

УДК 630.[43+561.24]

<https://doi.org/10.33220/1026-3365.148.2026.143>**РЕАКЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА НИЗОВІ ПОЖЕЖІ В МОЛОДНЯКАХ ЖИТОМИРСЬКОГО ПОЛІССЯ**І. М. Коваль^{1*}, О. Ю. Андреева², В. П. Ворон³, Є. Є. Мельник⁴, С. Г. Сидоренко⁵,
А. К. Волченко⁶

Оцінено особливості реакції радіального приросту сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) у 30-річних молодняках Житомирського Полісся на низову пожежу 2022 р. Дослідження проведено в умовах свіжого субору (В₂) на пошкоджених вогнем і непошкоджених (контроль) соснових насадженнях. Керни деревини відібрано буравом Преслера. Ширину шарів ранньої, пізньої та річної деревини виміряно з точністю до 0,001 мм. Виявлено, що в рік пожежі річний радіальний приріст зменшився на 34 %, приріст ранньої деревини – на 27 %, а пізньої – на 28 %. Посушливі умови 2023 р. посилювали післяпожежний стрес і сповільнили відновлення стану дерев. На другий рік після пожежі зафіксовано збільшення приросту ранньої деревини внаслідок зменшення відносної повноти деревостану та покращення умов живлення дерев. Виявлено статистично значущий зв'язок між індексами приросту, діаметром дерев і категоріями їхнього санітарного стану. Дерев, які залишилися живими в пошкодженому низовою пожежею молодому сосняку, змогли відновити радіальний приріст на другий рік після пожежі.

Ключові слова: дендрохронологія, *Pinus sylvestris* L., пірогенний вплив, рання деревина, пізня деревина, річна деревина, санітарний стан.

Вступ. Лісові пожежі належать до найгостріших екологічних, економічних і соціальних проблем сучасності. Вони порушують функціонування лісових екосистем, знижують біорізноманіття та спроможність лісів виконувати екосистемні функції (McLauchlan *et al.*, 2020; Génova *et al.*, 2022). В умовах глобальних кліматичних змін відбувається підвищення середньорічної температури повітря, збільшення тривалості посушливих періодів і пожежонебезпечного сезону, що значно посилює ризик виникнення й поширення лісових пожеж, передусім у хвойних лісах Полісся. Ключовим чинником природної пожежної небезпеки є температура повітря, яка визначає швидкість висушування лісових горючих матеріалів та інтенсивність горіння (Balabukh and Zibtsev, 2016; Zibtsev *et al.*, 2019; Voron *et al.*, 2020; 2021). Додатковим потужним чинником загострення пожежної небезпеки в Україні стала повномасштабна російська військова агресія, яка спричинила різке збільшення кількості випадків і площі лісових пожеж.

¹ Коваль Ірина Михайлівна, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: koval_iryana@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

² Андреева Олена Юріївна, доктор сільськогосподарських наук, професор, Поліський національний університет, Старий бульвар, 7, Житомир, 10008, Україна. E-mail: andreeva-lena15@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0851-800X>

³ Ворон Володимир Пантелеймонович, доктор сільськогосподарських наук, старший науковий співробітник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: 52corvus@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1059-3032>

⁴ Мельник Євген Євгенович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: wudckij1985@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9821-2751>

⁵ Сидоренко Сергій Григорович, кандидат сільськогосподарських наук, старший дослідник, Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького, вул. Григорія Сковороди, 86, Харків, 61024, Україна. E-mail: serhii88sido@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-0067>

⁶ Волченко Анна Кирилівна, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 6, Харків, 61022, Україна. E-mail: annavolchenko583@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3491-8389>

*Адреса для кореспонденції: koval_iryana@ukr.net

Бойові дії, артилерійські обстріли, застосування вибухових боєприпасів і масштабне руйнування природних ландшафтів призводять до загорянь, що охоплюють значні площі лісових земель. Унаслідок російської агресії від початку повномасштабної війни низовими пожежами пошкоджено понад 40 000 га лісу (Patsev *et al.*, 2023). Особливої гостроти ця проблема набула для лісів Полісся, де домінують високопожежонебезпечні соснові насадження. Лісові пожежі призводять до порушення водорегулювальної, ґрунтозахисної, санітарно-гігієнічної та інших екологічних функцій лісу, а також негативно впливають на продуктивність і стійкість деревостанів (Kuzyk and Tovarianskyi, 2023).

