою, що збільшує їхню сприйнятливість до заселення омелою австрійською, як це відбулося в причорноморських лісах Туреччини (Catal & Carus 2011, Bilgili et al. 2020).

Нині омела австрійська є поширеним видом у Центральній і Східній Європі, зокрема в найближчих до України сусідніх країнах – Польщі (вид має значне поширення в південній частині країни) та Білорусі (зафіксовані поодинокі місця в міжнародних базах даних із біорізноманіття) (Krótkoterminowa prognoza 2019, iNaturalist 2022, GBIF 2023). Слід підкреслити, що, оскільки ми маємо справу з біологічним організмом, поширення омели в сосняках (кількість локалітетів і площа) без санітарно-оздоровчих заходів може експоненційно збільшуватися – чим триваліше невтручання, тим бурхливіший приріст згаданих показників. Водночас у Польщі, незважаючи на постійний моніторинг і заходи контролю поширення омели австрійської, площа уражених нею сосняків збільшилася від 1 400 га у 2017 р. до 23 000 га у 2018 р. (Jabłoński et al. 2019), а за іншими даними (Szmidla et al. 2019), площа таких сосняків у Польщі становить 77 500 га.

Залежність поширення омели австрійської від таксаційних показників соснових насаджень. Зважаючи на фізіологічні особливості взаємодії омели австрійської з деревом-живителем (сосною звичайною), складні консортивні зв'язки омели з птахами, які є векторами поширення її насіння, відбувається взаємний вплив: омели – на таксаційні параметри соснових деревостанів (зокрема, зменшення запасу), а насаджень – на сприятливість умов для оселення омели. Дослідження поширення омели австрійської в соснових насадженнях демонструють, що статистично достовірно більше ураження нею виявлено в сосняках сухіших гігروتопів, насадженнях вікової групи 71–90 років, дерев на узліссях, дерев більшого діаметра та більшого рівня дефоліації (Lorenc & Véle 2022).

Результати досліджень деяких таксаційних показників 100 виділів сосняків, уражених омелою, та їхній аналіз наведено на рисунках 2–5.

Дані рисунку 2 свідчать, що більшість уражених омелою австрійською насаджень представлені чистими сосняками – 72 % площі, ще 14 % площі представлені чистими сосняками з поодинокією участю листяних порід. І лише на 14 % площі уражених омелою насаджень представлені мішані листяно-соснові та сосново-листяні насадження. Слід зазначити, що склад насаджень, уражених омелою австрійською, має значну регіональну специфіку, зокрема в Поліссі переважають чисті соснові насадження, а в Лісостепу – листяно-соснові та сосново-листяні насадження. Вікова структура соснових насаджень, уражених омелою австрійською (рис. 3), свідчить про переважання площ старших вікових груп: перестійних лісів – 54 % та стиглих лісів – 23 %.

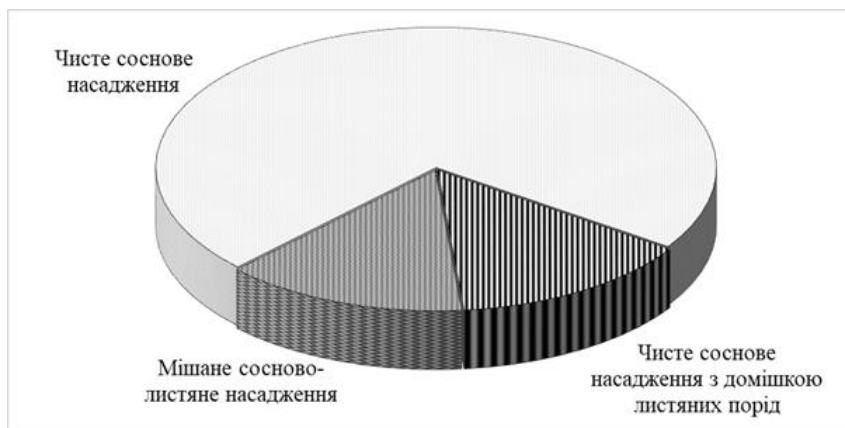


Рис. 2 – Розподіл за складом соснових насаджень, уражених омелою австрійською

Частка пристиглих соснових лісів становить 8 %, середньовікових – 14 %. Слід, однак, наголосити на тому, що в різних регіональних осередках поширення омели в Україні розподіл вікових груп значно різниться. Наприклад, у Чернігівському Поліссі (Вище-Дубечанський лісгосп) частка перестійних, стиглих і пристиглих лісів, ймовірно, є значно більшою, переважання омели в цих вікових групах сосняків лісгоспу відзначено в дослідженні (Yukhnovskiy et al. 2019). У Волинському Поліссі серед уражених омелою сосняків переважають середньовікові насадження, у Житомирському Поліссі – пристиглі й стиглі насадження.

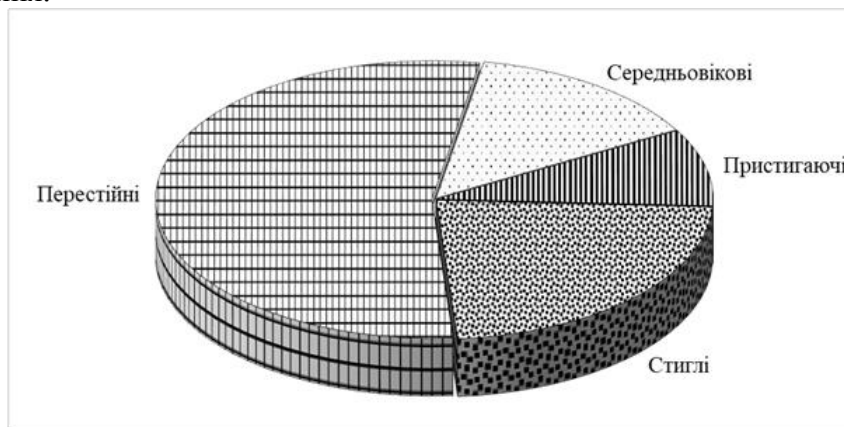


Рис. 3 – Розподіл соснових насаджень, уражених омелою австрійською, за групами віку

В деяких регіонах останнім часом відзначено «помолодшання» осередків омели, зокрема у Волинському Поліссі та Центрально-придніпровській височинній області Лісостепу (Черкаський лісгосп) (Cherkasy DSA 2022). Чеськими дослідниками (Logenc & Vélé 2022) зроблено висновок, що зменшення обороту рубки є одним із заходів стримування поширення омели в сосняках Центральної Європи.

Відносна повнота насаджень є одним із визначальних факторів сприятливості умов для поширення омели австрійської в соснових насадженнях (Bilgili et al. 2020). Вплив цього параметра на омелу австрійську є як прямим – більш розріджені насадження сприяють кращій освітленості кущів омели в кронах сосни, так і опосередкованим – такі насадження є більш привабливими для птахів, які поширюють її насіння (Thomas et al. 2022). Розрахунки продемонстрували (рис. 4), що в Україні в осередках омели австрійської переважають насадження з повнотою 0,5–0,7, займаючи 67 % площі.

Частка високоповнотних насаджень у площі уражених омелою сосняків становить 17 %, низькоповнотних – 16 %. У Європі збільшення повноти соснових насаджень вважають одним із дієвих заходів стримування поширення омели у сосняках (Szmidla et al. 2019).

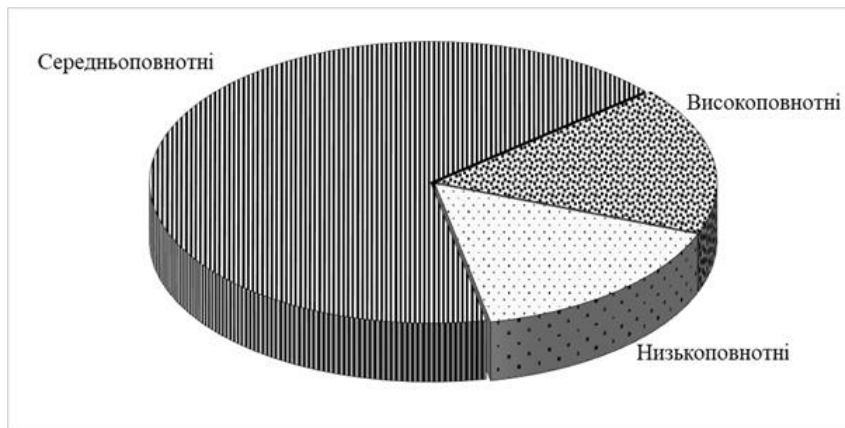


Рис. 4 – Розподіл соснових насаджень, уражених омелою австрійською, за відносною повнотою

Розподіл за класами бонітету соснових насаджень України, уражених омелою австрійською, є доволі специфічним (рис. 5).

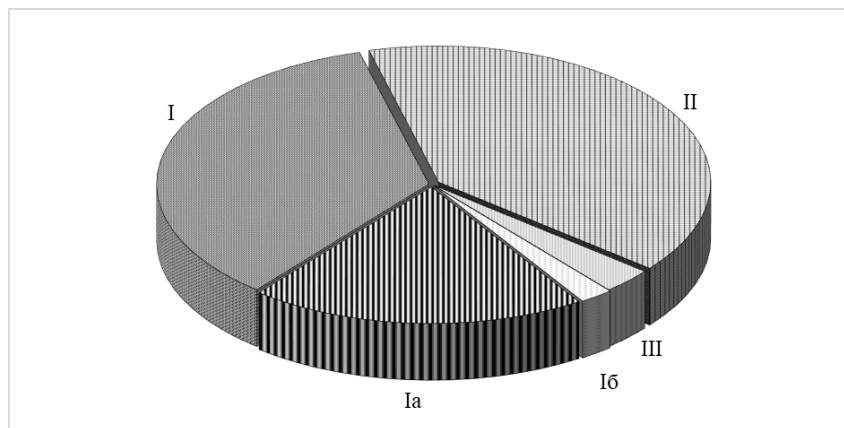


Рис. 5 – Розподіл соснових насаджень, уражених омелою австрійською, за класами бонітету

Добре помітно, що сосняки, уражені омелою австрійською, є переважно високобонітетними насадженнями – загалом 57 %, зокрема I^б класу бонітету – 2 %, I^а – 20 %, I – 35 %. Частка насаджень II класу бонітету становить 40 %, III – лише 3 %. Наведені дані дають змогу зробити висновок, що омелою австрійською в Україні уражаються найцінніші високопродуктивні соснові насадження.

Омела австрійська в лісах з обмеженим лісокористуванням. Як показано вище, на поширення омели впливають такі взаємопов'язані таксаційні показники соснових деревостанів, як вік і повнота. Саме у стиглих та перестійних соснових насадженнях з повнотою 0,5–0,7, найбільш характерних для лісів із режимом обмеженого лісокористування, особливо цінних для збереження лісах (ОЦЗЛ), де всі види рубок проводять зі значними обмеженнями, зафіксовано максимальне ураження омелою соснових насаджень. Насамперед це стосується об'єктів природно-заповідного фонду України. Так, станом на 01.03.2023 омелу австрійську виявлено в Шацькому НПП, Голосіївському НПП, НПП «Прип'ять-Стохід», а також природних заповідниках – Рівненському, Черемському, Поліському та Древянському. Слід підкреслити, що рубки в національних природних парках дозволені лише в межах зони регульованої рекреації. У природних заповідниках заборонено проведення рубок головного користування та всіх видів поступових і суцільних рубок, ліквідацію захаращеності; вирубування лісових плодкових, дуплястих, сухостійних та інших фаутичних дерев, дерев із діаметром пня (у місці кореневої шийки) більше ніж 60 см (On Nature Reserve Fund of Ukraine 2021).

Ураження омелою австрійською соснових насаджень нині реєструють також у багатьох заказниках країни. Так, у Черкаській області воно зафіксовано в ботанічних заказниках місцевого значення «Михайлівський» та «Дахнівський», загальнозоологічному заказнику місцевого значення «Імшан»; у Київській області – у ботанічному заказнику загальнодержавного значення «Лісники», ландшафтному заказнику місцевого значення «Обухівський». Всихання цінних старовікових соснових лісів також відбувається в пам'ятках природи, наприклад, у ботанічній пам'ятці природи місцевого значення «Високопродуктивне насадження сосни» (Черкаська обл.). Згідно зі статтю 26 Закону України «Про природно-заповідний фонд», «на територіях заказників забороняються суцільні, прохідні, лісовідновні та поступові рубки, видалення захаращеності...», аналогічні заборони також передбачені статтю 28 на території пам'яток природи (On Nature Reserve Fund of Ukraine 2021).

Генетичні резервати є особливо цінними для збереження лісами з режимом обмеженого лісокористування. Осередки омели австрійської зафіксовано С. А. Лось та Л. І. Терещенко 15 липня 2022 р. у генетичному резерваті сосни звичайної у кварталах № 8, 9, 11 Закревського лісництва ДП «Черкаський лісгосп». У цьому об'єкті дерева сосни звичайної, уражені омелою, терміново підлягають кронуванню, а за неможливості або неефективності його проведення – видаленню.

На території зелених зон міст, наприклад, у лісопаркових господарствах м. Київ, також обмежено лісокористування, що призвело до утворення значних площ стиглих і перестійних соснових насаджень віком 110–130 (170) років середньої та низької повноти, які є масово ураженими омелою австрійською (Tsylyuyuk & Urdyakov 2012, Chornobrov et al. 2019). Значні площі таких насаджень наявні в Конче-Заспівському лісопарковому господарстві (Конче-Заспівському та Дачному лісництвах), а також у Святошинському лісопарковому господарстві (лісництвах «Пуща-Водиця», Святошинському та Межигірському). Подібна ситуація існує також у лісах водоохоронних зон Дніпра та Десни у Вище-Дубечанському лісгоспі (Yukhnovskiy et al. 2019), який є одним із найбільших за площею осередків омели австрійської в Україні.

Боротьбу з омелою австрійською в Україні нині також стримує її занесення до списків охоронюваних видів рослин у деяких областях. Зокрема, цей вид з категорією NT – вид, що наближається до загрожуваного, внесено до списку регіонально рідкісних видів Волинської області (Danylyuk et al. 2022). Це фактично забороняє проведення заходів контролю омели в цьому регіоні, де, за нашою оцінкою, можливий найбільш інтенсивний приріст кількості локалітетів виду та ураженої ним площі соснових лісів. Омелу австрійську також внесено до списку регіонально рідкісних видів Житомирської області, затвердженому у 2010 р. (List of regionally rare species 2010). На час внесення омели до згаданого переліку у Житомирській області було відомо лише два локалітети виду 1940-х та 1960-х років. Пізніше вид знайдено О. О. Орловим у невеликій кількості в Поліському природному заповіднику (2010 р.) та доволі масово – у Древлянському природному заповіднику (2018 р.). На наш погляд, омелу австрійську слід терміново виключити зі списків охоронюваних видів рослин обох згаданих областей, що дасть можливість проводити санітарно-оздоровчі заходи в уражених нею соснових насадженнях, принаймні за межами об'єктів природно-заповідного фонду.

Висновки. Соснові насадження, уражені омелою австрійською, виявлено у двох зонах України: зоні мішаних лісів (Поліський край, фізико-географічні області Волинського Полісся, Житомирського Полісся, Київського Полісся та Чернігівського Полісся) та лісостеповій зоні (Подільсько-Придніпровському краї, Київській височинній області та Центральнопридніпровській височинній області). Сумарна площа соснових лісів, уражених омелою австрійською, сягає близько 13,5 тис. га, з них у Поліссі – близько 2,1 тис. га, у Лісостепу – 11,4 тис. га. Ураження соснових лісів омелою австрійською слід визнати загальнодержавною проблемою. Внаслідок колонізації сосни омелою австрійською знижується життєвість дерева, відмирають пагони, зменшується річний приріст, а в умовах посухи можлива загибель дерева-живителя.

Більшість уражених омелою австрійською насаджень в Україні – чисті сосняки, переважно стиглі та перестійні високобонітетні насадження середньої повноти.

Обмеження лісокористування створює умови для подальшого поширення омели, особливо на території об'єктів природно-заповідного фонду, лісів зелених зон міст. Слід виключити омелу австрійську з регіональних списків охоронюваних видів рослин. В Україні необхідним є розгортання всебічних досліджень омели австрійської в соснових лісах, результатом чого мають стати рекомендації з моніторингу та контролю цього виду.

Подяки. Автори щиро вдячні канд. с.-г. наук, с. н. с. С. А. Лось, зав. відділу селекції, генетики та біотехнології УкрНДІЛГА; В. В. Туричу, науковому співробітнику Шацького НПП; канд. с.-г. наук, доценту В. П. Войтюку, доценту Волинського національного університету імені Лесі Українки; канд. біол. наук, доценту В. І. Гончаренку, зав. кафедри ботаніки Львівського національного університету імені Івана Франка, за надані відомості про поширення омели австрійської в окремих локалітетах України.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bilgili, E., Coskuner, K. A., Baysal, I., Ozturk, M., Usta, Y., Eroglu, M., Norton, D. 2020. The distribution of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Scots pine (*Pinus sylvestris*) forests: from stand to tree level. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 35(1-2): 20–28. <https://doi.org/10.1080/02827581.2020.1729402>

Bilgili, E., Ozturk, M., Coskuner, K. A., Baysal, I., Serdar, B., Yavuz, H., Eroglu, M., Usta, Y. 2018. Quantifying the effect of pine mistletoe on the growth of Scots pine. *Forest Pathology*, 48: e12435. <https://doi.org/10.1111/efp.12435>

Bilonozhko Yu. O., Rabokon, A. M., Postovoitova, A. S., Kalafat, L. O., Boiko, N. S., Pryvalikhin, S. M., Topchii, T. V., Demkovych, A. Ye., Blume, Ya. B. and Pirko, Ya. V. 2021a. Genetic polymorphism of white mistletoe (*Viscum album* L.) in Ukraine. *Factors in experimental evolution of organisms*, 28: 36–41 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.7124/FEEO.v28.1372>

Bilonozhko, Yu. O., Rabokon, A. M., Postovoitova, A. S., Kalafat, L. O., Pryvalikhin, S. M., Demkovych, A. Ye., Blume, Ya. B., Pirko, Ya. V. 2021b. Intraspecific differentiation in white mistletoe (*Viscum album* L.) using the analysis of intron length polymorphism of β -tubulin genes and the SSR analysis. *Cytology and Genetics*, 55.1: 1–9. <https://doi.org/10.3103/S0095452721010035>

Bordzilovskiy, Ye. I. and Lonachevskiy, O. O. 1952. Genus 220. Mistletoe – *Viscum* L. In: Kotov, M. I. (Eds.). *Flora of Ukrainian SSR. Vol. IV*. Kyiv, Publishing House of Academy of Sciences of the Ukrainian SSR, p. 173–176 (in Ukrainian).

Catal, Y. and Carus, S. 2011. Effect of pine mistletoe on radial growth of Crimean pine (*Pinus nigra*) in Turkey. *Journal of Environmental Biology*, 32.3: 263–270. <https://www.researchgate.net/publication/51876987>

Cherkasy DSA [Cherkasy District State Administration]. 2022. [Electronic resource]. Cherkasy district administration. Available at: <https://cherkassyrd.gov.ua/cherkaska-oblast/2021/04/09/golova-derzhlisagentstva-ukrayiny-yurij-bolohovets-z-robochym-vizytom-vidvidav-cherkaskyj-derzhlisgosp> (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).

Chornobrov, O. Yu., Sotnyk, L. P., Pryadko, O. I. 2019. Pine mistletoe (*Viscum austriacum* Wiesb.) in the pine forests of the Hosiivskiy National Nature Park (Kyiv). In: *Plants and Urbanization. Proceedings of the Eighth International Scientific and Practical Conference*. Dnipro, DSAEU, p. 84–86.

Danylyk, I., Kuzyarin, O., Danylyk, R., Sosnovska, S. 2022. Regionally rare species of vascular plants of Volyn region (Ukraine). *Notes in Current Biology*, 1.3: 8–17 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.29038/2617-4723-2022-1-1-2>

Davydenko, K., Vasaitis, R., Menkis, Au. 2017. Fungi associated with *Ips acuminatus* (Coleoptera: Curculionidae) in Ukraine with a special emphasis on pathogenicity of ophiostomatoid species. *European Journal of Entomology*, 114: 77–85. DOI:10.14411/eje.2017.011

Dobbertin, M., Hilker, N., Rebetz, M., Zimmermann, N., Wohlgemuth, T., Rigling, A. 2005. The upward shift in altitude of pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) in Switzerland – the result of climate warming? *International Journal of Biometeorology*, 50: 40–47. <https://doi.org/10.1007/s00484-005-0263-5>

Dobbertin, M. and Rigling, A. 2006. Pine mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum*) contributes to Scots pine (*Pinus sylvestris*) mortality in the Rhone valley of Switzerland. *Forest Pathology*, 36: 309–322. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0329.2006.00457.x>

GBIF [the Global Biodiversity Information Facility]. 2023. [Electronic resource]. Global Biodiversity Information Facility. Available at: <https://www.gbif.org/species/4068991> (accessed 27.02.2023).

Getmanchuk, A. I., Kychilyuk, O. V., Voytyuk, V. P., Borodavka, V. O. 2017. The regional changes of climate as primary causes of strong withering of pine stands in Volyn Polissya. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27.1: 120–124 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40270127>

- Hayashi, S., Miyamoto, E., Kudo, K., Kameoka, H., Hanafusa, M. 1996. Comparison of the volatile components of three mistletoes. *Journal of Essential Oil Research*, 8: 619–626. <https://doi.org/10.1080/10412905.1996.9701029>
- Hosseini, S. M., Kartoolinejad, D., Mirnia, S. K., Tabibzadeh, Z., Akbarinia, M. and Shayanmehr, F. 2007. The effects of *Viscum album* L. on foliar weight and nutrients content of host trees in Caspian forests (Iran). [Electronic resource]. *Polish Journal of Ecology*, 55.3: 579–583. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/228751114> (accessed 27.02.2023).
- iNaturalist [Database on Biodiversity Information]. 2022. [Electronic resource]. California Academy of Sciences. Available at: https://www.inaturalist.org/observations?place_id=any&subview=map&taxon_id=484660 (accessed 01.12.2022).
- Jabłoński, T., Tarwacki, G., Sukovata, L. 2019. Pine forest conditions in Poland in 2015-2018. In: Pine forests: current status, existing challenges and ways forward. Proceedings of International Scientific and Practical Conference. Kyiv, Planeta-Print, p. 83–88.
- Kahle-Zuber, D. 2008. Biology and evolution of the European mistletoe (*Viscum album*). Doctoral Thesis. Zurich, 112 p. <https://doi.org/10.3929/ethz-a-005728816>
- Kartoolinejad, D., Hosseini, S. M., Mirnia, S. K., Akbarinia, M., Shayanmehr, F. 2007. The relationship among infection intensity of *Viscum album* with some ecological parameters of host trees. [Electronic resource]. *International Journal of Environmental Research*, 1(2): 143–149. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/27794328> (accessed 01.12.2022).
- Kollas, C., Gutsch, M., Hommel, R., Lasch-Born, P., Suckow, F. 2018. Mistletoe-induced growth reductions at the forest stand scale. *Tree Physiology*, 38.5: 735–744. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpx150>
- Kotov, M. I. 1941. Vegetation and flora of the “Horyste” reserve and its surroundings. In: Nature reserve of the Academy of Sciences of the Ukrainian SSR “Horyste”. Kyiv, p. 95–117 (in Ukrainian).
- Krasylenko, Yu., Sosnovsky, Ye., Atamas, N., Popov, G., Leonenko, V., Janošiková, K., Sytschak, N., Rydlo, K., Sytnyk, D. 2020. The European mistletoe (*Viscum album* L.): distribution, host range, biotic interactions and management worldwide with special emphasis on Ukraine. *Botany*, 98.9: 1–53. <https://doi.org/10.1139/cjb-2020-0037>
- Krótkoterminowa prognoza występowania ważniejszych szkodników i chorób infekcyjnych drzew leśnych w Polsce w 2019 r. 2019. Jabłoński, T. (Ed.). Sękocin Stary, Instytut Badawczy Leśnictwa, 160 s.
- List of regionally rare species of vascular plants of Zhytomyr region. 2010. [Electronic resource]. Decision of the Zhytomyr Regional Council from 08 September 2010. No 1162. Available at: <http://6.zt.gov.ua/old/index.php?go=sor&p=ses26r> (accessed 27.02.2023) (in Ukrainian).
- Loranthaceae Juss. [Euro-MedPlantBase – the information resource for Euro-Mediterranean plant diversity]. 2022. [Electronic resource]. Botanic Garden and Botanical Museum Berlin-Dahlem. Available at: <http://ww2.bgbm.org/EuroPlusMed/PTaxonDetail.asp?NameId=25273 &PTRefFk=7300000> (accessed 04.12.2022).
- Lorenc, F. and Véle, A. 2022. Characteristics of *Pinus sylvestris* stands infected by *Viscum album* subsp. *austriacum*. [Electronic resource]. *Austrian Journal of Forest Science*, 139(1): 31–50. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/359772746> (accessed 27.02.2023).
- Marynych, O. M., Parkhomenko, H. O., Pashchenko, V. M., Petrenko, O. M., Shyshchenko, P. H. 2007. Physico-geographical zoning. In: Rudenko, L. H. National atlas of Ukraine. Kyiv, SSIE Cartography, p. 228–229 (in Ukrainian).
- Mathiasen, R. L., Nickrent, D. L., Shaw, D. C., Watson, D. M. 2008. Mistletoes: Pathology, systematics, ecology, and management. *Plant Disease*, 92.7: 988–1006. <https://doi.org/10.1094/PDIS-92-7-0988>
- Mejnartowicz, L. 2006. Relationship and genetic diversity of mistletoe (*Viscum album* L.) subspecies. *Acta Societatis Botanicorum Poloniae*, 75.1: 39–49. <https://doi.org/10.5586/asbp.2006.007>
- Mellado, A. and Zamora, R. 2014. Generalist birds govern the seed dispersal of a parasitic plant with strong recruitment constraints. [Electronic resource]. *Oecologia*, 176.1: 139–147. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/263778682> (accessed 27.02.2023).
- Mellado, A. and Zamora, R. 2017. Parasites structuring ecological communities: The mistletoe footprint in Mediterranean pine forests. *Functional Ecology*, 31(11): 1–10. <https://doi.org/10.1111/1365-2435.12907>
- Meshkova, V. L. and Bobrov, I. O. 2020. Parameters of *Pinus sylvestris* health condition and *Ips acuminatus* population in pure and mixed stands of Sumy region. Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, 20: 131–140. <https://doi.org/10.15421/412012>
- Míguez, F., Fernández-Marin, B., Hernández, A., Becerril, J. M., García-Plazaola, J. I. 2015. Does age matter under winter photoinhibitory conditions? A case study in stems and leaves of European mistletoe (*Viscum album*). [Electronic resource]. *Functional Plant Biology*, 42(2): 175–185. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/277683506> (accessed 27.02.2023).
- NPL Hosiivskyi [Kiev Oblast and the city of Kiev forest management and the hunting economy. Measures to improve the sanitary state of forests]. 2022. [Electronic resource]. Kiev Oblast and the city of Kiev FMHE. Available at: <https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2019/11/Perelik-ZPSSL-NPP-Golosiyivskiy-01.11.19.pdf> (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).
- On Nature Reserve Fund of Ukraine. 2021. [Electronic resource]. Law of Ukraine from 08 August 2021. No 2456-XII. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/en/2456-12> (accessed 27.02.2023) (in Ukrainian).

Pilichowski, S., Filip, R., Kościelska, A., Żyźniowska, A., Iszkulo, G. 2018. Influence of *Viscum album* ssp. *austriacum* (Wiesb.) Vollm. on tree radial growth of *Pinus sylvestris* L. [Electronic resource]. Sylwan, 162.6: 452–459. Available at: <https://www.researchgate.net/publication/325809696> (accessed 27.02.2023).

POWO [About Plants of the World Online]. 2023. [Electronic resource]. Board of Trustees of the Royal Botanic Gardens, Kew. Available at: [https://powo.science.kew.org/results?q=Viscum %20austriacum](https://powo.science.kew.org/results?q=Viscum%20austriacum) (accessed 27.02.2023).

Procherk [At meeting, Department discussed the results of inspection of sanitary condition of forests]. 2022. [Electronic resource]. Cherkasy regional online-media "Procherk". Available at: <https://procherk.info/news/7-cherkassy/103768-na-naradi-v-upravlinni-obgovorili-rezultati-obstezhennja-sanitarnogo-stanu-lisiv> (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).

Rigling, A., Eilmann, B., Koechli, R., Dobbertin, M. 2010. Mistletoe-induced crown degradation in Scots pine in a xeric environment. *Tree Physiology*, 30.7: 845–852. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpq038>

Sanguesa-Barreda, G., Linares, J. C., Camarero, J. J. 2012. Mistletoe effects on Scots pine decline following drought events: Insights from within-tree spatial patterns, growth and carbohydrates. *Tree Physiology*, 32.5: 585–598. <https://doi.org/10.1093/treephys/tps031>

Schröder, L., Hohnjec, N., Senkler, M., Senkler, J., Küster, H., Braun H.-P. 2022. The gene space of European mistletoe (*Viscum album*). *The Plant Journal*, 109.1: 278–294. <https://doi.org/10.1111/tpj.15558>

SE Cherkasy forestry [Central-Western interregional management of forestry and hunting. Lists of datasets on sanitary felling by state forestry enterprises]. 2023. [Electronic resource]. Central-Western IMFH. Available at: https://drive.google.com/drive/folders/1uVAhGcQ1evMHvaff-4_Iwzu790MTdYMs (accessed 31.01.2023) (in Ukrainian).

SE Vyschedubchansky forestry [Kiev Oblast and the city of Kiev forest management and the hunting economy. Measures to improve the sanitary state of forests]. 2022a. [Electronic resource]. Kiev Oblast and the city of Kiev FMHE. Available at: https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2022/12/Akt_lisopatologichnogo_obstezhennya_nasadzhen-3.pdf (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).

SE Vyschedubchansky forestry [Kiev Oblast and the city of Kiev forest management and the hunting economy. Measures to improve the sanitary state of forests]. 2022b. [Electronic resource]. Kiev Oblast and the city of Kiev FMHE. Available at: <https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2022/09/Akt-lisopatologichnogo-obstezhennya-nasadzhen-05.09.2022.pdf> (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).

SE Vyschedubchansky forestry [Kiev Oblast and the city of Kiev forest management and the hunting economy. Measures to improve the sanitary state of forests]. 2022c. [Electronic resource]. Kiev Oblast and the city of Kiev FMHE. Available at: <https://kyivlis.gov.ua/wp-content/uploads/2021/12/Akt-sanitarno-lisopatologichnogo-obstezhennya-DP-Vyshhedubchanske-lisove-gospodarstvo-30.12.21.pdf> (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian).

SFRA of Ukraine [Forest protection against pests and deceases]. 2023. [Electronic resource]. State Forest Resources Agency of Ukraine. Available at: <https://forest.gov.ua/napryamki-diyalnosti/lisove-gospodarstvo/ohorona-i-zahist-lisiv/zahist-lisiv-vid-shkidnikiv-ta-hvorob> (accessed 27.02.2023) (in Ukrainian).

Shvidenko, A. Z., Buksha, I. F., Krakovska, S. V. 2018. Vulnerability of Ukraine's forests to climate change. Kyiv, Nika-Center, 184 p.

Szmidla, H., Tkaczyk, M., Plewa, R., Tarwacki, G., Sierota, Z. 2019. Impact of common mistletoe (*Viscum album* L.) on Scots pine forests – a call for action. *Forests*, 10(847): 1–15. <https://doi.org/10.3390/f10100847>

Thomas, P. A., Dering, M., Giertych, M. J., Iszkulo, G., Tomaszewski, D., Briggs, J. 2022. Biological Flora of Britain and Ireland: *Viscum album*. *Journal of Ecology*, 303: 701–739. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.14036>

Tsylyuryk, A. V. and Urdyakov, I. M. 2012. The bioecological and morphological characteristics of mistletoe austrian (*Viscum avstriacum* W.) and its spreading throughout the Kyiv urban forests. [Electronic resource]. Scientific reports of NULES, 3.32. Available at: https://nd.nubip.edu.ua/2012_3/12cav.pdf (accessed 20.12.2022) (in Ukrainian)..

UkrBIN [Ukrainian Biodiversity Information Network]. 2022. [Electronic resource]. UkrBIN Team. Available at: <https://ukrbin.com/index.php?id=318756> (accessed 01.12.2022).

Yan, C.-F., Gessler, A., Rigling, A., Dobbertin, M., Han, X.-G., Li, M.-H. 2016. Effects of mistletoe removal on growth, N and C reserves, and carbon and oxygen isotope composition in Scots pine hosts. *Tree Physiology*, 36.5: 562–575. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpw024>

Yelptiforov, E. M., Ivanytska, B. A., Malashuk, O. V. 2017. Comparative analysis of the content of chemical elements *Viscum album* L. i *Viscum album* subsp. *austriacum* (Wiesb.) Vollmann. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27.5: 93–97 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.15421/40270519>

Yukhnovskiy, V., Urliuk, Yu., Khryk, V., Levandovska, S. 2019. Sanitary state of water-protection pine plantations in the interfluvium of Dnieper and Desna. *Agrobiologia*, 2: 88–95. <https://doi.org/10.33245/2310-9270-2019-153-2-88-95>

Zuber, D. 2004. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. Flora – Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 199(3): 181–203. <https://doi.org/10.1078/0367-2530-00147>

Zuber, D. and Widmer, A. 2009. Phylogeography and host race differentiation in the European mistletoe (*Viscum album* L.). *Molecular Ecology*, 18(9): 1946–1962. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.2009.04168.x>

Zweifel, R., Bangerter, S., Rigling, A., Sterck, F. J. 2012. Pine and mistletoes: How to live with a leak in the water flow and storage system? *Journal of Experimental Botany*, 63(7): 2565–2578. <https://doi.org/10.1093/jxb/err432>

Orlov O. O.¹, Zhukovskiy O. V.¹, Borodavka V. O.¹, Borodavka O. B.¹, Shevchuk V. V.¹, Mateychyk V. I.², Arvat L. S.³

PINE MISTLETOE (*VISCUM ALBUM* SSP. *AUSTRIACUM* (WIESB.) VOLLM.) IN PINE FORESTS OF UKRAINE: CURRENT STATE OF THE PROBLEM

¹ Polissia Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Zhytomyr, Ukraine

² Shatsky National Nature Park, Volyn region, Ukraine

³ Shatsk Forest Applied College named after V. V. Sulko, Volyn region, Ukraine

The data concerning the distribution of pine mistletoe in the pine forests of Ukraine were analyzed. Nowadays pine mistletoe is regarded to be a subspecies of white mistletoe (*Viscum album* ssp. *austriacum* (Wiesb.) Vollm.). It develops mainly on crown branches of coniferous trees: many species of genus *Pinus* L., much rarer – species of genus *Picea* A. Dietr. and *Larix* Mill. Pine mistletoe seeds spreading mainly relates to two species of birds, namely to *Turdus viscivorus* Linnaeus, 1758 and *Bombycilla garrulus* Linnaeus, 1758. The distribution of the pine stands affected by pine mistletoe in Ukraine is very fragmented: zone of mixed forests (Polissia region, physical-geographical areas of Volyn Polissia, Zhytomyr Polissia, Kyiv Polissia and Chernihiv Polissia); Forest-Steppe Zone (Podilsko-Prydniprovsky region, Kyiv highland area and Central-Prydniprovsky highland area). According to our estimates, the total area of pine forests infected by pine mistletoe in Ukraine makes up to 13,500 ha, including 2,100 ha in Polissia and 11,400 ha in Forest-Steppe zone. Majority of the infected by pine mistletoe stands are overmatured, pure pine stands with high growth class and average relative density of stocking. It was found that in pine stands pine mistletoe firstly colonizes dominant trees. Limited forest exploitation promotes its distribution, especially in the nature reserve fund objects and green suburban areas. The affection of pine forests by pine mistletoe should be recognized as a nationwide problem.

Key words: semi-parasite, distribution, ornitochory, Scots pine, stand indicators, health condition, nature reserve fund.

E-mail: orlov.botany@gmail.com; zh_oleh2183@ukr.net

Одержано редколегією 30.03.2023

ЗАХИСТ ЛІСУ

УДК 630.4

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.142.2023.136>**K. V. DAVYDENKO^{1,2}, I. M. USTSKY¹****SHIFT IN FUNGAL COMMUNITIES ASSOCIATED WITH *PINUS SYLVESTRIS* STANDS AFFECTED BY ROOT ROT**¹*Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Kharkiv, Ukraine*²*Swedish University of Agricultural Science, Uppsala, Sweden*

Root rot caused by the wood-decay fungus *Heterobasidion annosum* sensu lato damages both below- and above-ground parts of Scots pine trees (*Pinus sylvestris* L.). The disease progress is likely to be affected by reshaping occurred in a forest such as soil properties, vegetation composition, and tree age. These changes are apparently followed up by paralleled shifts in fungal community composition in forest soil with potential feedback on ecosystem functioning. In the present study, we tried to evaluate fungal communities across diseased *P. sylvestris* stands and investigated correlations between taxonomic composition and forest health. Not surprisingly, root rot infestation had a significant effect on root-associated fungal abundance and diversity. During the development of the disease, the root-associated fungal community shifted in composition from dominance by saprotrophic fungi to ectomycorrhizal and pathogenic fungal species. Our results suggested that the maintenance of functional diversity in the root-associated fungal community may sustain long-term forest health or even root rot resistance to some extent by retaining a capacity for symbiosis-driven recycling of organic nutrients. However, it is necessary to thoroughly examine this hypothesis.

Key words: Scots pine, *Heterobasidion annosum* s.l.

Introduction. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) covers large areas in European regions with significant economic importance to the Ukrainian forest industry. It is the most important and main forest-forming tree species in Ukraine growing on poor sandy soil and degraded habitats (Ustskyi et al. 2010, Ustskyi 2011). This species is tolerant to many abiotic factors, such as poor soil, drought, wind, and frost (Durant et al. 2016), and hundreds of thousands of hectares have been planted with this species, e.g., in Ukraine. Most of this pine wood decay is caused by the root and butt rot pathogen *Heterobasidion annosum* sensu lato (Ustskyi et al. 2010).

For many years, a gradual decline of Scots pine forests has been observed in Ukrainian regions due to various factors (Ustskyi et al. 2010, Ustskyi 2011, Meshkova 2022). Nevertheless, the main cause of pine decline and dieback is root rot infection. *P. sylvestris* is susceptible to root rot caused by fungi from the genus *Heterobasidion* (Pitkänen et al. 2021) – the most economically important pathogens of conifers in the Northern Hemisphere (Piri et al. 2021). There are three *Heterobasidion* species presented in Europe that have different tree host preferences: *Heterobasidion parviporum* Niemelä and Korhonen, *H. abietinum* Niemelä and Korhonen and *H. annosum* s.s. (Fr.) Bref. (Piri et al., 2021). *H. annosum* s.s. is mostly associated with *Pinus* species, especially Scots pine, but it can attack several other conifers as well as some broadleaved tree species; *H. parviporum* demonstrates a narrow specialization for Norway spruce (*Picea abies* Karst.), while *H. abietinum* prefers European silver fir (*Abies alba* Mill.) and other species of the genus *Abies* (Dalya et al. 2021).

Extensive logging of pine and spruce forests has changed the environment into favoring this pathogen in stands where it originally was rare. The proportion of infested forest stands and associated production losses are expected to enlarge in the future due to the increase in sanitation logging.

Primary infections of the pathogens are established by airborne basidiospores, landing on surfaces of freshly cut conifer stumps (Garbelotto & Gonthier 2013) and growing over the stump surface into the inner part of the stump, finally colonizing roots. Secondary infection can spread via the growing of lateral roots connection of adjacent trees or stumps (Swedjemark & Stenlid 2001). Moreover, *Heterobasidion* spp. could effectively infest the roots of trees that were planted on infested land after sanitation clear-cuts or final harvesting, creating secondary infections (Vasiliauskas & Stenlid 1998, Lygis et al. 2004). Also clear-cutting exposes pine stands to primary spore infection, while in Scots pine stands wounds might not be a significant infection pathway for *H. annosum* s.s. via root contact and infect nearby growing trees (Garbelotto & Gonthier 2013).

The old-growing coniferous forests are composed of trees of different species and ages, but nowadays most forest areas in Ukraine were managed into even-aged stands, where sanitation clear-cuts in pine stands are very common due to the *H.annosum* s.s. infection. This has major effects on forest biodiversity, carbon storage, and forest resilience (Kyaschenko et al. 2017, Hagenbo et al. 2018), as well as nutrient and water availability, soil microclimate, and litter quantity and quality (Jurgensen et al. 1997). Moreover, fungi are able to form symbiotic, pathogenic, or neutral associations with plant roots and can be the triggers of shifts in associated microbiome (Hagenbo et al. 2018). To date, there is very little research in Ukraine on the fungal community associated with a root system.

The root rot infection is currently controlled by means of chemicals, biocontrol agents, and silvicultural measures (sanitation logging). For instance, the saprotrophic fungus *Phlebiopsis gigantea* has for several years been used as a biocontrol agent against *H. annosum* s.l. in spruce and pine stumps in the EU (Lygis et al. 2004, Garbelotto & Gonthier 2013) but it does not apply in Ukraine. A major problem is that, although the effectiveness of *P. gigantea* as a biocontrol agent has empirically been shown in many countries, the long-term biological effect of this fungus on other decomposing wood microbiota including different pathogens has not been proven. Moreover, there is little concern over the study of the complex of different pine pathogens dominated by *H.annosum* s.l. which caused root rot in pine stands.

The objective of our study was to screen fungal groups associated with the root system of *P. sylvestris* in stands affected by *H.annosum* s.s. to better understand the pathogenesis and development of root rot infection, as well as to recognize whether root size and disease severity affect diversity of fungi of the root system in the forest-steppe conditions of Ukraine. The additional object was to study other resident microflora of *P. sylvestris* root infested by *H.annosum* s.s. to find out whether the *H. annosum* s.s. impacts the overall diversity of other fungi.

Material and Methods. The field study was carried out in 2018–2020. The field study sites were pure pine forest stands located in Kharkiv region, Ukraine (compartment 126, subcompartment 7, tract Bugri, Kharkiv Forest Research Station). Wood core and root samples from *P. sylvestris* were collected in June 2018 in the forest sites previously identified as infested by *H.annosum* s.l. 7–8 years ago. Similarly, samples from non-infested, visually healthy trees within the same forest site were also collected. The site was a mature thinned *P. sylvestris* stand (age 60–70 years) after selective sanitation logging in 2014.

Wood cores and root samples were collected from the five infested (50–100 m apart from each other) and five non-infested trees (up to 500 m apart from the infested area and 50–100 meters apart from each other). One wood core from each tree (one core sample from the sapwood to the center (heartwood) of the stem) was sampled on ground level to check the presence/absence of *Heterobasidion annosum* s.l. Root samples (0.5–3.0 cm in thickness) were collected from the same infested and non-infested trees (0.3–1.0 m apart from the stem and 0.1–0.3 m in depth). All wood cores and root samples from each tree were pooled in a sterile falcon tube individually and stored at -20°C. Root samples from infested trees were visually divided by infested and non-infested zone (if applicable). In total, 10 wood samples (5 from infested trees and 5 from non-infested trees) and 40 root samples (4 from each tree) were collected, resulting in 50 samples.

Fungal culturing. Wood samples were surface sterilized according to Millberg et al (2006) and Lygis et al. (2004). Fungal isolation was carried out of the small sample fragments which were cut from each root/wood and placed in Petri dishes containing 3 % malt extract agar (MEA) supplemented with antibiotic chloramphenicol (0.5%) (to avoid the fast-growing fungi) and incubated at 23°C for 15 days in the dark. Pure fungal cultures were obtained from colonies morphologically classified and one representative isolate resembling the morphological group was selected. Fungal cultures were subjected to sequencing of the internal transcribed spacer of the fungal ribosomal RNA (ITS rRNA). Isolation of DNA, amplification and sequencing followed methods described by Menkis et al. (2006). Amplification by PCR was done using the two primers: ITS1F and ITS4 (Gardes & Bruns 1993).

Direct sequencing of fungi from the root samples. Frozen root samples were ground to a fine powder with liquid nitrogen. DNA extraction and purification was done by using Nucleo Spin® Plant II Midi kit (MACHEREY-NAGEL product). DNA quantification and quality control of the DNA samples were analyzed spectrophotometrically by way of NanoDrop ND-1000 (Wilmington, USA). Amplification by PCR was done using the ITS1F and ITS4 primers (Gardes & Bruns 1993). Each PCR reaction contained 200 µM deoxyribonucleotide triphosphates, 0.2 µM of each primer, 0.03 U/µl Thermo Green Taq polymerase with reaction buffer Green, and 2.75 mM final concentration of MgCl₂. The thermal cycling was carried out using an Applied Biosystems GeneAmp PCR System 2700 thermal cycler (Foster City, CA, USA). PCR products were size separated on 1% agarose gels and visualized under UV light. If only one DNA band was present on gel per sample following nested PCR, the PCR product was used for sequencing. Multiple-banded PCR products were separated on 2.0% agarose gels, individual bands were excised and re-amplified using universal primers ITS1 and ITS4 (Gardes & Bruns 1993). Resulting single-band products were sequenced in both directions using the same primers as for PCR amplification.

The PCR products were purified with Qiagen DNA extraction PCR M kit (Qiagen, Hilden, Germany). Sequencing was carried out by Macrogen Inc., Korea. The raw sequence data were analyzed using the SeqMan Pro version 10.0 software from DNASTAR package (DNASTAR, Madison, WI, USA). Databases at GenBank (Altschul et al. 1997) and at the Department of Forest Mycology and Plant Pathology, Swedish University of Agricultural Sciences, were used to determine the identity of ITS rRNA sequences. The criteria used for the identification were sequence coverage > 80%, similarity to taxon level 98–100%, and similarity to genus level 94–97%.

Statistical analysis. All data were tested for adherence to the normal distribution using the Kolmogorov-Smirnov test and for homogeneity of variances using Bartlett's Test. To evaluate the influence of infection on the occurrence and frequency of fungi, we made a randomized block design, dividing the experiment on-site blocks, such that the variability within blocks is less than the variability between blocks. The richness of fungal taxa from the trees with different root rot statuses (infected vs non-infected) was compared using chi-squared tests. The relative abundance of fungal taxa was calculated from actual numbers of the observations (presence/absence data) as a proportion of observations (fungal cultures/ sequences) of a particular species relative to the total number of species of fungal community in the samples. Shannon diversity indices and quantitative Sorensen similarity indices were used to characterize the diversity and composition of fungal communities (Magurran 1988). The Simpson diversity index (Mouillot & Lepretre 1999) was used to estimate the dominance in fungal diversity while taking into account both richness and evenness. Fungal dominance was determined by Camargo's index (Mouillot & Lepretre 1999). Comparisons between fungal communities were made using Sorensen similarity indices, Mandel statistics (Magurran 1988), and principal component analysis (PCA). In PCA, data from the culturing and direct sequencing were analyzed jointly using Canoco 4.5. Statistical analyses were completed using STATISTICA® 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA) and PAST software (Hammer et al. 2001).

Results and Discussion. Fungal culturing from 10 surface-sterilized wood cores resulted in 21 fungal cultures, 2.1 per wood segment. Direct sequencing from 40 surface-sterilized segments of lateral roots resulted in 247 fungal sequences or 6.2 per root segment on average.

Our observations did not reveal any external signs (fruitbodies) of *H. annosum* s.s. infections in the investigated stands. The examination of the superficial root systems of the 37 declining pines around the sample site and fungal isolations from the wood samples did not show a presence of the root rot disease in spite of the fact that some root samples demonstrated a presence of *H. annosum* s.s. (Table 1).

The most dominant fungi from the infested trees of *P. sylvestris* were *Dactylonectria macrodidyma* (4.98%), *Acremonium* sp (4.52%), *Cladosporium cladosporioides* (4.07%) from Ascomycota and *Heterobasidion annosum* s.s. (4.07%) from Basidiomycota.