Ступінь пошкодження дерев вогнем залежить від інтенсивності ураження крони та стовбура. Зазвичай дерева уражаються не лише локально на пошкодженій тканині, а й виявляють системну реакцію, яка позначається на ширині річних кілець. Дендрохронологічний аналіз є ефективним інструментом для оцінювання завданої шкоди, визначення масштабів пожеж, реконструкції пожежних режимів і дослідження постпірогенного розвитку лісових екосистем (Seifert *et al.*, 2017; Koval, 2023). Частоту пожеж зазвичай визначають шляхом датування пожежних рубців – слідів відмирання камбію (Piha *et al.*, 2013). Однак такі пошкодження не завжди є очевидними, а іноді взагалі відсутні, що зумовлює потребу в пошуку інших індикаторів пірогенних порушень. Одним із надійних індикаторів є зміни радіального приросту, які виявляють через вимірювання ширини річних кілець або фіксацію випадін (відсутності) окремих кілець у дерев, що вижили. Вузькі річні кільця та переривання в радіальному прирості дають змогу зіставити динаміку росту дерева до, під час та після пожежі (Wei *et al.*, 2023). Попри це, особливості постпірогенного формування радіального приросту як інтегрального показника стану та продуктивності насаджень досі залишаються маловивченими.

Мета дослідження – виявлення особливостей постпірогенного розвитку соснових молодняків Полісся дендрохронологічними методами.

Матеріали й методи. Дослідження проведено в 30-річних соснових насадженнях Житомирської області на базі філії «Коростишівське лісове господарство» (Коростишівське лісництво, квартал 65, виділ 6). Досліджувані молодняки розташовані на Поліській низовині. Клімат – помірно-континентальний із середньорічною температурою повітря близько +6 °С та річною нормою опадів 500–600 мм (більша частина випадає влітку – близько 240 мм, найменше – взимку, близько 80 мм). Ґрунти дерново-підзолисті.

Низова пожежа відбулася у квітні 2022 р. Для дослідження закладено дві тимчасові пробні площі (ТПП): ТПП-1 – контрольна (непошкоджене насадження); ТПП-2 – у деревостані, пошкодженому низовою пожежею, таких самих умовах). Вік насадження у рік дослідження сягав 30 років. Середня висота дерев $H_{\text{сер}}$. На пошкодженій ділянці становила 15,8 м, на контрольній – 14,7 м; середній діаметр $D_{\text{сер}}$ – 18,3 та 17,9 см відповідно. Відносна повнота на пошкодженій вогнем ділянці – 0,3, на контролі – 0,7. Тип лісорослинних умов – свіжий суббір (В₂). Середня висота нагару на стовбурах пошкоджених дерев становила $242,7 \pm 11,3$ см.

Керни деревини відбирали наприкінці вересня 2024 р., після завершення формування річного кільця, за допомогою вікового бурава Преслера на висоті 1,3 м від поверхні ґрунту (по 15 зразків із пошкодженої та контрольної ТПП) (рис. 1).

Для кожного дерева вимірювали діаметр, висоту, визначали клас Крафта та категорію санітарного стану (*Sanitary Forests Regulations in Ukraine*, 1995; Meshkova, 2020).

Керни висушували за кімнатної температури. Потім керни намочували й зачищали їхні поверхні лезом поперек волокон, щоб покращити розпізнавання меж між шарами деревини. Величини шарів ранньої, пізньої та загальної річної деревини вимірювали на спеціалізованій установці HENSON із точністю до 0,001 мм. Перехресне датування здійснювали шляхом синхронізації індивідуальних графіків приросту (Holmes, 1983). Локальні деревно-кільцеві хронології створено осередненням індивідуальних хронологій окремо для пошкодженої та контрольної ТПП (Cook and Kairiukstis, 1990; Speer, 2010). Індексні деревно-кільцеві

хронології отримано шляхом згладжування абсолютних величин шарів річної, ранньої та пізньої деревини за допомогою 3-річної ковзної кривої для вилучення біологічного (вікового) тренду (Cook and Kairiukstis, 1990).



Рис. 1 – Місця відбору кернів у пошкодженому низовою пожежею молодняку та на контролі
Fig. 1 – Locations of core sampling in the young stand damaged by a surface fire and in the control stand

Для аналізу погодних умов використано дані метеостанції Житомир (50°16'50» пн. ш., 28°39'32» сх. д.) за гідрологічний рік (від 1 жовтня попереднього року до 30 вересня поточного року), що дало змогу врахувати вплив накопичення вологи попереднього осінньо-зимового періоду на формування річних кілець дерев (Water UK, 2012). Ці дані використано з метою оцінювання впливу погодних умов на формування річного кільця впродовж допожежного періоду та після нього. Кліматичну норму (для температури та опадів) зазвичай розраховують як середнє арифметичне значення за 30-річний період згідно з правилами Всесвітньої метеорологічної організації (ВМО), що передбачають оновлення норми кожні 10 років для відображення сучасних кліматичних змін (Arguez and Vose, 2011). Статистичну обробку та регресійний аналіз даних виконано в пакеті MS Excel (Atramentova and Utievskia, 2007).