Table 1

Occurrence and relative abundance of fungal taxa from infested *Pinus sylvestris*, %

Fungal taxa (functional group)*	Genbank accession number	Trees infested by <i>H.annosum</i> s.s			Total
		Root (visually infected)	Root (healthy looking)	Wood	
Ascomycota					
<i>Acremonium</i> sp. (P, S)	HF680219.1	1.14	13.79	25.00	4.52
<i>Acephala applanata</i> (E)	JN091527.1	2.84	3.45	0.00	2.71
<i>Alternaria alternata</i> (P, S)	KU663948	0.00	0.00	6.25	0.45
<i>Aspergillus cervinus</i> (FF)	AB025458.1	2.27	0.00	0.00	1.81
<i>Aspergillus versicolor</i> (FF)	KU663952	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Bionectriaceae</i> sp. (P, S, FF)	KU663955	2.84	0.00	0.00	2.26
<i>Chaetomium</i> sp. (P, S, FF)	KU663958	3.41	0.00	0.00	2.71
<i>Chalara</i> sp. (P, S)	KU663959	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Cladosporium cladosporioides</i> (P, FF)	KU663962	5.11	0.00	0.00	4.07
<i>Cladosporium herbarum</i> (P, FF)	MH865203.1	0.00	0.00	12.5	0.90
<i>Cladosporium</i> sp. (P, S, E, FF)	MH865203.1	3.98	0.00	0.00	3.17
<i>Dactylonectria macrodidyma</i> (P)	KU663971	6.25	0.00	0.00	4.98
<i>Gliocladium</i> sp. (P, S, E, FF)	KY359203.1	0.00	3.45	0.00	0.45
<i>Gibberella avenacea</i> (P, S)	KU663968	3.98	0.00	0.00	3.17
<i>Mariannaea elegans</i> (P, S, E, FF)	KU663974	0.00	0.00	12.5	0.90
<i>Metapochonia bulbillosa</i> (BCA)	MH876089.1	4.55	0.00	0.00	3.62
<i>Ogataea neopini</i> (S, FF)	KC768085.1	0.00	0.00	6.25	0.45
<i>Ophiostoma piceae</i> s.l. (P, S, E)	JX444603.1	0.00	3.45	6.25	0.90
<i>Ophiostoma</i> sp. s.l. (P, S, E, FF)	MK371461.1	0.00	0.00	12.5	0.90
<i>Oidiodendron chlamyosporicum</i> (S, P, FF)	NR_111032.1	2.84	0.00	0.00	2.26
<i>Penicillium brevicompactum</i> (S, E, FF)	KF156318	2.84	0.00	0.00	2.26
<i>Penicillium citreonigrum</i> (S, E, FF)	KU663988	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Penicillium roqueforti</i> (S, E, FF)	KU663990	3.41	0.00	0.00	2.71
<i>Pezicula eucrita</i> (P, S, E)	MT156284	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Phialocephala</i> sp. (P, S, E, FF)	KF156325	1.70	0.00	0.00	1.36
<i>Phoma macrostoma</i> (P, S)	KF156326	4.55	0.00	0.00	3.62
<i>Phomopsis</i> sp. (P, S, N)	KU663994	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Pseudogymnoascus roseus</i> (S, E, FF)	OL989270.1	3.98	0.00	0.00	3.17
<i>Rhizoctonia</i> sp. (P, S, E, FF)	KU663995	0.00	6.90	0.00	0.90
<i>Sordaria</i> sp (P, S, E, FF)	MH860578.1	3.41	3.45	0.00	3.17
<i>Trichoderma asperellum</i> (S, E, BCA)	KU664000	13.98	0.00	0.00	3.17
<i>Trichoderma harzianum</i> (S, E, BCA)	FG342170.1	3.41	6.90	0.00	3.62
<i>Trichoderma viride</i> (S, E, BCA)	JF440620.1	2.27	0.00	0.00	1.81
Unidentified Helotiales HH79	KC768103	4.55	0.00	0.00	3.62
Unidentified Pezizales	KU664004	1.70	0.00	0.00	1.36
Basidiomycota					
<i>Ceratobasidium bicorne</i> (P)	KF156330	2.27	3.45	0.00	2.26
<i>Fomitopsis pinicola</i> (WDF)	KU663967	3.98	0.00	0.00	3.17
<i>Heterobasidion annosum</i> s.s. (WDF)	KC768081	3.41	10.34	0.00	4.07
<i>Hebeloma</i> sp..(ECM)	KU663969	1.14	0.00	0.00	0.90
<i>Hyphoderma setigerum</i> (ECM)	KU663970	6.25	0.00	0.00	0.45
<i>Phlebiopsis gigantea</i> (WDF, BCA)	KU663992	0.00	0.00	12.5	0.90
<i>Thelephora</i> sp.(S, AM)	WIUZ02000018	2.27	0.00	0.00	1.81
Mucoromycotina					
<i>Mucor</i> sp. (S, FF)	KU663977	3.41	3.45	0.00	3.17
<i>Mucor fragilis</i> . (S, FF)	KU663976	3.98	0.00	0.00	3.17
<i>Umbelopsis isabelline</i> . (S, FF)	AB199612.1	0.00	3.45	0.00	0.45
Unidentified culture <i>Mucor</i> -like		4.55	3.45	0.00	4.07
No. of OTU(operational taxonomic unit)		176	29	16	221
Shannon-Weaver diversity index		3.48	3.07	3.22	3.95
Simpson diversity index		0.97	0.96	0.93	0.98

*P – plant pathogen, S – saprotroph, ECM – ectomycorrhizae, WDF – wood decay fungi, AM – arbuscular mycorrhiza, E – endophytes, FF – filamentous fungi, indoor and soil fungi, decaying organic matter, BCA – biocontrol agent, N – unknown.

Dactylonectria macrodidyma (Hallen, Schroers & Crous) L. is a worldwide distributed fungus, a part of the *Nectriaceae*, a family containing important plant pathogens (Probst et al. 2019). This species is soil-borne and associated with black foot disease infecting grapevine and other plant roots and stem bases from soil-borne inoculum that remains in the soil after infected host plants have been removed (Probst et al. 2019). *D. macrodidyma* causes different symptoms of black foot disease including a reduction in root biomass and root hairs with sunken and necrotic lesions (Halleen et al. 2006). Severe necrosis of the root system results in stunting, wilting, leaf chlorosis, browning, and leaf drop prior to death (Parkinson et al. 2017). It can also affect *Abies* sp., *Picea glauca*, *Pinus* sp., and other trees and shrubs (Probst et al. 2019). *Acremonium* sp. and *Cladosporium cladosporioides* are both one of the most common environmental fungi to be isolated worldwide (Peršoh et al. 2010). These species belong to the most frequently encountered species, in both outdoor and indoor environments. They are also the most common species reported as indoor contaminants occasionally linked to health problems as other airborne spores of fungal species such as *Alternaria*, *Aspergillus*, *Penicillium*, and *Chaetomium* are found throughout the world (Peršoh et al. 2010). In the present study, the majority of the taxa identified were common saprotrophic or endophytic fungi. Among these, three *Trichoderma* species were also the frequently detected fungus found in both root groups. *T. viride* has previously been known as an antagonist of several pathogens and many biocontrol agents including different *Trichoderma* species (Menkis et al. 2005).

Phoma macrostoma was also among the most common fungi found in visually healthy damaged roots. *P. macrostoma* was recently described as pathogenic to many dicotyledonous plant species but non-pathogenic to monocots (Bailey et al. 2011). The herbicidal activity of *P. macrostoma*, shown since to result from the secretion of phytotoxic compounds, macrocidins, did not affect monocotyledonous species, is being investigated as a bioherbicide for the control of dandelion and other broadleaved weeds of turfgrass.

Although it was not known to occur in forest before, *Phoma* spp. were previously reported from diseased roots of forest nursery seedlings (Menkis et al. 2005). The presence of *P. macrostoma* in roots of *P. sylvestris* may suggest that this fungus is adapted to a wide range of hosts and habitats. Its common occurrence in roots of healthy-looking trees may further suggest that *P. macrostoma* is latent in living roots. Furthermore, several other pathogenic fungi including *Phomopsis* sp., *Rhizoctonia* sp., *Gibberella avenacea* were detected. These are mainly known as facultative parasites but could also live endophytically. It was suggested previously that the pathogenic behavior of such fungi may change depending on the environmental conditions and/or health status of the plants (Menkis et al. 2005).

Also, slow-growing fungi from Basidiomycota were detected, among them *Heterobasidion annosum* s.s. (4.07%), *Fomitopsis pinicola* (3.17%), *Ceratobasidium bicorne* (2.26%), and *Thelephora* sp. (1.81%) were the most common, while *Hebeloma* sp., *Phlebiopsis gigantea*, and *Hyphoderma setigerum* were less common (0.9, 0.9 and 0.45% respectively). *Hyphoderma setigerum*, *Thelephora* sp. and *Hebeloma* sp. are ectomycorrhizal fungi that are known worldwide as dominating in forest nurseries (Menkis et al. 2005, Stenström et al. 2014) but they may be outcompeted by indigenous ectomycorrhizal fungi in field. *Heterobasidion annosum* s.s. is the root and butt rot pathogen that brings about large economic losses to the forest sector in the Northern Hemisphere (Oliva et al. 2017). *Phlebiopsis gigantea* has been widely used as the biocontrol fungus against the root and butt rot disease of conifers caused by *Heterobasidion annosum*. Stump treatment with *P. gigantea* is therefore the preferred alternative measure to control and manage the spread of the infection. The fungal preparation is commercially marketed as Rotstop® in Scandinavia, PG suspension® in UK and PG IBL® in Poland (Oliva et al. 2017). *Fomitopsis pinicola* is a wood decay fungus and brown rot species of *Polyporales*. This species represents a functionally important component of forest ecosystems due to their involvement in nutrient cycles, in the formation of specialized but important ecological niches, in the regeneration of forests, and in the improvement of soil quality. Fungal diversity, species richness, as well as the presence of

certain species, may all be used as indicators of forest health. A number of wood decay fungi have been identified as positive indicators for the creation and conservation of habitats for wildlife (Vasaitis 2013).

Data on fungal communities associated with root systems of non-infested *P. sylvestris* are shown in Table 2.

Table 2

Occurrence and relative abundance of fungal taxa from non-infested *Pinus sylvestris*, %

Fungal taxa (functional group)*	Genbank accession number	Root samples	Wood samples	Total
Ascomycota				
<i>Acremonium</i> sp. (P, S)	HF680219.1	5.56	21.05	8.79
<i>Bionectriaceae</i> sp. (P, S, FF)	KU663955	11.11	0.00	8.79
<i>Chaetomium fusiforme</i> (P, S, FF)	MT028042.1	1.39	10.53	3.30
<i>Cladosporium</i> sp. (P, S, E, FF)	KU663964	6.94	0.00	5.49
<i>Cytospora</i> sp. (P, S, E)	MK912135.1	5.56	0.00	4.40
<i>Ophiostoma piceae s.l.</i> (P, S, E)	JX444603.1	2.78	10.53	4.40
<i>Penicillium roqueforti</i> (S, E, FF)	KU663990	9.72	0.00	7.69
<i>Penicillium spinulosum</i> (S, E, FF)	KF156323	12.50	0.00	9.89
<i>Pseudeurotium</i> sp (S, E, FF)	HM589261.1	9.72	0.00	7.69
<i>Rhizoctonia</i> sp. (S, P, FF)	KU663995	6.94	0.00	5.49
<i>Trichoderma</i> sp (S, FF, BCA)	ON969989.1	4.17	15.79	6.59
Unidentified Ascomycota175244	KU664003	9.72	26.32	13.19
Basidiomycota				
<i>Heterobasidion annosum s.s.</i> (WDF)	KC768081	4.17	0.00	3.30
<i>Hebeloma</i> sp..(ECM)	KU663969	6.94	0.00	5.49
Unidentified Basidiomycota FG139	KU664005	2.78	15.79	5.49
No. of OTU		72	19	91
Shannon-Weaver diversity index		1.02	1.14	1.95
Simpson diversity index		0.91	0.88	0.93

*P – plant pathogen, S – saprotroph, ECM – ectomycorrhizae, WDF – wood decay fungi, AM – arbuscular mycorrhiza, E – endophytes, FF – filamentous fungi, indoor and soil fungi, decaying organic matter, BCA – biocontrol agent, N – unknown.

The amplification from root and wood segments of non-infested *P. sylvestris* was successful for 76 % of root and wood segments, respectively, resulting in 1–3 different amplicons from each of them. The separation as well as the ITS rRNA sequencing of individual amplicons of *P. sylvestris* resulted in 91 high-quality sequences representing 16 and 6 distinct fungal taxa, respectively for root and wood segments. Among the detected fungi, the most dominant were Unidentified Ascomycota175244 (13.19%), *Penicillium spinulosum* (9.89%), *Acremonium* sp. (8.79%), and *Bionectriaceae* sp. (8.79%).

Direct sequencing also yielded several unidentified taxa, among them Unidentified Ascomycota175244 was the most common. Comparison of the ITS rRNA sequence of these fungi with available sequences in the Genbank database showed that previously it was detected by direct sequencing in mycorrhizal roots of pine trees (Menkis et al. 2005). This suggests that unidentified species are probably unculturable but have a broad geographic distribution and are commonly associated with roots of conifers, and therefore can be important to the health of the plants though the taxonomic affiliation and ecology of this fungus remain largely unknown.

Species accumulation curves (Fig. 1) were used to depict the relationship between the cumulative number of species found and the sampling intensity (Colwell & Coddington1994). SACs were calculated using STATISTICA® 7.0 (StatSoft, Inc., Tulsa, OK, USA). In this case, additional sampling is needed to compare species richness in particular for visually diseased root samples from infested trees (RIT) and visually healthy root samples from infested trees (RHIT): accumulation curves show whether we sampled enough (the curves do not flatten to asymptote and they are still gradually climbing up) (Fig. 1).

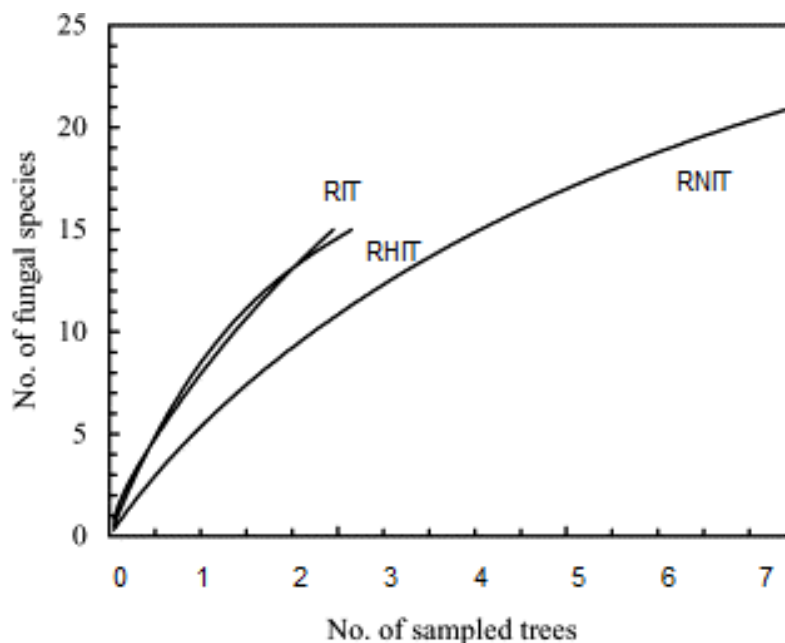


Fig. 1 – Increase in species richness in visually diseased root samples from infested trees (RIT), visually healthy root samples from infested trees (RHIT), and root samples from non-infested trees (RNIT) as a result of sampling more trees. Species accumulation curves were calculated according to Colwell and Coddington (1994)

A preliminary assessment of the fungal community allowed identifying 46 different taxa isolated from infected *P. sylvestris* and 15 taxa from non-infested *P. sylvestris*. Furthermore, a chi-square test showed a significant difference in the richness of fungal taxa between the infected and non-infested trees ($p \leq 0.05$). Pooling of all taxa detected by direct sequencing showed the presence of 49 distinct fungal taxa of which 31 (58.5 %) could be identified to taxon level and 17 (32.1 %) to genus level while 5 (9.4%) remain unidentified (data not shown). Seven taxa were common to both infested and non-infested trees while eight taxa were different. Among the group, the total number of detected taxa varied between 4 and 8 in non-infested *P. sylvestris* and between 12 and 32 in infested *P. sylvestris*. At that, a comparison by the chi-square test showed significant differences ($p \leq 0.05$) in the richness of fungal taxa among the trees (data not shown).

In all the root rot-infested stands, the root health had not a profound impact on fungal colonization (the chi-squared test, $p < 0.0001$). All comparisons between the visually healthy and visually decayed roots from root rot-infested trees were not statistically significant (the chi-squared test, $p < 0.21$). All comparisons between the infested and non-infested trees were highly statistically significant (the chi-squared test, $p < 0.0001$).

The chi-square test showed no significant difference in the richness of fungal taxa detected between the tree species ($p > 0.05$). Different stands were colonized by distinct fungal communities (see Fig. 1), and post-hoc PCAs on separate stands indicated that the relationship between a community composition and forest health was strongest in the Basidiomycota group and marginally insignificant in the Ascomycota group (Fig. 2).

Fungal community composition was significantly affected by forest health both at the species and genera/orders levels, with a higher explanatory power at genera/orders level (see Tables 1, 2, Fig. 2) (canonical correspondence analysis, PCA, with Monte Carlo permutations (without permutations within plots). Significance remained after removal of the two outliers (see Fig. 2). Therefore, the fungal community associated with root was significantly different for healthy and infested stands.

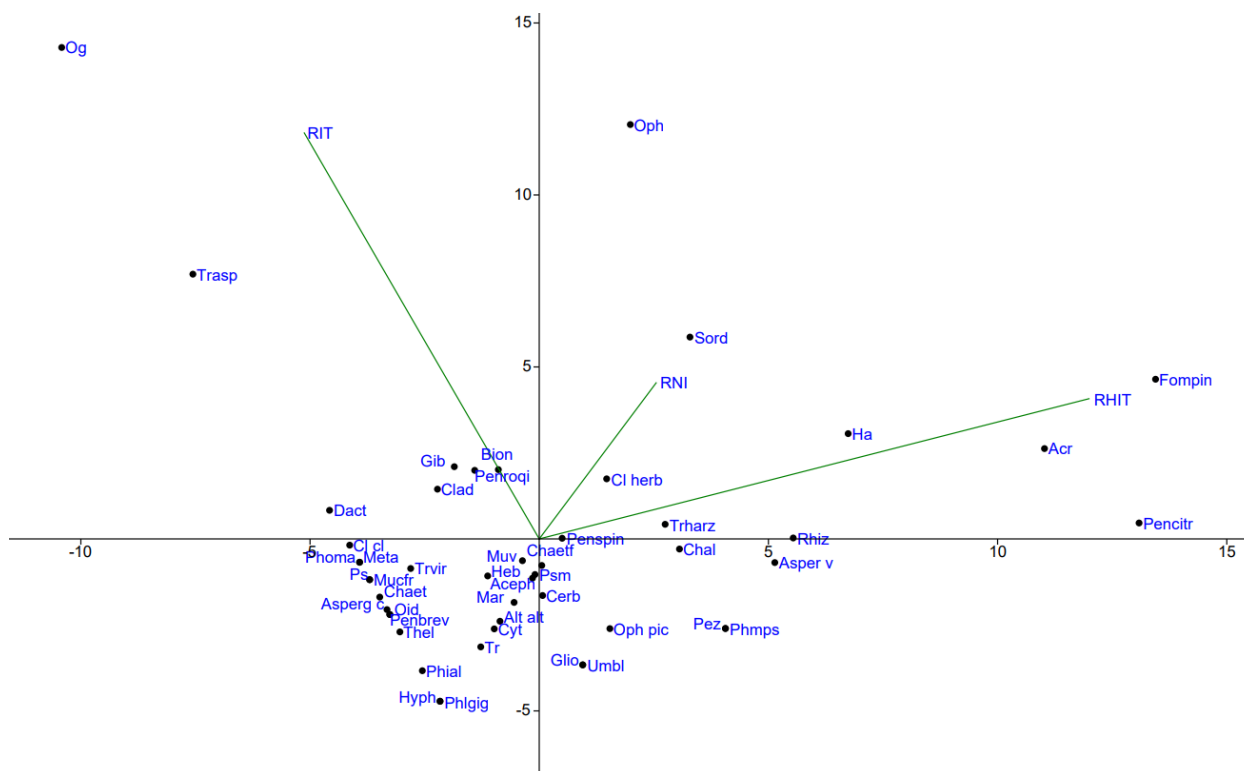


Fig. 2 – Principal components analysis showing an association between different fungal species and individual samples of this study: RIT – from the visually diseased root from infested trees; RHIT – from the visually healthy root from infested trees; RNI – root from non-infested trees. Taxonomic names correspond to a position in the ordination (centred) and their font size corresponds to a relative abundance as indicated in the upper right corner of the diagram and Tables 1 and 2 (*Acremonium* sp. – Acr, *Acephala applanate* – Aceph; *Alternaria alternata* – Alt alt; *Aspergillus cervinus* – Asperg c; *Aspergillus versicolor* – Asper v; *Bionectriaceae* sp. – Bion; *Chaetomium* sp. – Chaet; *Chaetomium fusiforme* – Chaetf; *Chalara* sp. – Chal; *Cladosporium cladosporioides* – Cl cl; *Cladosporium herbarum* – Cl herb; *Cladosporium* sp. – Clad; *Cytospora* sp. – Cyt; *Dactylonectria macrodidyma* – Dact; *Gliocladium* sp. – Glio; *Gibberella avenacea* – Gib; *Mariannaea elegans* – Mar; *Metapochonia bulbillosa* – Meta; *Ogataea neopini* – Og; *Ophiostoma piceae* s.l. – Oph pic; *Ophiostoma* sp. s.l. – Oph; *Oidiodendron chlamydosporicum* – Oid; *Penicillium brevicompactum* – Penbrev; *Penicillium citreonigrum* – Pencitr; *Penicillium roqueforti* – Penroqi; *Penicillium spinulosum* – Penspin; *Pezizula eucria* – Pez; *Phialocephala* sp. – Phial; *Phoma macrostoma* – Phoma; *Phomopsis* sp. – Phmps; *Pseudogymnoascus roseus* – Ps; *Pseudeurotium* sp. – Psm; *Rhizoctonia* sp. – Rhiz; *Sordaria* sp – Sord; *Trichoderma asperellum* – Trasp; *Trichoderma harzianum* – Trharz; *Trichoderma viride* – Trvir; *Trichoderma* sp. – Tr; *Ceratobasidium bicorne* – Cerb; *Fomitopsis pinicola* – Fompin; *Heterobasidion annosum* s.s. – Ha; *Hebeloma* sp. – Heb; *Hyphoderma setigerum* – Hyph; *Phlebiopsis gigantea* – Phlgig; *Thelephora* sp. – Thel; *Mucor* sp. – Muv; *Mucor fragilis* – Mucfr; *Umbelopsis isabelline* – Umbl)

Overall species richness and evenness are significantly lower in non-infested stands as indicated by significant Mantel statistics ($r = 0.46$, $P = 0.02$ and $r = 0.46$, $P = 0.03$, respectively, for infested and non-infested stands). In contrast, pathogenic fungal richness and evenness in the infested stands increased significantly compared with non-infested ones. For richness, the relationship was significant also with the two groups of wood samples excluded.

Both decomposition and nutrient cycling in forest soils are mainly driven by fungi. Our study revealed the two predominant fungal phyla, Ascomycetes and Basidiomycetes, which cover a wide range of ecological functions, reaching from saprotrophs to parasitic pathogens and mutualistic symbionts. The key functional groups for C and N cycling in forest ecosystems are litter and wood-decomposing saprotrophs and root-associated mutualistic fungi. Functional groups were segregated significantly between sampling groups, confirming a preference for fungi to be associated with certain ecological niches, as root-associated taxa were predominantly closely associated with different sampling groups. For both forest stands, Mantel statistics indicated no significant correlation between forest health and community matrices ($r = -0.4$, $P = 0.9$), and data were not

further analyzed. It can be explained by small sample sizes of trials (see Fig. 1), and short study duration (one year). Therefore, it is necessary to continue the study and increase the sample size to enable explaining the difference in fungal communities. Many studies of root-associated communities included a few environmental factors and wide soil sampling, and soil indicators can also explain 71.4 % of the variation in functional groups (Hagenbo et al. 2018, Davydenko et al. 2020, Zhao et al. 2020). As litter decomposers, free-living saprotrophs dominate fungal communities (see Tables 1, 2) presumably by suppressing the ingrowth of root-associated biotrophs. The mycorrhizal fungi were found to be associated with roots of infested and non-infested trees; however, small sampling did not enable assessing the overall richness of mycorrhizal fungi and their functional differences in forest ecosystems. There are different forms of mycorrhization, which can be intracellular in arbuscular and ericoid mycorrhiza, extracellular, as in ectomycorrhiza, or an intermediate form that occurs for certain host plants in different conditions and have differed in morphotype at a genus level.

Conclusions. Fungal culturing from 10 surface-sterilized wood cores resulted in 21 fungal cultures, 2.1 per wood segment. Direct sequencing from 40 surface-sterilized segments of lateral roots resulted in 247 fungal sequences or 6.2 per root segment on average. The most dominant fungi from infested trees of *Pinus sylvestris* were *Dactylonectria macrodidyma* (4.98 %), *Acremonium* sp. (4.52 %), *Cladosporium cladosporioides* (4.07 %) from Ascomycota and *Heterobasidion annosum* s.s. (4.07 %) from Basidiomycota, while for non-infested group Unidentified Ascomycota175244 (13.19 %), *Penicillium spinulosum* (9.89 %), *Acremonium* sp. (8.79 %), *Bionectriaceae* sp. (8.79%) were most common. In all the root rot-infested stands, the root health had not a profound impact on fungal colonization. All comparisons between the visually healthy and visually decayed roots from root rot-infested trees were not statistically significant while differences between the infested and non-infested trees were highly statistically significant. The fungal community composition was significantly affected by forest health both at the species and genera/orders levels, with higher explanatory power at the genera/orders level. The dominant root-associated fungi were expected to be ectomycorrhizal fungi, providing “positive plant-soil feedbacks” and plant pathogenic fungi in particular for infested stands.

However, the most common fungal groups associated with roots of *P. sylvestris* were saprotrophic fungi that are opportunistic, aerial, or soilborne fungal pathogens. Some ectomycorrhizal fungi had been found and they show strong environmental adaptability and can establish relatively stable symbiotic relationships with hosts. Undermining the health affects the diversity and community structure of fungi by changing the supply of ectomycorrhizal nutrients and changes in the pathogenic community; however, this hypothesis should be carefully examined and proved. Moreover, additional sampling is required.

REFERENCES

- Altschul, S. F., Gish W., Miller W., Myers E. W., Lipman D. J. 1990. Basic local alignment search tool. *J Mol Biol*, 215: 403–410.
- Bailey, K. L., Pitt, W. M., Falk, S., Derby, J. 2011. The effects of *Phoma macrostoma* on nontarget plant and target weed species. *Biological Control*, 58(3): 379–386.
- Colwell, R. K. and Coddington, J. A. 1994. Estimating terrestrial biodiversity through extrapolation. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London. Series B: Biological Sciences*, 345(1311): 101–118. <https://doi.org/10.1098/rstb.1994.0091>
- Dalya, L. B., Capretti, P., Ghelardini, L., Jankovský, L. 2019. Assessment of presence and distribution of *Armillaria* and *Heterobasidion* root rot fungi in the forest of Vallombrosa (Apennines Mountains, Italy) after severe windstorm damage. *Forest-Biogeosciences and Forestry*, 12(1): 118. <https://doi.org/10.3832/for2929-012>
- Davydenko, K., Vysotska, N., Yushchik, V., 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: 110–119. <http://dspace.hnpu.edu.ua/handle/123456789/6751>
- Durant, H., T., de Rigo, D., Caudullo, G. 2016. *Pinus sylvestris* in Europe: Distribution, habitat, usage and threats. In: San-Miguel-Ayanz, J., de Rigo, D., Caudullo, G., Houston Durrant, T., and Mauri, A. (Eds.). *European atlas of forest tree species*. Publication Office of the European Union, Luxemburg, e016b94, pp. 132–135.

- Garbelotto, M. and Gonthier, P. 2013. Biology, epidemiology, and control of *Heterobasidion* species worldwide. *Annu. Rev. Phytopathol.*, 51: 39–59. <https://doi.org/10.1146/annurev-phyto-082712-102225>
- Gardes, M. and Bruns, T. D. 1993. ITS primers with enhanced specificity for basidiomycetes - application to the identification of mycorrhizae and rusts. *Mol. Ecol.*, 2: 113–118. <https://doi.org/10.1111/j.1365-294X.1993.tb00005.x>
- Hagenbo, A., Kyaschenko, J., Clemmensen, K. E., Lindahl, B. D., Fransson, P. 2018. Fungal community shifts underpin declining mycelial production and turnover across a *Pinus sylvestris* chronosequence. *Journal of Ecology*, 106(2): 490–501. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.12917>
- Halleen, F., Fourie P.H., Crous, P.W. 2006. A review of black foot disease of grapevine. *Phytopathologia Mediterranea* 45, 55–67 <https://www.torrossa.com/en/resources/an/2211151#>
- Hammer, O., Harper, D. A. T., Ryan, P. D. 2001. PAST: paleontological statistics software package for education and data analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4: 1–9.
- Jurgensen, M. F., Harvey, A. E., Graham, R. T., Page-Dumroese, D. S., Tonn, J. R., Larsen, M. J., Jain, T. B. 1997. Impacts of timber harvesting on soil organic matter, nitrogen, productivity, and health of Inland Northwest forests. *Forest Science*, 43(2): 234–251. <https://doi.org/10.1093/forestscience/43.2.234>
- Kyaschenko, J., Clemmensen, K. E., Hagenbo, A., Karlton, E., Lindahl, B. D. 2017. Shift in fungal communities and associated enzyme activities along an age gradient of managed *Pinus sylvestris* stands. *The ISME journal*, 11(4): 863–874. <https://doi.org/10.1038/ismej.2016.184>
- Lygis, V., Vasiliauskas, R., Stenlid, J., Vasiliauskas, A. 2004. Silvicultural and pathological evaluation of Scots pine afforestations mixed with deciduous trees to reduce the infections by *Heterobasidion annosum* ss. *Forest Ecology and Management*, 201(2–3): 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2004.07.013>
- Maggurran, A. M. 1998. Ecological diversity and its measurement. Princeton, Princeton University Press, 423 p.
- Menkis, A., Vasiliauskas, R., Taylor, A. F., Stenlid, J., Finlay, R. 2005. Fungal communities in mycorrhizal roots of conifer seedlings in forest nurseries under different cultivation systems, assessed by morphotyping, direct sequencing and mycelial isolation. *Mycorrhiza*, 16: 33–41. <https://doi.org/10.1007/s00572-005-0011-z>
- Meshkova, V. 2022. Who, where, when, and how damages forest – challenges for prediction and control. *Environmental Sciences Proceedings*. 2022, 22, 71. <https://doi.org/10.3390/IECF2022-13044>
- Millberg, H., Hopkins, A. J. M., Boberg, J., Davydenko, K., Stenlid, J. 2006. Disease development of *Dothistroma* needle blight in seedlings of *Pinus sylvestris* and *Pinus contorta* under Nordic conditions. *Forest Pathology*, 46(5): 515–521.
- Mouillot, D. and Lepretre, A. 1999. A comparison of species diversity estimators. *Researches on Population Ecology*, 41(2): 203–215. <https://doi.org/10.1007/s101440050024>
- Parkinson, L. E., Shivas, R. G., & Dann, E. K. 2017. Pathogenicity of nectriaceous fungi in Australia. *Phytopathology*, 107(12), 1479–1485. <https://doi.org/10.1094/PHYTO-03-17-0084-R>
- Peršoh, D., Melcher, M., Flessa, F., Rambold, G. 2010. First fungal community analyses of endophytic ascomycetes associated with *Viscum album* ssp. *austriacum* and its host *Pinus sylvestris*. *Fungal Biology*, 114(7): 585–596. <https://doi.org/10.1016/j.funbio.2010.04.009>
- Piri, T., Vainio, E. J., Nuorteva, H., Hantula, J. 2021. High seedling mortality of Scots Pine caused by *Heterobasidion annosum* ss. *Forests*, 12(9): 1289. <https://doi.org/10.3390/f12091289>
- Pitkänen, T. P., Piri, T., Lehtonen, A., Peltoniemi, M. 2021. Detecting structural changes induced by *Heterobasidion* root rot on Scots pines using terrestrial laser scanning. *Forest Ecology and Management*, 492: 119239. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2021.119239>
- Probst, C. M., Ridgway, H. J., Jaspers, M. V., Eirian Jones, E. 2019. Pathogenicity of *Ilyonectria liriodendri* and *Dactylonectria macrodidyma* propagules in grapevines. *European Journal of Plant Pathology*, 154: 405–421.
- Oliva, J., Messal, M., Wendt, L., and Elfstrand, M. 2017. Quantitative interactions between the biocontrol fungus *Phlebiopsis gigantea*, the forest pathogen *Heterobasidion annosum* and the fungal community inhabiting Norway spruce stumps. *Forest Ecology and Management*, 402: 253–264.
- Stenström, E., Ndobe, N. E., Jonsson, M., Stenlid, J., Menkis, A. 2014. Root-associated fungi of healthy-looking *Pinus sylvestris* and *Picea abies* seedlings in Swedish forest nurseries. *Scandinavian Journal of Forest Research*, 29(1): 12–21. <https://doi.org/10.1080/02827581.2013.844850>
- Swedjemark, G. and Stenlid, J. 2001. A highly diverse population of *Heterobasidion annosum* in a single stump of *Picea abies*. *Mycol. Res.* 105(2): 183–189. <https://doi.org/10.1017/S0953756200003270>
- Ustskiy, I. M. 2011. Soil features of pine plantations of the Right Bank Polissia affected by root rot fungus. *Forestry and Forest Melioration*, 118: 170–177. (in Ukrainian). <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/72685>
- Ustskiy, I. M., Polyakova, L. V., Tkachuk, V. I. 2010. Secondary metabolites of sod-podzolic soils in stands affected chronic pine diseases in central Polissia. *Forestry and Forest Melioration*, 117: 271–277 (in Ukrainian). <http://dspace.nbu.gov.ua/handle/123456789/72683>
- Vasiliauskas, R. and Stenlid, J. 1998. Fungi inhabiting stems of *Picea abies* in a managed stand in Lithuania. *Forest Ecology and Management*, 109(1–3): 119–126. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(98\)00226-6](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(98)00226-6)
- Vasaitis, R. 2013: Heart rots, sap rots and canker rots. In: Gonthier, P. & Nicolotti, G. (Eds.). *Infectious forest diseases*. Wallingford CAB International, p. 197–229.

Zhao, P. S., Guo, M. S., Gao, G. L., Zhang, Y., Ding, G. D., Ren, Y., Akhtar, M. 2020. Community structure and functional group of root-associated Fungi of *Pinus sylvestris* var. *mongolica* across stand ages in the Mu Us Desert. *Ecology and Evolution*, 10(6): 3032–3042. <https://doi.org/10.1002/ece3.6119>

Давиденко К. В.^{1,2}, Усцький І. М.¹

ЗМІНИ В ГРИБНИХ УГРУПОВАННЯХ, ПОВ'ЯЗАНИХ З КОРЕНЕВОЮ СИСТЕМОЮ ДЕРЕВ *PINUS SYLVESTRIS*, УРАЖЕНИХ КОРЕНЕВИМИ ГНІЛЯМИ

¹Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

²Шведський університет сільськогосподарських наук

Кореневі гнилі, викликані грибами *Heterobasidion annosum* s.l. та іншими дереворуйнівними грибами, уражують підземну й надземну частини сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.). Властивості ґрунту та рослинного покриву змінюються в часі, і ці зміни, ймовірно, також впливають на розвиток хвороби й викликають зміни грибних угруповань лісового ґрунту та асоційованих із кореневою системою грибів. У цьому дослідженні ми спробували оцінити видовий і функціональний склад грибних угруповань у насадженнях *P. sylvestris*, уражених кореневими гнилями, й дослідили кореляції між таксономічним складом грибів кореневої системи і фізіологічним станом дерев. Ураження кореневими гнилями значною мірою впливало на чисельність і різноманітність грибів. Під час розвитку захворювання в складі грибних угруповань виникли зміни від домінування сапротрофних грибів до панування ектомікоризних і патогенних видів грибів. Наші результати дають змогу зробити припущення, що збереження біологічного різноманіття в грибному угрупованні кореневої системи може певною мірою впливати на підтримання нормального фізіологічного стану дерев або навіть на стійкість до кореневої гнилі, причому зберігається здатність грибів до переробки органічних поживних речовин, однак для підтвердження цієї гіпотези необхідні подальші дослідження.

Ключові слова: сосна звичайна, *Heterobasidion annosum* s.l.

E-mail: kateryna.davydenko74@gmail.com; ivanuski1950@ukr.net

Одержано редколегією 18.02.2023



Y. Y. SKRYLNYK¹, K. Y. ZHUPINSKA², Y. V. KOSHELYAEVA², V. L. MESHKOVA¹
PHYSIOLOGICAL HARMFULNESS OF XYLOPHAGOUS INSECTS
IN POPLAR AND ASPEN STANDS IN THE LEFT-BANK FOREST-STEPPE

¹Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

²State Biotechnological University, Kharkiv, Ukraine

The aim of the research was to evaluate the physiological harmfulness of xylophagous insects for *Populus* sp. in the Left-Bank Forest-Steppe considering the ability of these insects for colonizing and damaging trees with certain health, vectoring the pathogens, as well as host range and occurrence. 72 insect species were analyzed, particularly 40 Cerambycidae, 19 Buprestidae, 7 Curculionidae, 2 Sesiidae, and 3 Cossidae. The proportion of abundant species was the highest among Scolytinae: Xyleborini. Species with a high physiological activity predominate among monophagous insects, particularly, *Agrilus suvorovi*, *Cryptorhynchus lapathi*, *Xyleborus cryptographus*, *Paranthrene tabaniformis*, *Acosus terebra*. Only five species (*S. populnea*, *S. octopunctata*, *S. perforata*, *S. scalaris*, *S. carcharias*) can significantly damage the trees by maturation feeding on foliage and bark of branches. Abundant xylophagous species have the highest average score in physiological harmfulness. It is almost twice as low in common species and almost two times less in rare and single species. High physiological harmfulness (10 and more) for poplars and aspens is estimated for nineteen xylophagous species, particularly, 13 for *S. populnea* and *S. carcharias*, and 12 for *Cryptorhynchus lapathi*, *Trypodendron signatum*, *Tremex fuscicornis*, and Xyleborini species.

Key words: physiological activity, nutrition range, occurrence, maturation feeding, pathogens vectoring.

Introduction. Poplars and aspens (*Populus* sp.) are common in forest stands, shelterbelts, rural landscaping, and in special plantations such as short rotation woody crops, promising tree species for biofuel and bioenergy production (Poplars and Willows 2014, Vysotska & Tkach 2016). These plants provide timber, rehabilitate degraded land, and mitigate climate change (Charles et al. 2014).

Poplars and aspens are host trees for dozens of insects, so-called pests (Steed & Burton 2015). Wood-boring insects browse the galleries in the stem or branches that interrupt sap circulation and promote the establishment of plant pathogens (Davydenko et al. 2014). Some of these insects may additionally weaken trees due to maturation feeding by foliage, bark, or phloem (Lieutier et al. 2004). All these effects comprise the physiological harmfulness of wood-boring insects, whereas their technical harmfulness depends on the size and depth of the galleries, their location at the stem, and the timber value of the given tree species.

An approach of wood-boring insects harmfulness assessment was suggested by E. Mozolevskaya (1974) and implemented for oak (Meshkova & Kukina 2011, Bieliavtsev & Meshkova 2019), pine (Skrylnik 2013, Meshkova 2017), spruce (Kukhta et al. 2014), birch (Skrylnik et al. 2019), and elm (Nikulina & Martynov 2021). It was shown that the harmfulness of the same insect species varies significantly depending on the environmental conditions and population density.

The aim of the research was to evaluate the physiological harmfulness of xylophagous insects for *Populus* sp. in the Left-Bank Forest-Steppe, Ukraine, considering the ability of these insects to colonize trees with certain health condition, to damage trees at maturing feeding and vector the pathogens, as well as the host range, and occurrence.

Materials and Methods. The research was carried out in 2019–2022 in the forests of Myrhorodsky and Lubensky forest enterprises in Poltava region, Trostianetsky, Okhtyrsky, and Shostkynsky forest enterprises in Sumy region, Zmiyivsky, Gutiansky, Vovchansky, Zhovtnevy forest enterprises in Kharkiv region, in the archive plantation of poplar clones in Pivdenne Forestry in Kharkiv Forest Research Station of Ukrainian Research Institute of Forestry & Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, in the arboretum of the State Biotechnological University (Kharkiv region) as well as in the field and road protective forest shelterbelts in the given regions. The collections and research done by Yu. Skrylnik since 2006 in the specified territory, particularly in Zmiiv district (since 2020, Chuhuiv district) near the village of Haidary, in Homilshanski Lisy National Nature Park, in Krasnokutsk district (since 2020, Bohodukhiv district), near the village of

Krasnokutsk, and Kharkiv district, Dokuchaev, 3 km west from the village of Rohan were also included into the analysis.

Insects were collected by mowing, manual collection, using window traps, an inspection of trees, collection of preimaginal stages under the bark and in the wood of trees as well as insect rearing in the fragments of stems and branches in an insectarium with inserted nets or ventilation holes respectively (Meshkova et al. 2009). After the adults' emergence, all insects were identified.

The health condition of the colonized trees was evaluated according to Sanitary Forests Regulations in Ukraine (2016). Each tree was classified by health condition classes (1st – healthy; 2nd – weakened; 3rd – severely weakened; 4th – dying; 5th – recently died; 6th – died over a year ago).

In the analysis, only those insect species used, whose development in the stems and branches of *Populus* sp. was proved by our research (Skrylnik et al. 2019, 2023, Zhupynska 2019) and /or supported by publications (Bily 2002, Yanitsky 2007, Bartenev 2009, Prokhorov 2010, Skrylnik & Terekhova 2011, Terekhova & Salnitskaya 2014, Terekhova & Skrylnik 2014, Nikulina et al. 2015, Bochniarz 2017, Danilevsky 2020).

By the host range, insect species that developed only under the bark and in the wood of *Populus* sp. were considered monophagous. The insect species that developed under the bark and in the wood of Salicaceae (*Populus* sp. and *Salix* sp.) were considered oligophagous. Other xylophagous insect species were considered polyphagous.

The occurrence of insect species was assessed on the following scale: single – up to 0.1% of the total (1 point), rare – 0.1–1% (2 points), common – 1–5% (3 points), abundant – more than 5% (4 points) (Meshkova et al. 2022). An average score of occurrences for the insect groups by nutrition type or insect taxa was evaluated as the arithmetic mean of the score for each member of the respective group.

The physiological harmfulness of xylophagous insects was calculated as the sum of scores for their physiological activity (ability to colonize trees under certain health condition), ability to damage the trees during maturation feeding, and ability to vector the pathogens (Mozolevskaya 1974).

Physiologically active insect species capable of colonizing the trees of the 1st–2nd categories of health condition (healthy and weakened trees) are considered the most aggressive and get 10 points. Insects capable of colonizing trees of the 3rd–4th categories of health condition are considered as medium aggressive and get 1 point. Insects capable of colonizing only trees of the 5th–6th categories of health condition (dead trees) get 0.1 points. Such insects have no physiological effects but may worsen timber quality, which is important for evaluating technical harmfulness (Mozolevskaya 1974).

The ability of insects to damage trees during maturation feeding was evaluated with 2 points (noticeable damage), 1 point (slight damage), or 0 points (maturation feeding is absent).

As most insects are potential carriers of pathogens on their body surface, the score 0 was given to those species that colonize only dead trees or small dead branches of living trees. Score 2 was given to species of the tribe Xyleborini (*Anisandrus*, *Xyleborinus* and *Xyleborus* spp.), *Trypodendron signatum* (Fabricius, 1787) (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) and to *Tremex fuscicornis* (Fabricius, 1787) (Hymenoptera: Siricidae). These insects bring bacteria and fungi into their galleries for providing cellulose assimilation to larvae. Together with these fungi and bacteria, pathogens enter the galleries, which additionally weaken the tree (Pažoutová & Šrůtka 2007, Sarikaya 2015). Score 1 was given to other analyzed xylophages colonizing living trees.

Results and Discussion. The list of xylophagous insects colonizing poplars and aspens trees in the Left-Bank forest steppe covers 72 species, particularly 66 Coleoptera (92 %), 5 Lepidoptera (7 %), and 1 Hymenoptera (1 %) (Table 1). Coleoptera was represented by 40 Cerambycidae, 19 Buprestidae, and 7 Curculionidae species, the last family included 1 Cryptorhynchinae and 6 Scolytinae species. Lepidoptera was represented by 2 Sesiidae and 3 Cossidae species.

Table 1

**Score of physiological harmfulness of xylophagous insects in *Populus* sp.
in the Left-Bank Forest-Steppe, points**

Insect species	Occurrence	Range of nutrition	Physiological activity	Maturation feeding	Pathogen vectoring	Physiological harmfulness
Coleoptera: Cerambycidae						
<i>Aegosoma scabricornis</i> (Scopoli, 1763)	single	polyphagous	1	0	0	1
<i>Prionus coriarius</i> (Linnaeus, 1758)	single	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Rhamnusium gracilicorne</i> Thery, 1894	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Rhagium mordax</i> (Degeer, 1775)	single	polyphagous	1	1	1	3
<i>Dinoptera collaris</i> (Linnaeus, 1758)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Rutpela maculata</i> (Poda, 1761)	common	polyphagous	0,.	0	0	0.1
<i>Leptura aurulenta</i> Fabricius, 1792	single	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Leptura quadrifasciata</i> Linnaeus, 1758	rare	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Lepturalia nigripes</i> (Degeer, 1775)	single	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Strangalia attenuata</i> (Linnaeus, 1758)	rare	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Stenurella melanura</i> (Linnaeus, 1758)	rare	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Necydalis major</i> Linnaeus, 1758	single	polyphagous	0.1	0	0	0.1
<i>Trichoferus campestris</i> (Faldermann, 1835)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Purpuricenus kaehleri</i> (Linnaeus, 1758)	single	polyphagous	1	0	0	1
<i>Cerambyx scopoli</i> Fuesslins, 1775	common	polyphagous	1	0	0	1
<i>Aromia moshata</i> (Linnaeus, 1758)	single	oligophagous	1	0	0	1
<i>Obrium cantharinum</i> (Linnaeus, 1767)	single	polyphagous	1	0	0	1
<i>Ropalopus clavipes</i> (Fabricius, 1775)	single	polyphagous	1	0	0	1
<i>Ropalopus macropus</i> (Germar, 1824)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Chlorophorus figuratus</i> (Scopoli, 1763)	common	polyphagous	1	0	0	1
<i>Chlorophorus varius</i> (Müller, 1766)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Xylotrechus arvicola</i> (Olivier, 1795)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Xylotrechus rusticus</i> (Linnaeus, 1758)	abundant	polyphagous	10	0	0	10
<i>Mesosa curculionoides</i> (Linnaeus, 1761)	common	polyphagous	10	1	0	11
<i>Mesosa nebulosa</i> (Fabricius, 1781)	rare	polyphagous	1	1	0	2
<i>Lamia textor</i> (Linnaeus, 1758)	single	oligophagous	1	1	0	2

Continuation of Table 1

Insect species	Occurrence	Range of nutrition	Physiological activity	Maturation feeding	Pathogen vectoring	Physiological harmfulness
<i>Anaesthetis testacea</i> (Fabricius, 1781)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Pogonocherus hispidus</i> (Linnaeus, 1758)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Pogonocherus hispidulus</i> (Piller et Mitt., 1783)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Aegomorphus clavipes</i> (Schrank, 1781)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Leiopus punctulatus</i> (Paykull, 1800)	single	polyphagous	1	1	0	2
<i>Tetrops praeusta</i> (Linnaeus, 1758)	common	polyphagous	1	1	0	2
<i>Saperda populnea</i> (Linnaeus, 1758)	common	polyphagous	10	2	1	13
<i>Saperda octopunctata</i> (Scopoli, 1772)	single	oligophagous	1	2	1	4
<i>Saperda perforata</i> (Pallas, 1773)	rare	polyphagous	1	2	1	4
<i>Saperda scalaris</i> (Linnaeus, 1758)	common	polyphagous	1	2	1	4
<i>Saperda carcharias</i> (Linnaeus, 1758)	common	oligophagous	10	2	1	13
<i>Stenostola ferrea</i> (Schrank, 1776)	single	oligophagous	1	1	0	2
<i>Menesia bipunctata</i> (Zoubkoff, 1829)	single	oligophagous	1	1	0	2
<i>Oberea oculata</i> (Linnaeus, 1758)	single	oligophagous	1	1	0	2
Coleoptera: Buprestidae						
<i>Acmaeoderella flavofasciata</i> (Piller & Mitterpacher, 1783)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Dicerca aenea</i> (Linnaeus, 1766)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Dicerca alni</i> (Fischer von Waldheim, 1824)	rare	polyphagous	1	0	0	1
<i>Poecilnota variolosa</i> (Paykull, 1799)	rare	polyphagous	1	1	0	2
<i>Eurythyrea aurata</i> (Pallas, 1776)	single	polyphagous	1	0	1	2
<i>Eurythyrea austriaca</i> (Linnaeus, 1767)	single	polyphagous	1	0	0	1
<i>Trachypteris picta</i> (Pallas, 1773)	rare	polyphagous	10	1	0	11
<i>Agrilus lineola</i> Kiesenwetter, 1857	rare	oligophagous	1	1	0	2
<i>Agrilus viridis</i> (Linnaeus, 1758)	abundant	polyphagous	10	1	0	11
<i>Agrilus convexicollis</i> Redtenbacher, 1849	single	polyphagous	1	1	1	3
<i>Agrilus cyanescens</i> (Ratzeburg, 1837)	single	polyphagous	1	1	0	2
<i>Agrilus auricollis</i> Kiesenwetter, 1857	single	polyphagous	1	1	0	2
<i>Agrilus pratensis</i> (Ratzeburg, 1837)	rare	oligophagous	1	1	0	2

Continue Table 1

Insect species	Occurrence	Range of nutrition	Physiological activity	Maturation feeding	Pathogen vectoring	Physiological harmfulness
<i>Agrilus pseudocyaneus</i> Kiesenwetter, 1857	single	oligophagous	1	1	0	2
<i>Agrilus subauratus</i> (Gebler, 1833)	single	polyphagous	10	1	0	11
<i>Agrilus roscidus</i> Kiesenwetter, 1857	single	polyphagous	1	1	1	3
<i>Agrilus ater</i> (Linnaeus, 1767)	single	oligophagous	1	1	0	2
<i>Agrilus guerini</i> Lacordaire, 1835	single	oligophagous	1	1	0	2
<i>Agrilus suvorovi</i> Obenberger, 1935	rare	monophagous	10	1	0	11
Coleoptera: Curculionidae: Cryptorhynchinae						
<i>Cryptorhynchus lapathi</i> (Linnaeus, 1758)	single	monophagous	10	1	1	12
Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae						
<i>Anisandrus dispar</i> (Fabricius, 1792)	abundant	polyphagous	10	0	2	12
<i>Anisandrus maiche</i> Kurentzov, 1941	rare	polyphagous	10	0	2	12
<i>Xyleborinus saxesenii</i> (Ratzeburg, 1837)	abundant	polyphagous	10	0	2	12
<i>Xyleborus cryptographus</i> (Ratzeburg, 1837) ¹	single	monophagous	10	0	2	12
<i>Trypodendron signatum</i> (Fabricius, 1787)	common	polyphagous	10	0	2	12
<i>Trypophloeus granulatus</i> (Ratzeburg, 1837)	single	oligophagous	1	0	1	2
Lepidoptera: Sesiidae						
<i>Paranthrene tabaniformis</i> (Rottemburg, 1775)	rare	monophagous	10	0	1	11
<i>Sesia apiformis</i> (Clerck, 1759)	single	polyphagous	10	0	1	11
Lepidoptera: Cossidae						
<i>Zeuzera pyrina</i> (Linnaeus, 1761)	common	polyphagous	10	0	1	11
<i>Cossus cossus</i> (Linnaeus, 1758)	common	polyphagous	10	0	1	11
<i>Acossus terebra</i> (Denis & Schiff., 1775)	single	monophagous	10	0	1	11
Hymenoptera: Siricidae						
<i>Tremex fuscicornis</i> (Fabricius, 1787)	single	polyphagous	10	0	2	12

Cerambycidae were represented by oligophages and polyphages (Table 2). Polyphages make up 75% of the species and predominate in all families. Oligophages were found only among cerambycids and buprestids. Monophages were absent among the cerambycids and siricids and in the rest of the families they were represented by one species in each, in curculionids – by one species each in the subfamilies of Cryptorhynchinae and Scolytinae (see Table 2).