Результати. Аналіз метеорологічних умов за даними метеостанції Житомир виявив, що в рік пожежі (2022 р.) гідротермічне співвідношення було близьким до оптимального: середньорічна температура перевищувала норму лише на 0,6 °C (на 7 %), а кількість опадів була більшою за норму на 42 мм (+7 %). Це пом'якшило первинний стресовий вплив вогню на камбій і коріння дерев. Наступний 2023 р. виявився екстремально посушливим: температура перевищила кліматичну норму на 14 %, а дефіцит опадів сягнув 32 % (випало на 203 мм опадів менше за норму). Це суттєво ускладнило процеси післяпірогенного відновлення фізіологічних функцій сосни (рис. 2).

Пізня деревина. Аналіз свідчить, що в допожежний 2021 р. величини шарів пізньої деревини на пошкодженій та контрольній ТПП суттєво не різнилися. У 2022 р. унаслідок весняної пожежі відбулося зменшення шарів пізньої деревини проти контролю на 28 %,

а в наступному 2023 р. розрив між даними на контролі та пошкодженій ПП зменшився на 5 % (рис. 3).

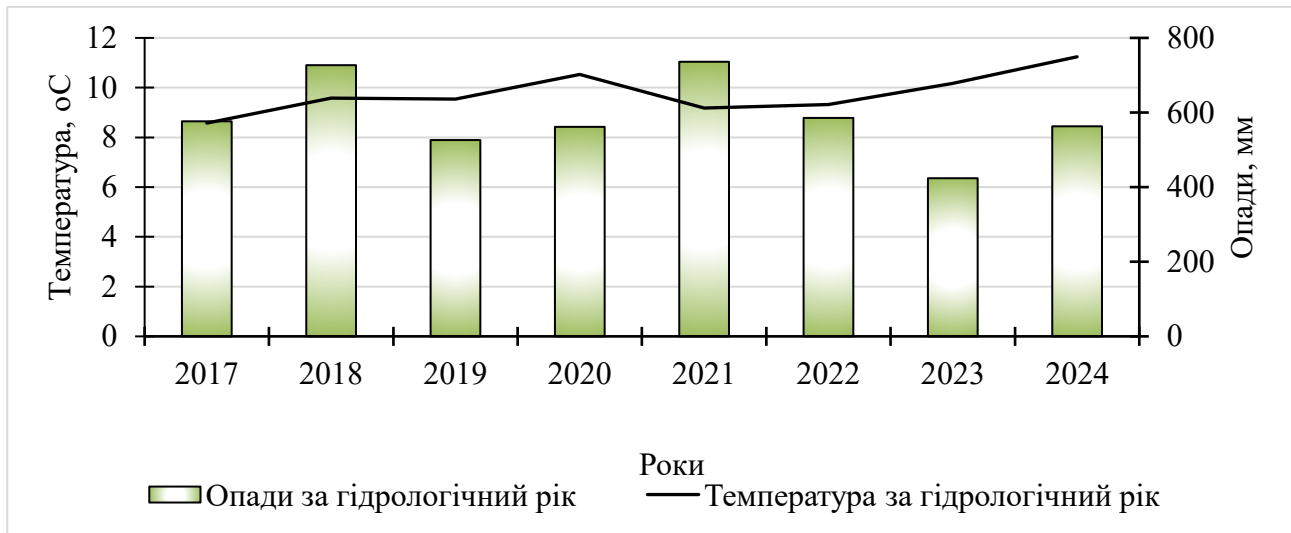


Рис. 2 – Динаміка опадів і температури за гідрологічний рік за даними метеостанції Житомир
Fig. 2 – Dynamics of precipitation and temperature over the hydrological year according to the Zhytomyr Weather Station