¹ *Xyleborus cryptographus* (Ratzeburg, 1837) has been moved to a recently resurrected genus and should now be referred to as *Heteroborips cryptographus* (Ratzeburg, 1837) (Lindelöw & Jonsell 2022).

Table 2

Distribution of xylophages by nutrition type (number of species / %)

Insect taxa	Nutrition type			Total
	Monophagous	Oligophagous	Polyphagous	
Cerambycidae	0 / 0.0	7 / 17.5	33 / 82.5	40 / 100.0
Buprestidae	1 / 5.3	5 / 26.3	13 / 68.4	19 / 100.0
Curculionidae: Cryptorhynchinae	1 / 100.0	0 / 0.0	0 / 0.0	1 / 100.0
Curculionidae: Scolytinae	1 / 16.7	1 / 16.7	4 / 66.7	6 / 100.0
Cossidae	1 / 33.3	0 / 0.0	2 / 66.7	3 / 100.0
Sessidae	1 / 50.0	0 / 0.0	1 / 50.0	2 / 100.0
Siricidae	0 / 0.0	0 / 0.0	1 / 100.0	1 / 100.0
Total	5 / 6.9	13 / 18.1	54 / 75.0	72 / 100.0

Among the xylophages inhabiting poplars and aspen trees, single and rare species predominate. Common and abundant species make up only 5.6% (Table 3).

Table 3

Distribution of xylophages by occurrence (number of species / %)

Insect taxa	Occurrence				Total
	single	rare	common	abundant	
Cerambycidae	16 / 40.0	15 / 37.5	8 / 20.0	1 / 2.5	40 / 100.0
Buprestidae	10 / 52.6	8 / 42.1	0 / 0.0	1 / 5.3	19 / 100.0
Curculionidae: Cryptorhynchinae	1 / 100.0	0 / 0.0	0 / 0.0	0 / 0.0	1 / 100.0
Curculionidae: Scolytinae	2 / 33.3	1 / 16.7	1 / 16.7	2 / 33.3	6 / 100.0
Cossidae	1 / 33.3	0 / 0.0	2 / 66.7	0 / 0.0	3 / 100.0
Sessidae	1 / 50.0	1 / 50.0	0 / 0.0	0 / 0.0	2 / 100.0
Siricidae	0 / 0.0	1 / 100.0	0 / 0.0	0 / 0.0	1 / 100.0
Total	31 / 43.1	26 / 44.4	11 / 15.3	4 / 5.6	72 / 100.0

A decrease in the number of species from single to abundant was noted among cerambycids and buprestids. There are no data for occurrence for other taxa due to the small number of species. Attention is drawn to the proportion of abundant species among scolytines – representatives of the Xyleborini tribe (see Tables 1, 3). *X. rusticus* is abundant and has a high physiological activity, but there is a lack of information on its maturation feeding and pathogen transmission.

The list of common species includes 7 cerambycids. Among them, *R. maculata* colonizes only dead trees, *S. carcharias* colonizes almost healthy trees and other species inhabit severely weakened and drying-up trees. Maturation feeding is reported for 3 common species of longhorn beetles. Imago *T. praeusta* feeds on foliage and *M. curculionoides* feeds on bark and leaves; they both can significantly weaken trees at high population density.

The list of rare species includes 15 cerambycids. All of them are polyphagous, 12 of them inhabit severely weakened and dying trees and 3 species inhabit dead trees. Maturation feeding of *M. nebulosa* and *S. perforata* is on the bark of branches and for the last species also on foliage.

Among the identified monophagous insects of poplars and aspens trees, species with a high physiological activity predominate; they are able to attack healthy and weakened trees (Fig. 1). These are *A. suvorovi*, *C. lapathi*, *X. cryptographus*, *P. tabaniformis*, *A. terebra*. At the same time, oligophages and polyphages are dominated by species with a medium physiological activity; they are able to colonize severely weakened and drying-up trees. Species with a low physiological activity, which colonize dead trees, were only noted among polyphages (see Table 1).

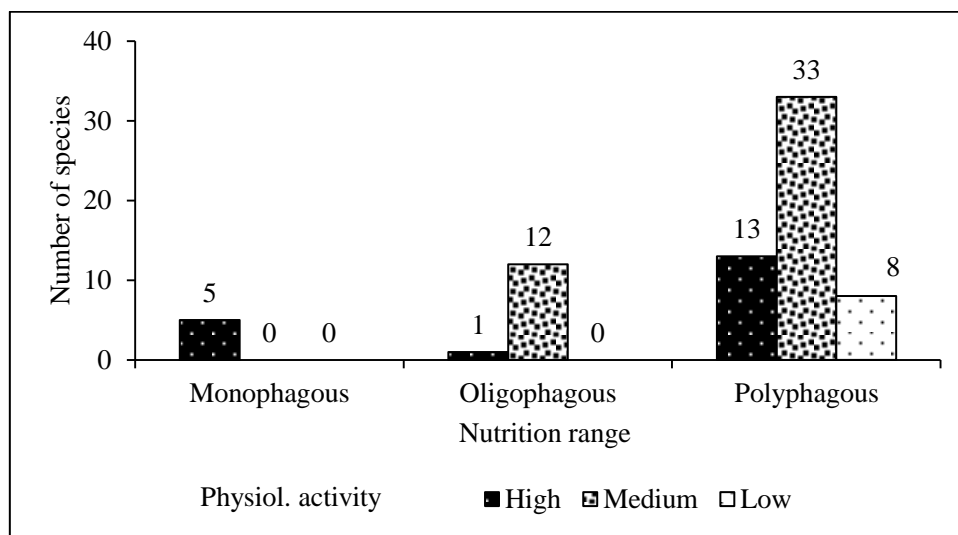


Fig. 1 – Distribution of xylophagous insects by physiological activity and nutrition type

Nineteen insect species are able to colonize healthy and weakened trees, including 5 abundant, 4 common, 4 rare, and 6 single species (Fig. 2).

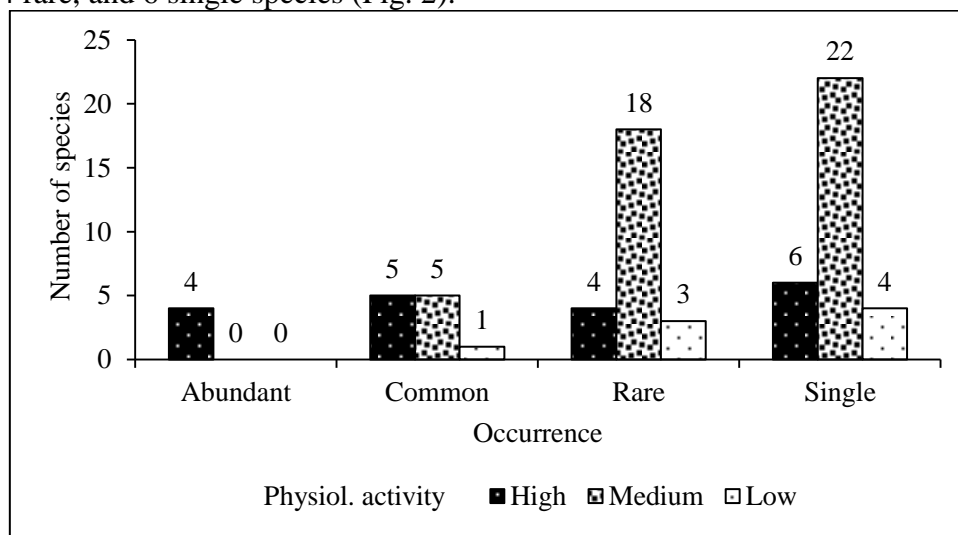


Fig. 2 – Distribution of xylophagous insects by physiological activity and occurrence

The abundant species are *X. rusticus*, *A. viridis*, *A. dispar*, *X. saxesenii*, and *C. cossus*. The common species are *S. populnea*, *S. carcharias*, *Z. pyrina*, and *T. signatum*. The rare species are *T. picta*, *A. suvorovi*, *A. maiche*, and *P. tabaniformis*. The single species are *A. subauratus*, *C. lapathi*, *X. cryptographus*, *S. apiformis*, *A. terebra*, and *T. fuscicornis* (see Table 1).

In particular stands, these ratios depend on the age of the trees and the ability of certain insect species to colonize different parts of the stem or branch.

Our study shows that most of the insect species analyzed do not have maturation feeding or feed on flowers or tree sap from bark wounds. 29 species feed on foliage and bark of branches, of which only 5 species can cause significant damage to trees during maturation feeding. These are longhorn beetles of the genus *Saperda* – *S. populnea*, *S. octopunctata*, *S. perforata*, *S. scalaris*, and *S. carcharias*. Among those species, *S. scalaris*, *S. populnea*, and *S. carcharias* are common, while *S. octopunctata* and *S. perforata* are single and rare, respectively (see Table 1).

The average score of the occurrence was the highest for polyphages (Fig. 3). Physiological activity contributes greatly to the physiological harmfulness of insects and is the highest for monophagous pests of poplar and aspen trees.

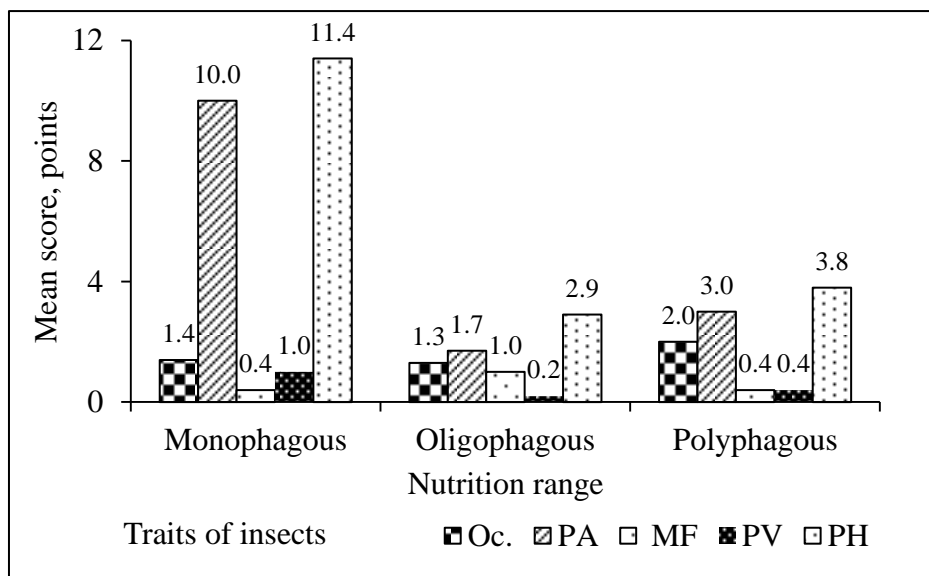


Fig. 3 – Mean score of some traits of physiological harmfulness for the xylophagous insects with different nutrition types (Oc. – occurrence; PA – physiological activity; MF – maturation feeding; PV – pathogen vectoring; PH – physiological harmfulness)

The average score of physiological activity and physiological harmfulness is the highest for the abundant xylophagous species (Fig. 4). It is almost twice as low for the common species, and almost two times less for the rare and single species.

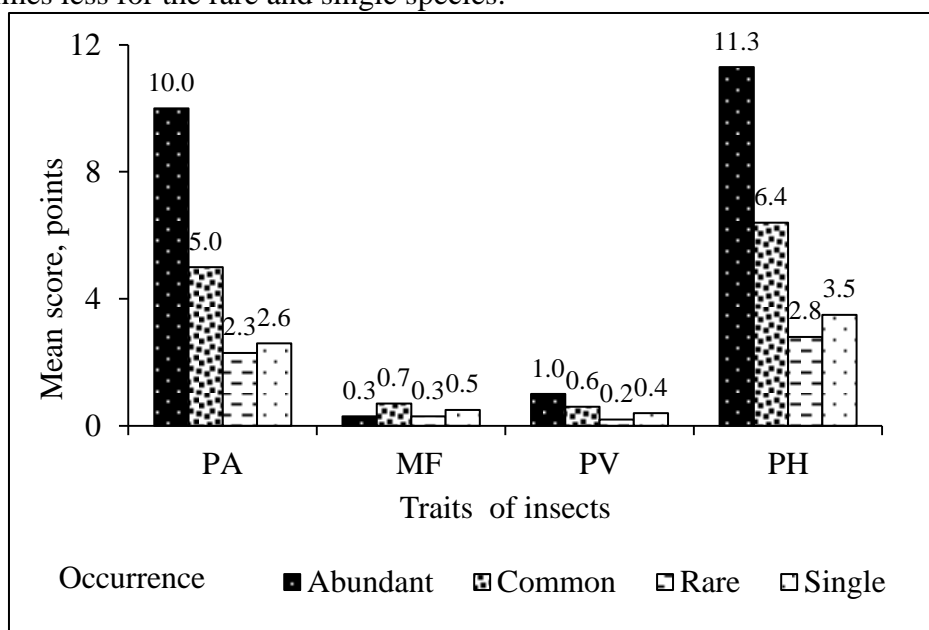


Fig. 4 – Mean score of some traits of physiological harmfulness for the xylophagous insects with different occurrences (Oc. – occurrence; PA – physiological activity; MF – maturation feeding; PV – pathogen vectoring; PH – physiological harmfulness)

If the occurrence is assessed in a particular stand, it may be possible to correct the score of physiological harmfulness, as has been done for Scots pine xylophagous insects (Meshkova 2017).

In total, 19 xylophagous species have high physiological harmfulness (10 points and more) for *Populus* sp. The physiological harmfulness of the polyphage *Saperda populnea* and the oligophage *S. carcharias* was estimated at 13 points.

The physiological harmfulness of 2 monophages (*C. lapathi* and *X. cryptographus*) and 5 polyphages (3 Xyleborini species, *T. signatum*, and *T. fuscicornis*) was estimated at 12 points. Nine species were estimated at 11 points, particularly, 3 monophages (*A. suvorovi*, *P. tabaniformis*, and *A. terebra*) and 6 polyphages (*T. picta*, *A. viridis*, *A. subauratus*, *S. apiformis*, *Z. pyrina* and

C. cossus). *X. rusticus* is rated with 10 points (see Table 1). The last species is one of the most destructive wood borers in northeast China; it damages poplar, and is listed as a domestic forestry quarantine pest (Li et al. 2014, Jing et al. 2017). At the same time, it is a protected species according to The IUCN Red List of Threatened Species and it fits in the LC category (Cálix et al. 2018). This information supports our conclusions that the harmfulness of certain insect species can vary significantly depending on region and ecological conditions.

Conclusions. Among 72 xylophagous insects inhabiting poplar and aspen trees in the Left-Bank Forest-Steppe, single and rare species predominate. The proportion of abundant species is the highest among Scolytinae: Xyleborini.

Among monophagous insects, species with a high physiological activity predominate, particularly, *A. suvorovi*, *C. lapathi*, *X. cryptographus*, *P. tabaniformis*, *A. terebra*. Among oligophages and polyphages, the species colonizing severely weakened and dying trees predominate. Species with low physiological activity, colonizing dead trees, predominate only among polyphages.

Only 5 species (longhorn beetles *S. populnea*, *S. octopunctata*, *S. perforata*, *S. scalaris*, *S. carcharias*) can cause significant damage to trees during maturation feeding on foliage and bark of branches.

The average score of physiological activity and physiological harmfulness is the highest for the abundant xylophagous species. It is almost twice as low for common species and almost two times less for rare and single species.

High physiological harmfulness (10 points and more) for poplar and aspen trees is estimated for 19 xylophagous species, particularly, 13 points for *S. populnea* and *S. carcharias*, and 12 points for *C. lapathi*, *T. signatum*, *T. fuscicornis*, and Xyleborini species.

REFERENCES

- Bartenev, A. F. 2009. Longhorn beetles of the Left-Bank Ukraine and Crimea. Monograph. Kharkiv, Kharkiv National University, 418 p. (in Russian)
- Bieliavtsev, M. P. and Meshkova, V. L. 2019. Xylophagous insects of the deciduous tree species in the National Nature park «Gomilshansky Lis». Biology and Valeology, 21: 82–89 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.34142/2708-583X.2019.21.10>
- Bily, S. 2002. Summary of the bionomy of the Buprestid beetles of Central Europe (Coleoptera, Buprestidae). Acta Entomologica Musei Nationalis Pragae. Suppl.10. 104 p.
- Bochniarz, A. 2017. Biologia i znaczenie krytoryjka olchowca *Cryptorhynchus lapathi* (L.) (Coleoptera: Curculionidae) w uprawach wierzby i topoli—przegląd piśmiennictwa. Polish Journal of Agronomy, 31: 63–74.
- Cálix, M., Alexander, K.N.A., Nieto, A., Dodelin, B., Soldati, F., Telnov, D., Vazquez-Albalade, X., Aleksandrowicz, O., Audisio, P., Istrate, P., Jansson, N., Legakis, A., Liberto, A., Makris, C., Merkl, O., Mugerwa Pettersson, R., Schlaghamersky, J., Bologna, M.A., Brustel, H., Buse, J., Novák, V. and Purchart, L. 2018. European Red List of Saproxyllic Beetles. [Electronic resource]. Brussels, Belgium, IUCN. Available at: <http://www.iucnredlist.org/initiatives/europe/publications> (accessed 02.03.2023).
- Charles, J. G., Nef, L., Allegro, G., Collins, C. M., Delplanque, A., Gimenez, R., Huglund, S., Jiafu, H., Larsson, S., Luo, Y., Parra, P., Singh, A. P., Volney, W. J. A., Augustin, S. 2014. Insects and Other Pests of Poplars and Willows. In: Isebrands, J. G. & Richardson, J. (Eds). Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment. FAO, CABI, p. 459–526.
- Danilevsky, M. L. 2020. Catalogue of Palaearctic Coleoptera, vol. 6 (1), Chrysomeloidea I (Vesperidae, Disteniidae, Cerambycidae). Revised and Updated Second Edition. Leiden, Boston, Brill, ixii, 712 p.
- Davydenko, K., Vasaitis, R., Meshkova, V., Menkis, A. 2014. Fungi associated with the red-haired bark beetle, *Hylurgus ligniperda* (Coleoptera: Curculionidae) in the forest-steppe zone in eastern Ukraine. European Journal of Entomology, 111(4): 561–565. <https://doi.org/10.14411/eje.2014.070>
- Jing, T., Hu, X., Hu, C., Li, C., Liu, K., Wang, Z. 2017. Life cycle and host preference of *Xylotrechus rusticus* (L., 1758) (Coleoptera: Cerambycidae) in the Heilongjiang Province, China. [Electronic resource]. Journal of the Entomological Research Society, 19(2): 1–10. Available at: <https://www.entomol.org/journal/index.php/JERS/article/view/1019> (accessed 02.03.2023).
- Kukhta, V. N., Blintsov, A. I., Sazonov, A. A. 2014. Bark beetles of Norway spruce and measures on regulation of their population. Minsk, BGTU, 238 p. (in Russian).

- Li, J. W., Shi, J., Xue, Y., Mao, H. B., Luo, Y. Q. 2014. Major physiological adjustments in freezing-tolerant grey tiger longicorn beetle (*Xylotrechus rusticus*) during overwintering period. *Journal of forestry research*, 25: 653–659.
- Lieutier, F., Day, K. R., Battisti, A., Gregoire, J. C., Evans, H. F. (Eds.). 2004. *Bark and wood boring insects in living trees in Europe: a synthesis*. Dordrecht-Boston-London, Kluwer Acad. publishers, 570 p.
- Lindelöw, Å. and Jonsell, M. 2022. Svenska skalbaggar 2–nya barkborrar (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) för landet och arter på spridning. *Entomologisk Tidskrift*, 143(3): 93–108 (in Swedish).
- Meshkova, V. L. 2017. Evaluation of harm (injuriousness) of stem insects in pine forest. *Scientific Bulletin of UNFU*, 27(8): 101–104. <https://doi.org/10.15421/40270816>
- Meshkova, V. L., Davydenko, K. V., Kukina, O. N., Sokolova, I. N., Skrylnik, Yu. Ye. 2009. Methodological aspects of stem insects research. *Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy*, 187: 201–209 (in Russian).
- Meshkova, V. L. and Kukina, O. N. 2011. Injuriousness of xylobionts in the oak clear-cuts in the Left-Bank Ukraine. *Proceedings of St. Petersburg Forestry Academy*, 196: 238–245 (in Russian).
- Meshkova, V., Skrylnik, Yu., Bieliavtsev, M., Zinchenko, O., Borysenko, O., Markina, T. 2022. Xylophagous beetles (Coleoptera) in the zones of Gomilshanski lisy National Nature Park with different management regime. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 64(2): 69–82. <https://doi.org/10.2478/ffp-2022-0007>
- Mozolevskaya, E. G. 1974. Evaluation of stem pests injuriousness. *Science papers of Moscow Forest & Technical Institute*, 65: 124–132 (in Russian).
- Nikulina, T., Mandelsham, M., Petrov, A., Nazarenko, V., Yunakov, N. 2015. A survey of the weevils of Ukraine. Bark and ambrosia beetles (Coleoptera: Curculionidae: Platypodinae and Scolytinae). *Zootaxa*, 3912, 61 p.
- Nikulina, T. V. and Martynov, V. V. 2021. Bark beetles (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) of Donetsk industrial-urban agglomeration. 2. Ecological and geographical review and economic significance estimation. *Industrial Botany*, 21(1): 79–95 (in Russian).
- Pažoutová, S. and Šrůtka, P. 2007. Symbiotic relationship between *Cerrena unicolor* and the horntail *Tremex fuscicornis* recorded in the Czech Republic. *Czech mycol.*, 59(1): 83–90.
- Poplars and Willows: Trees for Society and the Environment 2014. Isebrands, J. G. & Richardson, J., Eds. FAO, CABI, 699 p.
- Prokhorov, A. V. 2010. Annotated list of buprestid beetles (Coleoptera: Buprestidae) of the wood-and-steppe and steppe zones of Ukraine. *Ukrainska Entomofaunistyka*, 1(4): 1–72.
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine. 2016. [Electronic resource]. 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 30.08.2022) (in Ukrainian).
- Sarikaya, O. 2015. Observations on the Beetles *Anisandrus dispar* (Fabricius, 1792) and *Xyleborinus saxesenii* (Ratzeburg, 1837) in Kasnak Oak Forest Nature Protection Area in the South Western of Turkey. *International Journal of Agriculture Innovations and Research*, 4 (2): 357–360.
- Skrylnik, Yu. Ye. 2013. Injuriousness of longhorn beetles (Coleoptera, Cerambycidae) in pine stands of the Left-bank Ukraine. *The Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Entomology and Phytopathology*, 10: 148–159 (in Ukrainian).
- Skrylnik, Yu., Koshelyaeva, Y., Meshkova, V. 2019. Harmfulness of xylophagous insects for silver birch (*Betula pendula* Roth.) in the left-bank forest-steppe of Ukraine. *Folia Forestalia Polonica, Series A – Forestry*, 61 (3): 161–175. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0016>
- Skrylnik, Yu. Ye. and Terekhova, V. V. 2011. The buprestid beetles (Coleoptera: Buprestidae) of the East-Ukrainian District of the forest-steppe zone of Ukraine. *The Kharkov Entomol. Soc. Gaz.*, 19(2): 41–54 (in Russian).
- Skrylnik, Y. Y., Zhupynska, K. Y., Koshelyaeva, Y. V., Meshkova, V. L. 2023. Some traits of xylophages that affect their harmfulness to *Populus* sp. In: *Entomological readings in memory of outstanding entomological scientists V. P. Vasyliieva and M. P. Dyadechka (March 21, 2023)*. Kyiv, p. 81–85 (in Ukrainian).
- Steed, B. E. and Burton, D. A. 2015. *Field guide to diseases and insects of quaking aspen in the West. Part I: wood and bark boring insects*. U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Health Protection, Missoula MT, 115 p.
- Terekhova, V. V. and Salnitskaya, M. A. 2014. Annotated list of bark beetle species (Coleoptera: Curculionidae: Scolytinae) of the forest-steppe zone of Left Bank Ukraine. *Bulletin of the VN Karazin Kharkiv National University. Series: Biology*, 20 (1100): 180–197 (in Russian).
- Terekhova, V. V. and Skrylnik, Yu. Ye. 2014. The first results of the study of jewel beetles (Coleoptera, Buprestidae) of the National Nature Park «Dvurechansky». *Bulletin of the V.N. Kharkiv National University Karazin. Ser.: Biology*, 19: 46–51 (in Russian).
- Vysotska, N. Yu. and Tkach V. P. 2016. Poplar and aspen stands in Ukraine. *Forestry and Forest Melioration*, 128: 20–27 (in Ukrainian).
- Yanitsky, T. P. 2007. The ecological and faunistic characteristics of Buprestidae (Coleoptera) of Ukraine. *The Kharkov Entomol. Soc. Gaz.*, 14 (1–2): 37–46 (in Ukrainian).
- Zhupynska, K. Y. 2019. Stem pests in the plants of *Populus* L. *Bulletin of Kharkiv National Agrarian University. Series: Phytopatology and Entomology*, 1–2: 46–55 (in Ukrainian).

Скрильник Ю. Є.¹, Жупінська К. Ю.², Кошеляєва Я. В.², Мешкова В. Л.¹

ФІЗІОЛОГІЧНА ШКІДЛИВІСТЬ КОМАХ-КСИЛОФАГІВ У НАСАДЖЕННЯХ ТОПОЛЬ І ОСИКИ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ

¹*Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького*

²*Державний біотехнологічний університет, Харків, Україна*

Метою дослідження було оцінити фізіологічну шкідливість ксилофагів, які заселяють тополі та осики, (*Populus* sp.) у Лівобережному лісостепу, з урахуванням спроможності цих комах заселяти дерева певного санітарного стану, особливостей додаткового живлення, спроможності переносити патогени дерев, трофічної спеціалізації та поширеності. Зазначені риси проаналізовано стосовно 72 видів комах, зокрема 40 Cerambycidae, 19 Vuprestidae, 7 Curculionidae, 2 Sesiidae та 3 Cossidae. Частка масових видів є найбільшою серед представників триби Scolytinae: Xyleborini. Види з високою фізіологічною активністю переважають серед монофагів, зокрема *Agrilus suvorovi*, *Cryptorhynchus lapathi*, *Xyleborus cryptographus*, *Paranthrene tabaniformis*, *Acosus terebra*. Лише 5 видів (*S. populnea*, *S. octopunctata*, *S. perforata*, *S. scalaris*, *S. carcharias*) спроможні заподіяти значущу шкоду деревам під час додаткового живлення листям і корою гілок дерев. Середній бал оцінки фізіологічної шкідливості є найбільшим у масових видів ксилофагів, він є майже вдвічі меншим у звичайних видів, майже ще вдвічі меншим у рідкісних і поодиноких видів. Високу фізіологічну шкідливість стосовно рослин роду *Populus* визначено для 19 ксилофагів, причому найвищі оцінки мають *S. populnea* та *S. carcharias* (13 балів), а цей показник *Cryptorhynchus lapathi*, *Trypodendron signatum*, *Tremex fuscicornis* та видів триби Xyleborini оцінено у 12 балів.

Ключові слова: фізіологічна активність, трофічна спеціалізація, поширеність, додаткове живлення, перенесення патогенів.

E-mails: yuriy.skrylnik@gmail.com;
Valentynameshkova@gmail.com

zhupinskaya95@gmail.com;

yana120783@i.ua;

Одержано редколегією 12.03.2023



І. М. ЖЕЖКУН

**ДИНАМІКА РЕАЛІЗАЦІЇ ДІЛОВОЇ ДЕРЕВИНИ В УКРАЇНІ
ПІД ЧАС ВОЄННОГО СТАНУ**

Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького

Наведено перелік основних негативних наслідків війни для економіки лісового господарства України. Обґрунтовано доцільність використання вибіркового методу економічного аналізу під час війни та визначено пов'язані з нею ускладнення щодо отримання необхідної статистичної інформації. Розглянуто квартальну динаміку фізичних обсягів і цін реалізації сортиментів лісоматеріалів круглих сосни та дуба за чотирма (А, В, С, D) класами (діаметром 30–34 см, умови відпуску – франко-нижній склад і франко-ліс) упродовж 2022 р. за обласними управліннями лісового та мисливського господарства Державного агентства лісових ресурсів (ДАЛРУ) та здійснено порівняння з даними IV кварталу 2021 р. Визначено загальні тенденції змін і відмінності динаміки зазначених показників за підприємствами, підпорядкованими ДАЛРУ, за головними породами, класами якості та умовами відпуску деревини протягом першого року широкомасштабної військової агресії Росії в Україні.
Ключові слова: лісоматеріали круглі, сосна, дуб, максимальні ціни, мінімальні ціни, класи якості деревини, умови відпуску деревини.

Вступ. Повномасштабне російське вторгнення 24 лютого 2022 р. спричинило екологічні та економічні збитки, зокрема лісогосподарській галузі (Blahoroluchna et al. 2022). Втрати лісового фонду України внаслідок збройної агресії Російської Федерації включають шкоду, заподіяну державі, та збитки, яких зазнають постійні лісокористувачі та власники лісів на земельних ділянках лісогосподарського призначення, захисних насаджень лінійного типу, лісових розсадників, лісових культур і користувачі мисливських угідь (The method 2022). Крім прямих втрат від знищення та пошкодження об'єктів виробництва, інфраструктури, продукції, загибелі людей, економіці лісового господарства України завдано також опосередкованих збитків, пов'язаних зі зниженням виробничого потенціалу та фінансової стабільності. Зменшення виробничого потенціалу підприємств лісогосподарської галузі України зумовлене, насамперед, неотриманням доходів у зв'язку з обмеженням землекористування внаслідок неможливості проведення рубок (вартість лісопродукції, рентна плата) і побічного користування (зокрема заготівлі березового соку, ягід, грибів). Зменшення внутрішнього попиту на продукцію ділового круглого лісу (Bolokhovets 2023) негативно впливає на фінансову потужність лісогосподарської галузі. Так, у 2022 р. зниження обсягів переробки деревини в Україні становило від 35 до 55 % залежно від сорту деревини, а експорт з України продукції деревини до країн ЄС у багатьох випадках втратив рентабельність (Misiura 2023).

Стан внутрішнього ринку деревини та фінансову стабільність лісогосподарської галузі України під час війни характеризують динаміка реалізації ділової деревини.

У зв'язку із цим *метою досліджень* було виявити особливості короткострокової (впродовж 2022 р.) динаміки фізичних обсягів реалізації та цін на продукцію ділового круглого лісу головних лісових порід.

Матеріали й методи. Основний метод дослідження – горизонтальний (трендовий) економічний аналіз попередньо відібраних показників із електронної бази ДП «Лісогосподарський інноваційно-аналітичний центр» («ЛІАЦ») Державного агентства лісових ресурсів України (ДАЛРУ) (Actual sales 2023, Actual volumes 2023). Також використано методи статистичного групування, графічного й табличного моделювання, узагальнення та синтезу.

Для аналізу динаміки обсягів і середніх цін реалізації ділової необробленої деревини в перший рік повномасштабної російської агресії за законодавчої заборони публікування офіційної статистики щодо України (On the protection 2022) взято підприємства,

підпорядковані ДАЛРУ. Останні заготовляли в попередні роки до 90 % річного обсягу ліквідної деревини у країні (Harvesting wood 2022, Materials 2021). Отже, через ускладнення можливості проведення економічного аналізу з повним охопленням лісогосподарської галузі України застосовано вибірковий метод. Селективний підхід також застосовано під час визначення для аналізу переліку видів дерев, розміру круглих лісоматеріалів та умов їх відпуску.

Для визначення тенденцій змін в обсягах і цінах реалізації ділових круглих лісоматеріалів на ринку України впродовж першого року повномасштабної військової агресії Росії обрано два види дерев. Сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.) переважає в обсягах ділового круглого лісу в Україні (за даними 2021 р. у фізичних обсягах заготівля деревини становила 51,8 % (9 136,8 тис. м³)) (Harvesting wood 2022), а дуб звичайний (*Quercus robur* L.) є найбільш вартісним. Наприклад, у 2021 р. вартість знеособленого кубічного метра лісоматеріалів круглих сосни у підприємствах, підпорядкованих ДАЛРУ, становила 1 975 грн, а дуба – майже у п'ять разів більше – 9 642 грн (Materials 2021). Проаналізовано середні за діаметром (30–34 см) та найбільш (франко-нижній склад) і найменш (франко-ліс) масові сортименти ділової деревини цих порід у фізичних обсягах реалізації за умовами відпуску споживачам.

Результати та обговорення. У першому кварталі 2022 р. на початку бойових дій обсяги реалізації лісоматеріалів круглих сосни та дуба різко зменшилися у порівнянні з рівнем четвертого кварталу попереднього року (рис. 1–4).

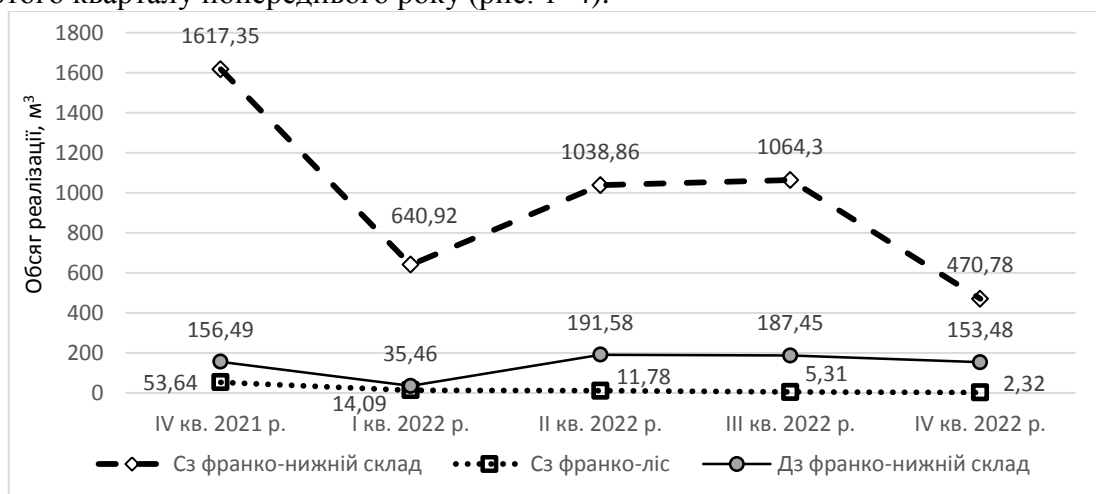


Рис. 1 – Квартальна динаміка обсягів реалізації лісоматеріалів круглих сосни (Сз) та дуба (Дз) (клас А, діаметр 30–34 см)

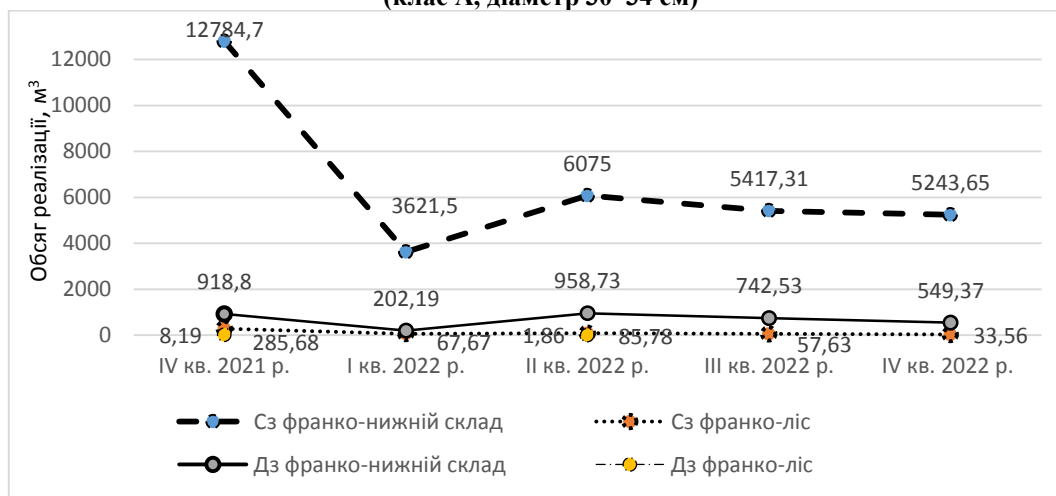


Рис. 2 – Квартальна динаміка обсягів реалізації лісоматеріалів круглих сосни (Сз) та дуба (Дз) (клас В, діаметр 30–34 см)

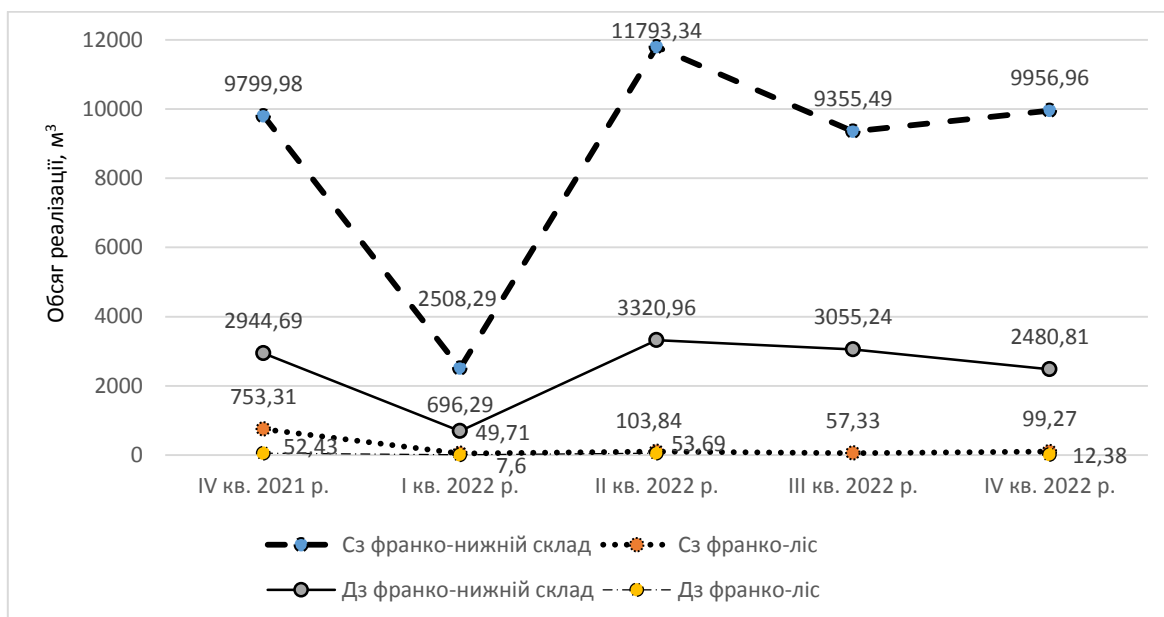


Рис. 3 – Квартальна динаміка обсягів реалізації лісоматеріалів круглих сосни (Сз) та дуба (Дз) (клас С, діаметр 30–34 см)

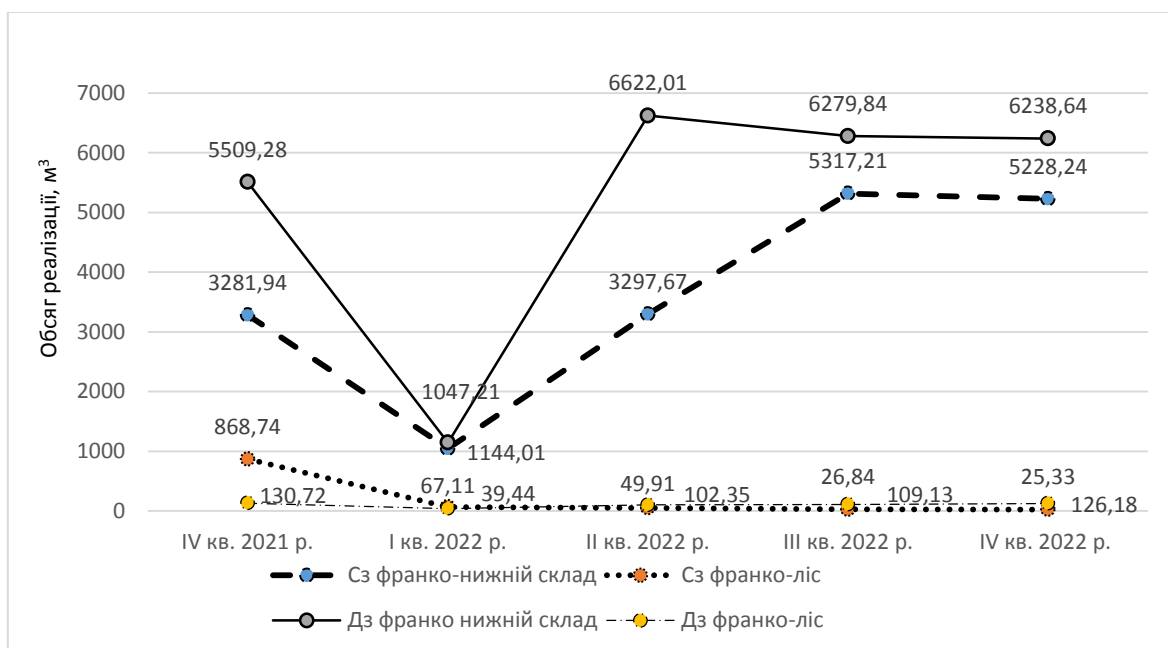


Рис. 4 – Квартальна динаміка обсягів реалізації лісоматеріалів круглих сосни (Сз) та дуба (Дз) (клас D, діаметр 30–34 см)

Зменшення фізичних обсягів реалізації за аналізованими сортиментами сосни та дуба (разом за умовами відпуску франко-нижній склад та франко-ліс) у I кварталі 2022 р. до рівня IV кварталу 2021 р. становило: за класом А – 60,9 та 77,3 %, за класом В – 71,8 та 78,2 %, за класом С – 75,8 та 76,5 %, за класом D – 73,2 та 79,0 % відповідно. Упродовж II–IV кварталів 2022 р. ситуація в більшості областей стабілізувалася, а фізичні обсяги реалізації лісоматеріалів круглих збільшилися, за винятком регіонів, де у 2022 р. проходили бойові дії (Чернігівщина, Сумщина, Харківщина, Донеччина, Луганщина). Водночас станом на IV квартал 2022 р. довоєнні квартальні обсяги реалізації аналізованих лісоматеріалів круглих (разом за умовами відпуску франко-нижній склад та франко-ліс) у підприємствах, підпорядкованих ДАРЛІУ, були перевищені лише за сортиментами нижчої якості та ціни (клас D): на 26,6 % для соснових і на 12,9 % для дубових лісоматеріалів (див. рис. 4). За лісоматеріалами круглими середньої (клас С) та вищої (класи А та В) якості, навпаки,

в останньому кварталі 2022 р. обсяги реалізації аналізованих сортиментів до рівня IV кварталу 2021 р. зменшилися: сосни – на 73,3 % за класом А, на 40,5 % за класом В та на 4,7 % за класом С, а дуба – на 1,9 % за класом А, на 40,7 % за класом В та на 16,8 % за класом С (див. рис. 1–3). Сортименти дуба не реалізовували в аналізованому періоді за умови франко-ліс за класом А взагалі та відпускали в окремих кварталах у невеликих обсягах (1,86–8,19 м³) за класом В. Вищенаведене свідчить, що за загальної тенденції зниження фізичних обсягів реалізації в перший рік повномасштабної російської агресії попит на продукцію ділової необробленої деревини в Україні зсунувся у бік дешевших та низькоякісних сортиментів класу D.

Ціни реалізації сортиментів лісоматеріалів круглих в Україні є дуже варіативними як за регіонами (областями) (табл. 1–2), так і в часі (табл. 3–4).

Таблиця 1

Середні фактичні ціни реалізації лісоматеріалів круглих сосни (клас А, діаметр 30–34 см) у IV кварталі 2021 р. за обласними управліннями лісового та мисливського господарства, грн./м³*

Франко	Обласне управління лісового і мисливського господарства										
	Хмельницьке	Львівське	Київське	Рівненське	Житомирське	Тернопільське	Сумське	Полтавське	Чернігівське	Івано-Франківське	Дніпропетровське
Нижній склад	4 558,2	4 254,4	4 089,7	4 008,7	3 967,7	3 878,7	3 824,7	3 528,5	3 404,6	2 550,0	–
Ліс	–	4 430,0	–	–	–	–	–	–	3 399,7	–	1 710,0

*За даними ДП «ЛІАЦ» (фактичні ціни реалізації лісопродукції в обласних управліннях).

Таблиця 2

Середні фактичні ціни реалізації лісоматеріалів круглих дуба (клас А, діаметр 30–34 см) у IV кварталі 2021 р. за обласними управліннями лісового і мисливського господарства, грн./м³*

Франко	Обласне управління лісового і мисливського господарства										
	Волинське	Івано-Франківське	Тернопільське	Хмельницьке	Черкаське	Сумське	Київське	Чернігівське	Житомирське	Вінницьке	Закарпатське
Нижній склад	17 836,8	17 630,1	17 187,5	16 966,7	15 082,2	14 379,7	14 111,0	13 513,6	13 326,3	11 513,9	–
Трель	–	–	–	–	17 648,9	–	–	–	–	18 650,0	16 040,8

*За даними ДП «ЛІАЦ» (фактичні ціни реалізації лісопродукції в обласних управліннях).

Наприклад, у IV кварталі 2021 р. максимальна різниця за обласними управліннями лісового та мисливського господарства (ОУЛМГ) середніх цін реалізації сортиментів круглих лісоматеріалів класу А (найменш масового за фізичними обсягами реалізації) діаметра 30–34 см за умовами відпуску франко-нижній склад становила для сосни 44,1 % (або 2 008,2 грн·м⁻³), дуба – 35,4 % (або 6 322,9 грн·м⁻³), за умовами відпуску франко-ліс для сосни – 61,4 % (або 2 720,0 грн·м⁻³), за умовами відпуску франко-трель для дуба – 14,0 % (або 2 609,2 грн·м⁻³). Тому для аналізу динаміки цін реалізації впродовж 2022 р. лісоматеріалів круглих взято максимальні та мінімальні із середніх цін у відповідному кварталі за ОУЛМГ (див. табл. 3–4).

Динаміка середніх цін реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих сосни та дуба у IV кварталі 2022 р., порівнюючи із IV кварталом 2021 р., мала протилежну спрямованість. Соснові сортименти здебільшого (за винятком мінімальних із середніх цін за умови відпуску франко-ліс, де збільшення за класами якості сягало 46,2 % – за А, 51,5 % – за В, 34,0 % – за С та 22,8 % – за D) суттєво дешевшали, а дубові, навпаки, переважно дорожчали (крім максимальних із середніх цін за умови відпуску франко-ліс, де зниження становило за класом С 23,2 %, D – 28,8 %, та мінімальних із середніх за класом А, де зменшення сягало 25,1 %).