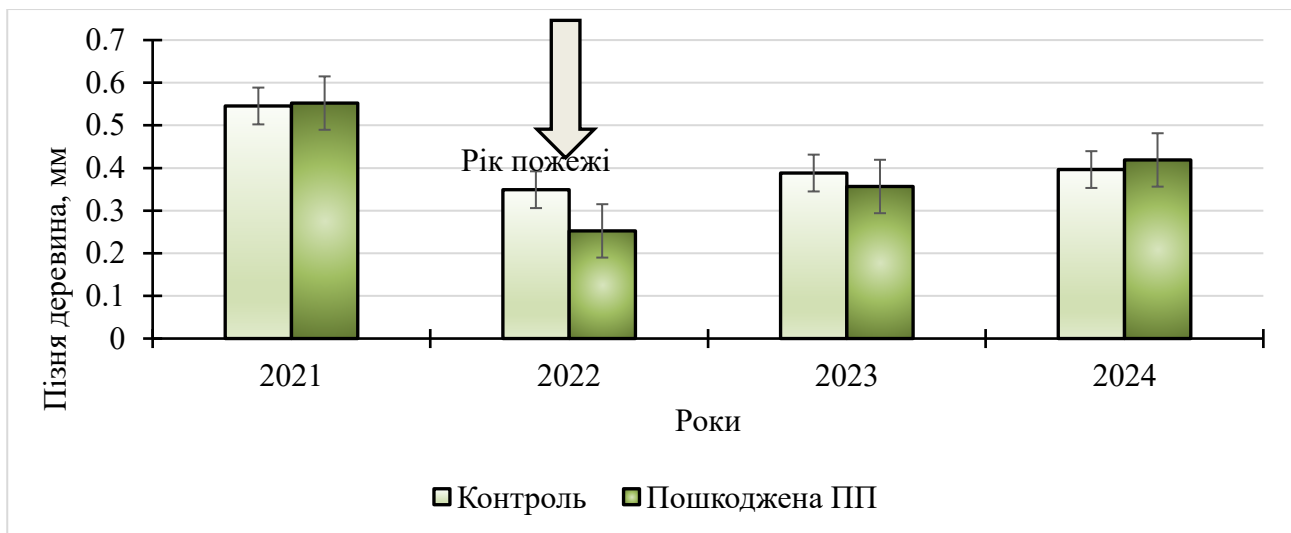


Рис. 3 – Динаміка шарів пізньої деревини на пробній площі, пошкодженій низовою пожежею, та на контролі
Fig. 3 – Dynamics of latewood layers in the sample plot damaged by a surface fire and in the control

Значущих відмінностей між шириною шарів пізньої деревини в допірогенному та післяпірогенному періодах не виявлено, хоча в рік пожежі на пошкодженій ділянці була наявна тенденція до зменшення ширини шару пізньої деревини (табл. 1).

Таблиця 1

Описова статистика шарів пізньої деревини на пошкодженій пожежею пробній площі та на контрольній

Table 1

Descriptive statistics of latewood layers in the fire-damaged plot and in the control

Статистичні показники Statistics	2021 р.		2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2
Середнє, мм Mean value, mm	0,55	0,55	0,35	0,25	0,39	0,36	0,40	0,42
Стандартна похибка Standard error	0,07	0,06	0,05	0,06	0,10	0,10	0,10	0,08
Стандартне відхилення Standard deviation	0,24	0,19	0,16	0,16	0,32	0,31	0,33	0,23
Дисперсія Variance	0,06	0,04	0,03	0,02	0,10	0,09	0,11	0,05
Мінімум Minimum	0,18	0,30	0,15	0,10	0,08	0,20	0,05	0,12
Максимум Maximum	0,90	0,83	0,65	0,60	1,20	1,16	1,00	0,70

Примітка. ТПП-1 – контроль (непошкоджена пробна площа); ТПП-2 – пошкоджена вогнем пробна площа.

Note. ТПП-1 – control; ТПП-2 – fire-damaged sample plot.

Рання деревина. Динаміка ранньої деревини виявила специфічні особливості реакції деревостану. У рік пожежі (2022 р.) ширина шарів ранньої деревини на пошкодженій ТПП на 27 % поступалася контролю. У 2023 р. показники майже зрівнялися (різниця ~1 %). Натомість у 2024 р. (другий рік після пожежі) на пошкодженій ділянці зафіксовано різке збільшення приросту ранньої деревини — він перевищив контроль на 23 % (рис. 4).