Таблиця 3

Квартальна динаміка за підприємствами ОУЛМГ фактичних мінімальних та максимальних із середніх цін реалізації лісоматеріалів круглих сосни (діаметр 30–34 см) за класами та умовами відпуску, грн·м⁻³

Клас якості	Умови відпуску	Мінімальні із середніх ціни – чисельник, максимальні з середніх ціни – знаменник за кварталами				
		IV кв. 2021	I кв. 2022	II кв. 2022	III кв. 2022	IV кв. 2022
А	Франко-нижній склад	<u>2 550</u> 4 558	<u>3 135</u> 4 178	<u>2 316</u> 3 715	<u>2 044</u> 3 440	<u>1 875</u> 3 286
	Франко-ліс	<u>1 710</u> 4 436	<u>3 051</u> 3 500	<u>1 665</u> 3 388	<u>2 799</u> 2 799	<u>2 500</u> 2 750
В	Франко-нижній склад	<u>2 262</u> 3 940	<u>3 040</u> 4 748	<u>1 550</u> 3 654	<u>1 959</u> 3 067	<u>1 625</u> 2 746
	Франко-ліс	<u>1 069</u> 3 929	<u>2 981</u> 3 538	<u>1 620</u> 2 970	<u>1 775</u> 3 002	<u>1 620</u> 2 450
С	Франко-нижній склад	<u>2 491</u> 3 837	<u>2 476</u> 3 685	<u>1 554</u> 3 179	<u>1 734</u> 3 155	<u>1 547</u> 3 155
	Франко-ліс	<u>1 200</u> 3 494	<u>1 389</u> 3 460	<u>1 628</u> 2 786	<u>1 664</u> 2 508	<u>1 608</u> 2 170
D	Франко-нижній склад	<u>1 255</u> 3 374	<u>1 380</u> 3 178	<u>1 500</u> 2 892	<u>1 424</u> 2 635	<u>1 264</u> 2 635
	Франко-ліс	<u>950</u> 3 123	<u>934</u> 3 485	<u>1 299</u> 2 446	<u>1 338</u> 1 714	<u>1 168</u> 1 872

Таблиця 4

Квартальна динаміка за підприємствами ОУЛМГ фактичних мінімальних та максимальних із середніх цін реалізації лісоматеріалів круглих дуба (діаметр 30–34 см) за класами та умовами відпуску, грн·м⁻³

Клас якості	Умови відпуску	Мінімальні із середніх ціни – чисельник, максимальні з середніх ціни – знаменник за кварталами				
		IV кв. 2021	I кв. 2022	II кв. 2022	III кв. 2022	IV кв. 2022
А	Франко-нижній склад	<u>11 514</u> 17 838	<u>14 656</u> 23 483	<u>14627</u> 23100	<u>14 733</u> 30 081	<u>8 620</u> 23 433
	Франко-ліс	–	–	–	–	–
В	Франко-нижній склад	<u>8 223</u> 18 456	<u>10 555</u> 22 317	<u>9960</u> 19283	<u>12 986</u> 18 140	<u>10 889</u> 20 503
	Франко-ліс	<u>3 165</u> 22 641	–	<u>–</u> 12 172	–	–
С	Франко-нижній склад	<u>3 350</u> 13 706	<u>9 038</u> 16 166	<u>6 949</u> 1 4492	<u>8 066</u> 15 430	<u>7 066</u> 16 200
	Франко-ліс	<u>3 584</u> 17 495	<u>2 740</u> 18 404	<u>5 321</u> 8 666	–	<u>5 720</u> 13 402
D	Франко-нижній склад	<u>4 225</u> 9 519	<u>4142</u> 10 959	<u>4 163</u> 10 314	<u>4 657</u> 10 167	<u>4 583</u> 9 221
	Франко-ліс	<u>2 529</u> 10 068	<u>2 590</u> 9 179	<u>4 125</u> 10 345	<u>3 770</u> 6 775	<u>3 770</u> 7 165

Зниження максимальних із середніх цін реалізації сортиментів лісоматеріалів круглих сосни було дещо більшим за умови відпуску франко-ліс (на 37,9 % за класом А, на 37,6 % за класом В, на 37,9 % за класом С та на 40,1 % за класом D), порівнюючи з умовами відпуску франко-нижній склад (на 27,9; 30,3; 17,8 та 21,9 % відповідно). Зменшення мінімальних із середніх цін реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих сосни наприкінці 2022 р. проти IV кварталу 2021 р. за умови відпуску франко-нижній склад за класами якості становило: 26,5 % за класом А, 28,2 % за класом В, 37,9 % за класом С; а мінімальна із середніх ціна для класу D майже не змінилася (збільшилася лише на 0,7 %).

Перевищення максимальних із середніх цін реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих дуба в IV кварталі 2022 р. проти IV кварталу 2021 р. за умови відпуску франко-нижній склад варіювало близько 31,4 % для класу А, 11,1 % для класу В, 18,2 % для класу С. Для наймасовішого за фізичними обсягами реалізації деревини класу D

відбулося несуттєве зниження максимальної із середніх цін (на 3,1 %). Відповідно збільшення мінімальних із середніх цін сортиментів дуба у IV кварталі 2022 р. проти такого у попередньому році за умови відпуску франко-нижній склад становило 32,4 % за класом В, 110,9 % за класом С та 8,5 % за класом D, а за умови відпуску франко-ліс – 59,6 % для класу С та 49,1 % для класу D.

Отже, зменшення на 61–79 % фізичних обсягів реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих у I кварталі 2022 р. проти рівня попереднього кварталу не супроводжувалось адекватним підвищенням цін продажу. Цей факт може бути наслідком як «шокового» стану ринку деревини в Україні на початок бойових дій, так і зниження разом із пропозицією лісоматеріалів круглих і попиту на них через одночасне суттєве (на 40–50 %) зменшення кількості деревообробників (Bolkhovets 2023). Якщо максимальні та мінімальні із середніх цін реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих дуба у I кварталі 2022 р. проти рівня IV кварталу 2021 р. переважно збільшилися від 2,4 до 170,0 %, то для лісоматеріалів круглих сосни чіткі тенденції відсутні (табл. 5).

Таблиця 5

Зміни цін реалізації лісоматеріалів круглих сосни та дуба у підприємствах, підпорядкованих ДАЛРУ, в I кварталі 2022 р. проти IV кварталу 2021 р., %

Клас якості лісоматеріалів круглих: умови відпуску	Зміни, %			
	Сосна звичайна		Дуб звичайний	
	максимальних	мінімальних	максимальних	мінімальних
А: франко-нижній склад	91,7	122,9	131,7	127,3
А: франко-ліс	79,0	178,4	–	–
В: франко-нижній склад	120,5	134,4	120,9	128,4
В: франко-ліс	90,0	278,9	–	–
С: франко-нижній склад	96,0	99,4	117,9	270,0
С: франко-ліс	99,0	115,8	105,4	76,5
Д: франко-нижній склад	94,2	110,0	115,1	98,0
Д: франко-ліс	110,1	98,5	91,2	102,4

Для лісоматеріалів дуба винятками в загальній тенденції підвищення цін реалізації були: клас С – за умови відпуску франко-ліс зменшення мінімальних із середніх цін становило 23,5 %; клас D – за умови відпуску франко-нижній склад зменшення мінімальних із середніх цін становило 2,0 %, а за умови відпуску франко-ліс зниження максимальних із середніх цін сягало 8,8 %.

Переважно збільшилися у I кварталі 2022 р. до рівня попереднього кварталу мінімальні із середніх ціни реалізації аналізованих сортиментів лісоматеріалів круглих сосни (на 10,0–178,9 %)а максимальні із середніх цін здебільшого знизилися (на 1,0–21,0 %). Водночас всупереч переважній тенденції збільшилися максимальні із середніх ціни реалізації аналізованих лісоматеріалів круглих сосни класу В франко-нижній склад на 20,5 % та класу D франко-ліс на 10,1 %.

Висновки. Відсутність можливості отримання з відкритих джерел повної статистичної інформації щодо поточного стану ринку деревини в Україні зумовила застосування вибіркового методу економічного аналізу виробничої діяльності лісогосподарських підприємств.

Упродовж 2022 р., особливо в першому кварталі, відбулося зменшення фізичних обсягів реалізації підприємствами, підпорядкованими ДАЛРУ, лісоматеріалів круглих сосни та дуба (діаметр 30–34 см, умови відпуску – франко-нижній склад та франко-ліс) – майже на 80 %, а також значне коливання цін на сортименти, що зумовлене форс-мажорними обставинами внаслідок військових дій. Основним чинником зниження попиту на діловий круглий ліс в Україні у 2022 р. та, відповідно, обсягів реалізації стало зменшення кількості вітчизняних

деревоборобників на 40–50 %. Попит на круглі лісоматеріали сосни й дуба в Україні збільшився лише для сортиментів порівняно нижчої якості та цінової категорії (клас D).

Внутрішній ринок деревини в Україні в найближчій перспективі, зокрема у 2023–2024 рр., залишиться нестабільним і непередбачуваним, особливо стосовно попиту й цін на продукцію ділової необробленої деревини, що погіршує фінансову стійкість лісогосподарської галузі. За таких обставин проведення системного прогностичного аналізу ринку деревини в країні дає змогу оперативного («на випередження») приймати обґрунтовані управлінські рішення, особливо за теперішніх умов централізації реалізації круглих лісоматеріалів.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Actual sales prices of forest products by regional administrations. 2023. [Electronic resource]. State Enterprise Forestry Innovation and Analytical Center. Available at: https://www.ukrforest.com/analytics.cost_fact_region (accessed 11.02.2023) (in Ukrainian).

Actual volumes of forest product sales by quarters. 2023. [Electronic resource]. State Enterprise Forestry Innovation and Analytical Center. Available at: <https://stat.ukrforest.com/pages/volume-fact-quart> (accessed 23.02.2023) (in Ukrainian).

Blahopoluchna A., Liakhovska, N., Parakhnenko, V. H. 2022. Environmental and economic damage from full-scale military invasion of Russia in Ukraine. *Economic horizons*, 3(21): 53–61. [https://doi.org/10.31499/2616-5236.3\(21\).2022.263572](https://doi.org/10.31499/2616-5236.3(21).2022.263572) (in Ukrainian).

Bolokhovets, Yu. 2023. The perfect storm for the forest industry: Can we survive? [Electronic resource]. *Ukrainska Pravda* dated 20.01.2023. Available at: <https://www.epravda.com.ua/columns/2023/01/20/696162/> (accessed 10.02.2023) (in Ukrainian).

Harvesting wood according to the species composition of stands (2015–2021). 2022. [Electronic resource]. State Statistics Service of Ukraine. Available at: <https://www.ukrstat.gov.ua> (accessed 10.02.2023) (in Ukrainian).

Materials on the results of the work of enterprises of the State Forest Resources Agency of Ukraine for 2020. 2021. State Forest Resources Agency of Ukraine. Kyiv, 112 p. (in Ukrainian).

Misiura, O. 2023. In Ukraine, they want to cancel the moratorium on the export of wood. Why is it dangerous? [Electronic resource]. *Business news of Ukraine*. Available at: <https://biz.nv.ua/ukr/experts/novi-shemi-chim-zagrozhuye-ukrajini-skasuvannya-moratoriyu-na-eksport-lisu-ostanni-novini-50304674.html> (accessed 05.03.2023) (in Ukrainian).

On the protection of the interests of subjects submitting reports and other documents during the period of martial law or a state of war. 2022. [Electronic resource]. Law of Ukraine 2115-IX. Editorial office dated 29.12.2022. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2115-20#Text> (accessed 11.02.2023) (in Ukrainian).

The method of determining damage and losses caused to the forest fund as a result of the armed aggression of the Russian Federation. 2022. [Electronic resource]. Order of the Ministry of Environmental Protection and Natural Resources of Ukraine dated October 5, 2022 No. 414. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z1308-22#Text> (accessed 16.02.2023) (in Ukrainian).

Zhezhkun I. M.

SALE DYNAMICS FOR COMMERCIAL TIMBER IN UKRAINE DURING MILITARY STATE

Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky

A list of the main negative consequences of the war on the forestry economy of Ukraine is given. The expediency of using the selective method of economic analysis during the war and its accompanying difficulties in obtaining the necessary statistical information are substantiated. The quarterly dynamics of physical volumes and prices for the sale of assortments of pine and oak round timber in four classes (A, B, C, D) with a diameter of 30–34 cm, on the terms of delivery – free from lower landing and free from the forest, were examined throughout 2022, across the regional offices of the State Forest Resources Agency of Ukraine. The results were compared with the data from the fourth quarter of 2021. General trends and differences in the dynamics of these indicators were determined for enterprises subordinate to the State Forest Resources Agency of Ukraine, in the context of main species, wood grades, and timber delivery conditions during the first year of large-scale military aggression by Russia in Ukraine.

Key words: round timber, pine, oak, maximum prices, minimum prices, wood grades, timber delivery conditions.

E-mail: zhezhkun.irina@gmail.com

Одержано редколегією 09.03.2023

І. Т. ГУЛИК¹, В. В. ШЕВЧУК¹, І. М. ШЕЙГАС²**ПРІОРИТЕТНІСТЬ СПОЖИВАННЯ МИСЛИВСЬКИМИ РАТИЧНИМИ ТВАРИНАМИ ДЕРЕВ І ЧАГАРНИКІВ У ЛІСАХ ПОЛІССЯ Й ЛІСОСТЕПУ**¹Поліський філіал Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького²ДП «Степовий імені В.М. Виноградова філіал УкрНДЛГА»

Дослідженнями, проведеними в лісах Полісся та Лісостепу України, визначено пріоритетність споживання, частку і ступінь пошкодження мисливськими ратичними тваринами кормових дерев і чагарників у зимовий період на прикладі одного з найрозповсюдженіших та найчисленніших в Україні видів мисливських жуйних ратичних тварин – козулі, або сарни європейської (*Capreolus capreolus* L.). Отримані результати можуть бути використані для оцінювання придатності угідь для перебування ратичних, визначення кормової ємності та класу бонітету мисливських угідь, розрахунку щільності тварин в угіддях, а також дадуть змогу визначити перелік пріоритетних кормових стацій козулі у цей період року.

Ключові слова: пріоритетність споживання кормів, ступінь пошкодження деревно-чагарникової рослинності, частка пошкоджених деревець, кормові породи, зимові кормові стації.

Вступ. Загальний запас природних деревно-чагарникових кормів у передзимовий період є одним із найважливіших показників для оцінювання якості мисливських угідь і дуже вагомим у визначенні оптимальної ємності цих угідь щодо мисливських ратичних тварин, зокрема для розрахунку оптимальної чисельності козулі європейської на певній території. Водночас визначення лише загального запасу таких кормів недостатньо для обґрунтування оптимальної чисельності мисливських ратичних тварин-дендрофагів на певній площі мисливських угідь (оптимальної щільності). Для розрахунку цього показника необхідно знати поширеність окремих видів дерев і чагарників та ступінь їхнього пошкодження мисливськими ратичними тваринами у критичний для них зимовий період року, тобто визначити пріоритетність споживання рослин, якими вони живляться.

У критичний період року (взимку і на початку весни) мисливські ратичні тварини-дендрофаги, зокрема сарни, живляться переважно верхівками пагонів дерев і чагарників, що становить 85–90 % їхнього зимового раціону, а решта 5–15 % припадають на трав'яну рослинність (Тумофеева 1985, Hulakov 2001, Hulyk & Orlov 2000, Orlov et al. 2009). Упродовж цього періоду ратичні споживають також хвою сосни та ялини (Petrov 1996). Під час переходу на живлення лише деревними пагонами дорослі сарни з'їдають їх 1,5–2,7 кг на добу, а молоді – 0,6–0,9 кг. Вивчення живлення цих тварин методом стежкування показало, що одна доросла сарна взимку за добу скушує 1 700–2 100 кінцевих деревних пагонів. Зимово склад її раціону є найбільшнім, а частка другорядних кормів може перевищувати основні (Petrov 1996, Hulyk & Orlov 2000).

Використання запасів деревно-чагарникового корму для козулі європейської визначено в умовах Центрального Полісся (Turchak et al. 1993). За розрахунками авторів за потреби козулі в цьому кормі в 0,3 т споживання щорічного запасу цього виду кормів у зимовий період за щільності 10–15 голів на 1 000 га не перевищує 9 %. Тому кормова база у регіоні дає змогу теоретично збільшити чисельність козулі у 7,1 разу.

Спираючись на дослідження різних авторів (Ramlev 1969, Saevych 1988, Guidelines 2002), для розрахунків запропоновано таку оптимальну щільність козулі залежно від середнього класу бонітету для Поліської лісомисливської області: 1 бонітет – 57 особин, 2 – 39, 3 – 21, 4 – 4, 5 – 0 особин на одну тисячу гектарів. Цими ж авторами визначено, що навіть в умовах великої кількості диких ратичних частину угідь тварини зовсім не відвідують для живлення. Такі площі, які потрібно вилучати з розрахунку оптимальної кількості тварин, становлять для молодняків у віці до 20 років – 7–18 %, а для насаджень віком понад 20 років із багатим підростом і підліском – 10–11 %. Керуючись цими даними та враховуючи доступну частку пошкодження цінних молодняків (20 %), для різних категорій лісонасаджень визначають для ратичних оптимальні запаси кормів, використання яких не

завдаватиме шкоди лісовому господарству. Водночас враховують використання ратичними щорічного приросту фітомаси підросту й підліску на пасовищах залежно від типу деревостану (25–70 %).

Проте наразі ще недостатньо опрацьовані методики визначення пріоритетності пошкодження дикими ратичними різних видів дерев і чагарників. Потребує вирішення низка питань, пов'язаних із ранжуванням різних видів дерев і чагарників за кормовою привабливістю для диких ратичних, що надалі допоможе визначити пріоритетні кормові стації тварин, бонітет (продуктивність і якість) тих чи інших мисливських угідь та розрахувати оптимальну щільність диких ратичних на їхній території.

Мета досліджень – визначення пріоритетності споживання фітомаси окремих видів дерев і чагарників дикими ратичними тваринами в лісах Полісся й Лісостепу в критичний, щодо запасу кормів зимовий період року на основі визначення частки й ступеня пошкодження споживаних цими тваринами дерев і чагарників у різних типах лісонасаджень.

Матеріали й методи. Дослідження проводили в осінньо-зимовий період року в мисливських господарствах, які розташовані в Житомирській і Тернопільській областях у порівняно бідних, середніх і багатих за наявністю природних кормів угіддях, а саме – у Поліській лісомисливській області – у ДП «Коростишівське ЛГ» та ДП «Житомирське ЛГ», а у Лісостеповій лісомисливській області – у ДП «Бережанське ЛГ», ДП «Бучацьке ЛГ», ДП «Чортківське ЛГ».

За відомою методикою (Kozlovskiy 1971) та оригінальними доповненнями авторів усі обстежені насадження було розподілено на 12 окремих груп залежно від панівних порід у деревостані та типу лісорослинних умов: чисті соснові насадження в В₂₋₃, соснові насадження в С₂₋₃, соснові насадження в В₄, сосново-листяні в В₂₋₃, сосново-листяні в С₂₋₃, березняки в В₂₋₄, осичники в В₃₋₄, С₃₋₄, вільшняки в В₃₋₅, С₃₋₅, вербняки в В₃₋₅, С₃₋₅, дубняки в С₂₋₃ та Д₂₋₃, а також ясеневі насадження в типах лісу С₃₋₄, Д₃₋₄. Загалом у районах досліджень закладено 174 пробні площі. Кормове поле козулі європейської враховували до висоти 1,2 м від поверхні ґрунту.

Одночасно з визначенням загального запасу деревно-чагарникових кормів для козулі європейської та інших видів диких ратичних тварин оцінювали пріоритетність споживання, частку і ступінь пошкодження козулею європейською різних видів дерев і чагарників упродовж холодного (критичного щодо запасів кормів) періоду року в лісах Полісся та Лісостепу України. Дерев та чагарники, незалежно від груп лісонасаджень, у яких вони ростуть (табл. 1), за пріоритетністю споживання козулею ми розподілили на три категорії: часто-, середньо- та рідкопошкоджені. На пробних площах підраховували кількість пошкоджених козулею кормових дерев і чагарників кожного виду, що дало змогу визначити пошкодженість кожної породи. Частку пошкоджених деревець кожної породи визначали залежно від загальної їхньої кількості на пробній площі. Загалом виділено три ступеня пошкодження окремих видів дерев і чагарників: перший – до 30 % скушених пагонів на дереві; другий – 30–50 %, третій – понад 50 % скушених пагонів.

Результати та обговорення. Дослідженнями виявлено, що незалежно від лісомисливської області (Поліська або Лісостепова), густоти підросту та підліску на пробних площах, частка пошкодження кормових видів дерев і чагарників в однакових типах лісових мисливських угідь є подібною. Проведені розрахунки, їхній аналіз і узагальнення свідчать, що пошкоджуваність сарною найбільш споживаних кормових рослин у зимовий (голодний) період року залежить від кормового виду, породного складу панівного деревостану (хвойні, мішані чи листяні), походження насадження (штучне чи природне) (див. табл. 1).

До часто пошкоджуваних козулею кормових порід (із пошкодженням від 30 % деревець у насадженні) належать: бруслина європейська (*Euonymus europaea* L.), верба козяча (*Salix caprea* L.), ясен звичайний (*Fraxinus excelsior* L.), дуб звичайний (*Quercus robur* L.), осика (*Populus tremula* L.), верба попеляста (*Salix cinerea* L.), клен татарський (*Acer tataricum* L.),

клен гостролистий (*A. platanoides* L.), ожина несійська (*Rubus nessensis* W.), крушина ламка (*Frangula alnus* Mill.), верба тритичинкова (*Salix triandra* L.) (табл. 1).

Таблиця 1

Пріоритетність споживання, частка та ступінь пошкодження козулею європейською різних видів кормових дерев і чагарників протягом холодного періоду року в лісах Полісся й Лісостепу

Види дерев і чагарників (у порядку зменшення пошкоджуваності)	Кількість оглянутих дерев, шт.	Пошкоджених дерев		Середній ступінь пошкодження (для всіх типів лісу)	Частка пошкодження деревець у різних типах лісонасаджень, %			
		Кількість, шт.	Частка, %		Хвойні	Мішані	Листяні	
							природного походження	штучного походження
Деревні види								
Ясен звичайний	2 158	1 517	70,3	2,8	54,6	47,5	70,7	65,4
Горобина звичайна	3 082	1 732	56,2	2,6	42,1	54,9	68,2	60,7
Дуб звичайний	1 895	1 190	62,8	2,3	45,7	67,8	60,4	40,3
Осіка	5 646	3 337	59,1	1,9	25,0	48,2	63,1	42,1
Клен гостролистий	1 330	517	38,9	1,8	8,1	22,3	43,6	54,4
Клен польовий	864	260	20,1	1,8	5,2	28,6	30,8	38,4
В'яз звичайний	484	30	6,2	1,8	0,6	7,5	5,4	10,9
Груша звичайна	308	60	19,5	1,7	19,4	21,9	25,1	6,0
Граб звичайний	785	46	5,8	1,6	–	4,1	8,1	3,1
Алича	325	27	8,2	1,5	–	3,0	9,3	10,6
Сосна звичайна	2 175	70	3,2	1,4	5,9	5,2	0,3	0,1
Крушина звичайна	8 675	2 811	32,4	1,3	18,2	10,5	34,5	61,8
Береза бородавчаста	4 576	128	2,8	1,2	3,1	0,2	0,2	0,1
Яблуня лісова	120	18	15,0	1,0	–	5,5	26,5	18,4
Липа дрібнолиста	647	24	3,7	1,0	–	3,5	1,3	5,6
Ялина звичайна	605	6	1,0	1,0	0,8	0,8	–	–
Вільха чорна	1 235	10	0,8	1,0	–	–	0,8	–
Чагарники								
Бруслина європейська	2 620	2 350	89,7	2,7	50,8	83,5	91,2	92,8
Верба попеляста	3 426	1 997	58,3	2,5	36,5	41,0	65,9	45,3
Верба козяча	1 248	955	76,5	2,1	–	60,4	84,1	55,6
Верба тритичинкова	515	165	32,1	1,9	–	28,0	39,2	27,6
Ожина несійська	6 200	2 270	36,5	1,8	28,0	41,3	38,8	32,2
Бруслина бородавчаста	232	43	18,5	1,8	0,9	5,1	10,8	26,5
Клен татарський	213	95	44,8	1,7	23,1	48,7	36,4	56,2
Клен ясенелистий	108	17	15,3	1,6	–	18,0	–	0,4
Ірга круглолиста	134	16	12,2	1,5	9,2	16,6	–	10,8
Свидина кров'яна	2 484	703	28,3	1,4	–	10,8	26,3	42,8
Бузина чорна	367	79	21,4	1,3	25,6	40,4	–	5,3
Карагана кущова	893	55	6,2	1,3	0,5	12,9	–	–
Бузина червона	169	14	8,4	1,0	3,5	8,2	–	4,9
Черемха звичайна	870	30	3,4	1,0	1,2	4,8	–	3,5
Ліщина звичайна	1 539	11	0,7	1,0	0,2	0,4	1,4	0,8

До середньопошкоджуваних кормових видів (пошкоджено від 5 до 30 % дерев від кількості оглянутих у насадженні) належать: інші види кленів – польовий (*Acer campestre* L.) та ясенелистий (*A. negundo* L.), грушу звичайну (*Pyrus communis* L.), яблуню лісову (*Malus silvestris* L.), сливу розлогу (*Prunus divaricata* L.), в'яз гладкий (*Ulmus laevis* Pall.), граб звичайний (*Carpinus betulus* L.), свидину кров'яну (*Swida sanguinea* (L.) Opiz.), бузину чорну (*Sambucus nigra* L.), бруслину бородавчасту (*Euonymus verrucosa* Scop.); у таких видів, як

свидина кров'яна, бузина чорна, клен польовий, середня частка об'єднаних рослин на всіх пробних площах становила від 20 до 30 %.

Зрідка й лише в певних типах лісу (з часткою пошкоджених дерев менше ніж 5 %) сарна споживає фітомасу таких видів, як липа серцелиста (*Tilia cordata* Mill.), черемха звичайна (*Padus avium* Mill.), сосна звичайна (*Pinus sylvestris* L.), береза повисла (*Betula pendula* Roth.), ялина звичайна (*Picea abies* (L.) Karst.), вільха чорна (*Alnus glutinosa* (L.) Gaertn.), ліщина звичайна (*Corylus avellana* L.). Серед берез частіше має пошкодження береза пухнаста (*Betula pubescens* L.), яка росте у вологіших умовах. Ймовірно, поїдання козулею взимку цих видів у лісах є вимушеним і може свідчити про нестачу або недоступність основних кормів. Інші породи (робінія звичайна (*Robinia pseudoacacia* L.), тополя біла (*Populus alba* L.), барбарис звичайний (*Berberis vulgaris* L.)) зрідка трапляються в лісах зони досліджень і не мають великого значення для живлення тварин.

За ступенем пошкодження кормові види також різняться. Зазвичай, незалежно від типів лісу, ступінь пошкодження козулею пріоритетних кормових видів є високим. Ступінь пошкодження рідко пошкоджуваних видів здебільшого не перевищує 1,4 бала.

Оглядом на пробних площах кормових порід виявлено, що для ясена звичайного, дуба звичайного, горобини звичайної (*Sorbus aucuparia* L.), бруслини європейської, верб козячої та попелястої середній ступінь пошкодження у типових для козулі зимових кормових стаціях перевищує 2, а це означає, що на кожному пошкодженому сарною кормовому дереві цього виду об'єдано не менше ніж половину всіх пагонів поточного року.

Аналіз листяних деревостанів порослевого походження в березняках, осичниках, вербняках тощо) виявив, що певні групи кормових видів у цих типах лісонасаджень козуля пошкоджує значно частіше, ніж у лісах насінневого походження (дубняках, ясенниках, вільшаниках). Такі види кормових порід, як дуб звичайний, ясен звичайний, граб, осика, горобина, яблуня лісова, груша звичайна та верби (козяча, попеляста, тритичинкова та інші), незалежно від їхньої частки в підрості та підліску, в насадженнях порослевого походження пошкоджуються частіше, ніж у деревостанах природного насінневого походження.

Інші види, такі як клени (гостролистий, польовий, татарський, ясенелистий), крушина ламка, слива розлога, в'яз гладкий, бруслини (європейська та бородавчаста), свидина криваво-червона, бузини (чорна та червона), липа дрібнолиста, частіше споживаються козулею в листяних лісах природного походження (дубняках, ясенниках, вільшаниках та інших). Крім цього, ці ж породи частіше утворюють підлісок у багатших типах умов місцезростання (C₂₋₄, D₂₋₄). Ймовірно, в природних умовах росту згаданих листяних видів фітомаса певних кормових видів має вищу поживну цінність для козулі, ніж в інших умовах, наприклад, у культурах.

Більші частки пошкоджених дерев дуба, берези, сосни та ялини виявлено у хвойних лісах. Дуб у сосняку пошкоджується частіше, ніж у діброві природного походження (45,7 % проти 40,3 %). Цікаво, що козуля частіше поїдає сосну в культурах, ніж у підліску, і в типових умовах місцезростання, ніж у нетипових. Можливо, це пов'язане зі змінами хімічного складу рослин залежно від умов росту. Підріст сосни тварини майже не використовують у листяних насадженнях, а також у дуже вологих типах умов виростання (A₄₋₅, B₄₋₅, C₄₋₅). У мішаних насадженнях козуля об'їдає крони деревець сосни частіше в куртинах, ніж у поодиноких екземплярів у підрості. Можливо, їхня кормова привабливість для козулі залежить від ступеня затінення крони та біохімічного складу фітомаси (вмісту смоли, скипидару, ефірних масел, терпенів тощо).

У мішаних хвойно-листяних типах лісів такі породи, як дуб, клен ясенелистий, ірга, бузина, карагана кушова та черемха, пошкоджуються частіше, ніж у чистих хвойних або листяних лісах.

Висновки. Пошкодженість окремих кормових порід дикими ратичними в насадженнях різного породного складу залежать від екологічних умов їхнього росту. Визначений розподіл кормових видів деревно-чагарникових порід за кормовою привабливістю та ступенем

пошкодження (ступенем використання) сарною європейською характерний лише для холодного періоду року й може бути застосований для розрахунку частки споживання того чи іншого кормового виду у критичний щодо запасів кормів період.

Результати проведених досліджень можуть бути використані для характеристики придатності угідь для перебування сарни європейської та інших видів мисливських ратичних тварин-дендрофагів, кормової ємності мисливських угідь для цих видів, визначення класу бонітету мисливських угідь, їхньої типологізації, а також для виявлення переліку пріоритетних кормових стацій диких ратичних у зимовий період.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Hulakov, A. V. 2001. Radioecological monitoring of wild game ungulates in the South-East of Belarus in the post-Chernobyl period. Extended abstract of PhD thesis. Gomel, 24 p.

Hulyk, I. T. and Orlov, O. O. 2000. The specifics of European roe deer consumption of various feeds in the forests of Central Polissia depending on ecological conditions and the season of the year. In: Problems of Forest Ecology and Management in Ukrainian Polissia. Scientific Publications of Polissia ALNDS, 1(7). Zhytomyr, Volyn, p. 109–118 (in Ukrainian).

Kozlovskiy, A. A. 1971. Forest hunting areas. Moscow, Lesnaya Promyshlennost, 160 p. (in Russian).

Guidelines for organizing hunting area. 2002. Derzhkomlsgosp Ukrainy. Kyiv, p. 29–30 (in Ukrainian).

Orlov, O. O., Hulyk, I. T., Kazymyr, M. M., Khoyetskyi P. B. 2009. Feeding European of roe deer in the hunting grounds in Lviv region. Scientific Bulletin of UNFU, 19.5: 34–39 (in Ukrainian).

Petrov, M. F. 1996. Roe fodder (*Carreolus carreolus* L.) in the Exclusion Zone of the Chernobyl disaster in Ukraine. Problems of Chernobyl Exclusion Zone, 3: 105–114 (in Russian).

Ramlev, E. A. 1969. The influence of wild ungulates on the tree and shrub vegetation in Belovezhskaya Pushcha. Belovezhskaya pushcha. Issledovaniya, 3: 109–119 (in Russian).

Saevych, K. F. 1988. Fodder capacity of forest lands. Lesnoe Khozyaystvo, 5: 59–61 (in Russian).

Turchak, F. M., Sheyhas, I. M., Tkachenko, O. O. 1993. Recommendations for determining the actual and optimal number of wild ungulates in the Policy of Ukraine. In: Recommendations on forestry and protective afforestation. Kharkiv, URIFFM, p. 37–73 (in Ukrainian).

Tymofeeva, E. K. 1985. Roe deer. Leningrad, Izdatelstvo LHM, 224 p. (in Russian).

Hulyk I. T.¹, Shevchuk V. V.¹, Sheygas I. M.²

PRIORITY IN CONSUMPTION OF TREES AND SHRUBS BY GAME UNGULATES IN FORESTS OF POLISSIA AND FOREST-STEPPE

¹*Polissia Branch of Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G. M. Vysotsky, Zhytomyr, Ukraine*

²*State Enterprise ‘Steppe Branch of URIFFM named after V. M. Vinogradov’*

The studies conducted in the forests of Polissia and Forest-Steppe of Ukraine show the priority in consumption, the proportion and degree of damage caused by game ungulates in winter to food trees and shrubs on the example of European roe deer (*Capreolus capreolus* L.). The results obtained can be used to assess how suitable lands for ungulates are, and their forage capacity, to determine the quality class, to calculate the density of the animals in the lands, as well as to help identifying the list of priority feeding stations for roe deer during winter.

Key words: fodder consumption priority, tree and shrub vegetation damage degree, damaged trees proportion, food species, winter fodder stations.

E-mail: gulikigor@gmail.com

Одержано редколегією 17.11.2022

ПРАВИЛА ДЛЯ АВТОРІВ

Редколегія збірника «Лісівництво і агролісомеліорація» (Україна, 61024, Харків-24, Пушкінська, 86, УкрНДЛГА) приймає до друку оригінальні статті, а також повідомлення та оглядові статті з лісівництва й лісознавства та суміжних галузей обсягом до 10 сторінок. 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 зміни. Текст статті має відповідати загальним вимогам до написання наукових праць і бути відповідно структурованим (має містити такі розділи: **Вступ, Мета дослідження, Матеріали й методи, Результати та обговорення, Висновки, Посилання**, див. «Довідку для рецензента»). В тексті необхідно чітко сформулювати постановку завдання, мету досліджень, методику робіт, викласти результати і стислі висновки. Мета дослідження не повинна дублювати назву статті.

До редколегії подають електронний варіант статті, який слід надсилати на адресу:

Valentynameshkova@gmail.com або obolonik@uriffm.org.ua

Обов'язково зазначають контактну адресу (e-mail) одного з авторів.

Текст набирати у текстовому редакторі Word, подавати у форматі *.doc (*.docx). **Стили не застосовувати.**

У лівому верхньому куті зазначають УДК (10 pt). ІНІЦІАЛИ ТА ПРИЗВИЩЕ АВТОРІВ набирають великими буквами (12 pt, курсив), рівняють по центру. НАЗВУ СТАТТІ набирають великими літерами (12 pt, напівгрубий, рівняння по центру). Нижче вміщують (курсивом) *повну офіційну назву установи, де працюють автори*. Якщо автори працюють у різних установах, після кожного прізвища ставлять індекс, відповідно до якого розміщують назви установ. Анотацію українською мовою (120–150 слів) розміщують після назви установи, набирають шрифтом 10 pt, у кінці її вміщують ключові слова. Ключові слова не повинні повторювати слова із назви статті. Текст статті набирають 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.

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 ^{137}Cs за різної кількості спостережень (2020 р.)

Таблиця 4

 ^{137}Cs

Table 4

Statistical values for the density of forest soil contamination with ^{137}Cs for different numbers of observations (2020)

№ кварталу Subcompartment number	Кількість спостережень, шт. Number of observations	Статистичні параметри значення щільності радіоактивного забруднення, $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$ Statistical values for the density of radioactive contamination, $\text{kBq}\cdot\text{m}^{-2}$						
		M	$\pm m$	$\pm\sigma$	max	min	V, %	P, %
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.

Скановані чорно-білі рисунки або фотографії подають у форматі *.jpg. На мікрофотографіях зазначають збільшення.

Назви рослин і тварин під час першого згадування слід наводити латинською мовою курсивом.

Автоматичні посилання на джерела **заборонені**. У тексті посилаються на автора (-рів) і рік публікації (у круглих дужках). Прізвища авторів наводять у транслітерації латиницею або в англійському варіанті написання, наприклад (Meshkova et al. 2002).

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES вміщують після тексту статті. Джерела не нумерують, наводять за абеткою.

Назви джерел, написаних російською чи українською мовами, а також назви журналів (збірників), слід навести у перекладі на англійську мову, а потім у квадратних дужках [] – мовою оригіналу, зазначити мову оригіналу (in Ukrainian).

Зразки оформлення ПОСИЛАНЬ

Монографії:

Hrom, M. M. 2010. Forest mensuration [Лісова таксація]. Lviv, RVV NLTU, 416 p. (in Ukrainian).

Частина книги:

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. & Enderle, R. (Eds.). Dieback of European Ash (*Fraxinus* spp.): Consequences and Guidelines for Sustainable Management. Uppsala, p. 220–227.

Meshkova, V., Mikulina, I., Shatrovskaja, V. 2013. Host specificity of some Gracillariid leafminers. In: Recent Developments in Research and Application of Viruses in Forest Health Protection. Edited by Research Inst. of Forest Ecology, Environment and protection, Chinese Academy of Forestry and Russian Res. Inst. for Silviculture and Mechanization of Forestry. Beijing, China Forestry Publishing House, p. 13–27.

Без автора:

Red Book of Ukraine. Plant World [Червона книга України. Рослинний світ]. 2009. [Didukh, Ya. P., Ed.]. Kyiv, Global consulting, 900 p. (in Ukrainian).

Статті у періодичних виданнях:

Los, S. A., Tereshchenko, L. I., Shlonchak, H. A., Samoday, V. P., Neyko, I. S. 2015. Results of pine and oak plus trees selection in the plains of Ukraine and in Crimea in 2010–2014 [Результати відбору плюсових дерев сосни і дуба в рівнинній частині України та Криму у 2010–2014 pp.]. Forestry and Forest Melioration [Лісівництво і агролісомеліорація], 126: 139–147 (in Ukrainian).

Матеріали конференцій

Slobodyan, P. Ya. 2013. Classification of trees in stands for forest protection needs [Класифікація дерев у лісостані для потреб лісозахисту]. 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, p. 155–158 (in Ukrainian).

Дисертації

Sydorenko, S. G. 2017. Postpyrogenic growth of Scots pine stands in the Left-bank Forest Steppe of Ukraine [Постпірогенний розвиток сосняків Лівобережного Лісостепу України]. PhD thesis [Дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук]. Kharkiv, 191 p. (in Ukrainian).

Автореферати дисертацій

Bobrov, I. O., 2016. Spread and injuriousness of pine bark bug in the stands of Novgorod-Siverske Polissya [Поширеність і шкідливість соснового підкорового клопа в насадженнях Новгород-Сіверського Полісся]. Extended abstract of PhD thesis [Автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. с.-г. наук]. Kharkiv, 22 p. (in Ukrainian).

Методичні рекомендації

Methodical recommendations on inspection of stem forest pests' foci [Методичні рекомендації щодо обстеження осередків стовбурових шкідників лісу]. 2010. Meshkova, V. L. (Ed.). Kharkiv, URIFFM, 27 p. (in Ukrainian).

Стандарти:

Forest inventory sample plots. Establishing method. Corporate standard 02.02-37-476:2006 [Площі пробні лісовпорядні. Метод закладання. СОУ 02.02-37-476:2006]. 2007. Valid from May 1, 2007. Kyiv, Ministry of Agrarian Policy of Ukraine, 32 p. (in Ukrainian).

Електронні ресурси:

WeatherUnderground [Weather Forecast and Reports – Long Range and Local]. 2017. [Electronic resource]. The Weather Company, LLC. Available at: <https://www.wunderground.com/history/airport/UKHH> (accessed 30.04.2020).

Sanitary Forests Regulations in Ukraine [Санітарні правила в лісах України]. 2016. [Electronic resource]. Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No 756 dated 26 October 2016 [Постанова Кабінету міністрів України від 26 жовтня 2016 р. № 756]. Available at: <http://zakon2.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (accessed 30.04.2020) (in Ukrainian).

Анотацію англійською мовою набирають за такими ж правилами, як і українською, але вміщують після «ПОСИЛАНЬ». Перед текстом анотації англійською мовою (10 pt) вміщують прізвища та ініціали авторів, назву статті, назву установи, після тексту анотації – ключові слова.

Окремим файлом (формат **.doc, .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, Key words**. Таке резюме у паперовому варіанті друкуватися не буде, але є обов'язковим для розміщення на веб-сторінці видання.

Сайт збірника «Лісівництво і агролісомеліорація»: <http://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 містить 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. Key words.*

6. Ключові слова мають бути адекватні статті (до 5 слів чи словосполучень). Вони не повинні повторювати слова із назви статті.

7. У Вступі має бути наведено стан питання, вказано, 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 та обговорення. Чи результати дослідження вірно представлені? Чи коректно побудовані 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. Чи наявний аналіз отриманих даних, порівняння з подібними публікаціями з інших регіонів? Дати можливі пропозиції за необхідності.

10. Чи висновки повно і вірно ілюструють результати дослідження, чи вони впливають із результатів?

11. Чи можуть або мають деякі частини статті бути скорочені, вилучені, розширені або перероблені? Чи є рекомендації з погляду стилю і мови?

12. Список літератури. Чи задовільні кількість літературних джерел і доцільність посилань? Чи оформлений список літератури за абеткою та згідно із сучасними вимогами, чи на всі джерела списку є посилання у тексті?

13. 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	
<i>Жежжун А. М., Жежжун І. М., Порохняч І. В.</i> Динаміка продуктивності деревостанів Східного Полісся України <i>Zhezhkun A. M., Zhezhkun I. M., Porohnyach I. V.</i> Stand productivity dynamics in Eastern Polissia of Ukraine	3
<i>Пастернак В. П., Гірс О. А., Гармаш А. В.</i> Динаміка товарної структури штучних соснових деревостанів Слобожанського лісотипологічного району <i>Pasternak V. P., Girs O. A., Garmash A. V.</i> Dynamics of marketability structure of pine stands in Slobozhanskyi forest typological district	15
<i>Пастернак В. П., Гірс О. А., Назаренко В. В.</i> Динаміка обсягів рубок головного користування в соснових деревостанах Полісся України <i>Pasternak V. P., Girs O. A., Nazarenko V. V.</i> The dynamic of final cutting volumes in pine stands in Ukrainian Polissia	22
<i>Румянцев М. Г., Самодай В. П., Ігнатенко В. А., Сотнікова А. В.</i> Стан і товарно-сортиментна структура штучних дубових насаджень Лівобережного Лісостепу після проведення в них рубок догляду різної інтенсивності <i>Rumiantsev M. H., Samoday V. P., Ihnatenko V. A., Sotnikova A. V.</i> State, marketability and assortment structure of planted oak stands in the Left-Bank Forest-Steppe after thinning operations of different intensity	27
<i>Ткач В. П., Тарнопільська О. М., Ільченко С. В., Тарнопільський П. Б., Кобець О. В., Лук'янець В. А., Румянцев М. Г.</i> Вплив режимів вирощування штучних насаджень сосни звичайної на якісні ознаки компонентів фітомаси стовбура в лівобережній частині Північного Степу України <i>Tkach V. P., Tarnopilska O. M., Ilchenko S. V., Tarnopilskyi P. B., Kobets O. V., Lukianets V. A., Rumiantsev M. H.</i> The impact of growing regimes for planted Scots pine stands on the quality characteristics of the tree trunk phytomass components in the left-bank part of the Northern Steppe of Ukraine	35
СЕЛЕКЦІЯ, ДЕНДРОЛОГІЯ	
<i>Висоцька Н. Ю.</i> Посухостійкість десяти клонів тополі на сході України <i>Vysotska N. Yu.</i> Drought resistance of ten poplar clones in eastern Ukraine	47
<i>Плотнікова О. М., Григор'єва В. Г., Лось С. А., Губін Є. А.</i> Комплексне оцінювання географічних кліматипів сосни жовтої в умовах північного сходу України <i>Plotnikova O. M., Grygoryeva V. G., Los S. A., Gubin E. A.</i> Comprehensive assessment of ponderosa pine provenances in the north-east of Ukraine	59
<i>Терещенко Л. І., Лось С. А., Губін Є. А.</i> Особливості розвитку потомств плюсових дерев сосни звичайної за 36-річний період у Задонецькому лісництві (Харківська область) <i>Tereshchenko L. I., Los S. A., Gubin E. A.</i> Features of the development of Scots pine plus tree progenies over a 36-year period in the Zdonetske forestry in Kharkiv region	69
ЛІСОВІДТВОРЕННЯ, АГРОЛІСОМЕЛІОРАЦІЯ, ФІТОМЕЛІОРАЦІЯ	
<i>Даниленко О. М., Румянцев М. Г., Тарнопільський П. Б., Ющик В. С., Мостепанюк А. А.</i> Особливості росту штучних дубових молодняків, створених сіянцями із закритою кореневою системою, в ДП «Харківська ЛНДС» <i>Danylenko O. M., Rumiantsev M. H., Tarnopilskyi P. B., Yushchuk V. S., Mostepaniuk A. A.</i> Features of the growth of planted young oak stands established with containerized seedlings in Kharkiv Forest Research Station	79
ЕКОЛОГІЯ І МОНІТОРИНГ	
<i>Андреева О. Ю., Сидоренко С. Г., Мартинчук І. В.</i> Горимість лісів Волинського та Житомирського Полісся <i>Andreieva O. Yu., Sydorenko S. H., Martynchuk I. V.</i> Forest flammability in Volyn and Zhytomyr Polissia	89
<i>Бондарук М. А., Целищев О. Г.</i> Ландшафтна диференціація та тренди кліматогенної динаміки екологічних режимів екотопів нагірних дібров південної частини Лівобережного Лісостепу України <i>Bondaruk M. A., Tselischev O. G.</i> Landscape differentiation and trends in climatogenic dynamics of ecological regimes within ecotopes of upland oak forests in the southern part of the Left-Bank Forest-Steppe of Ukraine	97

<p><i>Жуковський О. В., Краснов В. П., Курбет Т. В., Шелест З. М. Особливості сучасного радіоактивного забруднення лісів Волинського та Житомирського Полісся</i> <i>Zhukovskiy O. V., Krasnov V. P., Kurbet T. V., Shelest Z. M. Current situation with forest radioactive contamination in Volyn and Zhytomyr Polissia</i></p>	106
<p><i>Мельник Є. Є., Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Коваль І. М. Втрати від пожеж у роки пожежного піку в лісах зеленої зони міста Харків із найбільшою горимістю</i> <i>Melnyk Ye. Ye., Voron V. P., Sydorenko S. H., Koval I. M. Economic losses caused by fires in years of the fire peak in the most frequently fire-damaged stands in the Kharkiv green belt</i></p>	116
<p><i>Орлов О. О., Жуковський О. В., Бородавка В. О., Бородавка О. Б., Шевчук В. В., Матейчик В. І., Арват Л. С. Омела австрійська (<i>Viscum album ssp. austriacum</i> (Wiesb.) Vollm.) у соснових лісах України: сучасний стан проблеми</i> <i>Orlov O. O., Zhukovskiy O. V., Borodavka V. O., Borodavka O. B., Shevchuk V. V., Mateychuk V. I., Arvat L. S. Pine mistletoe (<i>Viscum album ssp. austriacum</i> (Wiesb.) Vollm.) in pine forests of Ukraine: current state of the problem</i></p>	124
ЗАХИСТ ЛІСУ	
<p><i>Davydenko K. V., Ustsky I. M. Shift in fungal communities associated with <i>Pinus sylvestris</i> stands affected by root rot</i> <i>Давиденко К. В., Усцький І. М. Зміни в грибних угрупованнях, пов'язаних з кореневою системою дерев <i>Pinus sylvestris</i>, уражених кореневими гнилями</i></p>	136
<p><i>Skrylnyk Y. Y., Zhupinska K. Y., Koshelyaeva Y. V., Meshkova V. L. Physiological harmfulness of xylophagous insects in poplar and aspen stands in the Left-Bank Forest-Steppe</i> <i>Скрильник Ю. Є., Жупінська К. Ю., Кошеляєва Я. В., Мешкова В. Л. Фізіологічна шкідливість комах-ксилофагів у насадженнях тополь і осики Лівобережного Лісостепу</i></p>	147
ЕКОНОМІКА, МИСЛИВСТВОЗНАВСТВО	
<p><i>Жежжун І. М. Динаміка реалізації ділової деревини в Україні під час воєнного стану</i> <i>Zhezhkun I. M. Sale dynamics for commercial timber in Ukraine during military state</i></p>	158
<p><i>Гулик І. Т., Шевчук В. В., Шейгас І. М. Пріоритетність споживання мисливськими ратичними тваринами дерев і чагарників у лісах Полісся й Лісостепу</i> <i>Hulyk I. T., Shevchuk V. V., Sheygas I. M. Priority in consumption of trees and shrubs by game ungulates in forests of Polissia and Forest-Steppe</i></p>	165
ПРАВИЛА ДЛІА АВТОРІВ	170
ДОВІДКА РЕЦЕНЗЕНТА	173