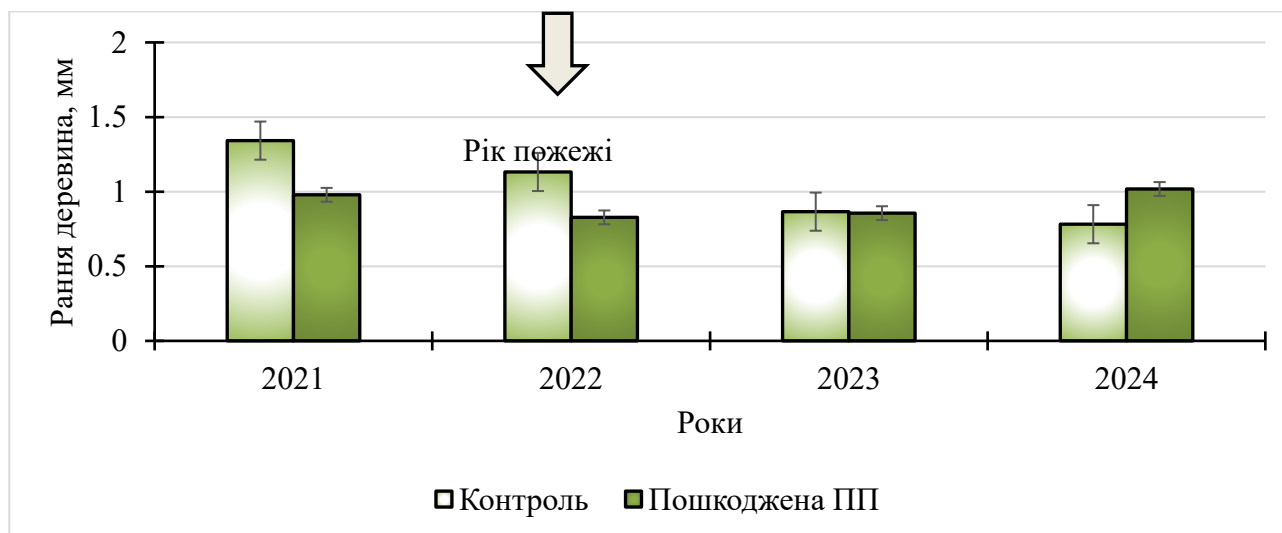


Рис. 4 – Динаміка шарів ранньої деревини на пробній площі, пошкодженій низовою пожежею, та на контролі

Fig. 4 – Dynamics of earlywood layers in the sample plot damaged by a surface fire and in the control

Така динаміка зумовлена впливом лісівничих заходів: унаслідок відпаду та проведення вибіркового санітарних рубок на пошкодженій ТПП було вилучено близько 57 % пошкоджених дерев (відносна повнота знизилася до 0,3). Для життєздатних дерев, що залишилися, суттєво збільшилася площа живлення та покращився світловий режим.

Водночас у післяпожежні 2023–2024 рр. на пошкодженій вогнем ділянці зафіксовано різке збільшення стандартного відхилення та дисперсії ранньої деревини (табл. 2).

Таблиця 2

Описова статистика шарів ранньої деревини на пошкодженій пожежею пробній площі та на контрольній
Table 2

Descriptive statistics of earlywood layers in the fire-damaged sample plot and in the control

Статистичні показники Statistics	2021 р.		2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2
Середнє, мм Mean value, mm	0,34	0,98	1,13	0,83	0,87	0,86	0,78	1,02
Стандартна похибка Standard error	0,22	0,18	0,18	0,16	0,15	0,19	0,15	0,30
Стандартне відхилення Standard deviation	0,69	0,56	0,56	0,49	0,46	0,59	0,47	0,94
Дисперсія Variance	0,48	0,31	0,31	0,24	0,21	0,35	0,22	0,88
Мінімум Minimum	0,53	0,20	0,45	0,30	0,30	0,23	0,27	0,20
Максимум Maximum	2,50	2,05	2,00	1,80	1,66	1,74	1,50	3,45

Примітка. ТПП-1 – контроль (непошкоджена пробна площа); ТПП-2 – пошкоджена вогнем пробна площа.
Note. ТПП-1 – control; ТПП-2 – fire-damaged sample plot.

Це свідчить про високу індивідуальну мінливість і мікроценотичну диференціацію дерев за ступенем пошкодження вогнем. За класичними положеннями дендрохронології (Fritts, 1976), такий зсув параметрів може означати підвищення чутливості ослаблених дерев до весняних погодних умов через часткове пошкодження кореневих систем і провідних тканин.

Річна деревина. Аналіз динаміки річних кілець свідчить, що у рік пожежі (2022 р.) річний радіальний приріст сосни на пошкодженій вогнем ділянці поступався контролю на 34 %. У наступному післяпожежному році ця різниця становила лише 6 %, а у другому післяпожежному 2024 році на пошкодженій ділянці відбулося збільшення радіального приросту. Це пов'язане зі збільшенням площі живлення та покращенням світлових умов для дерев, які залишилися живими (рис. 5).

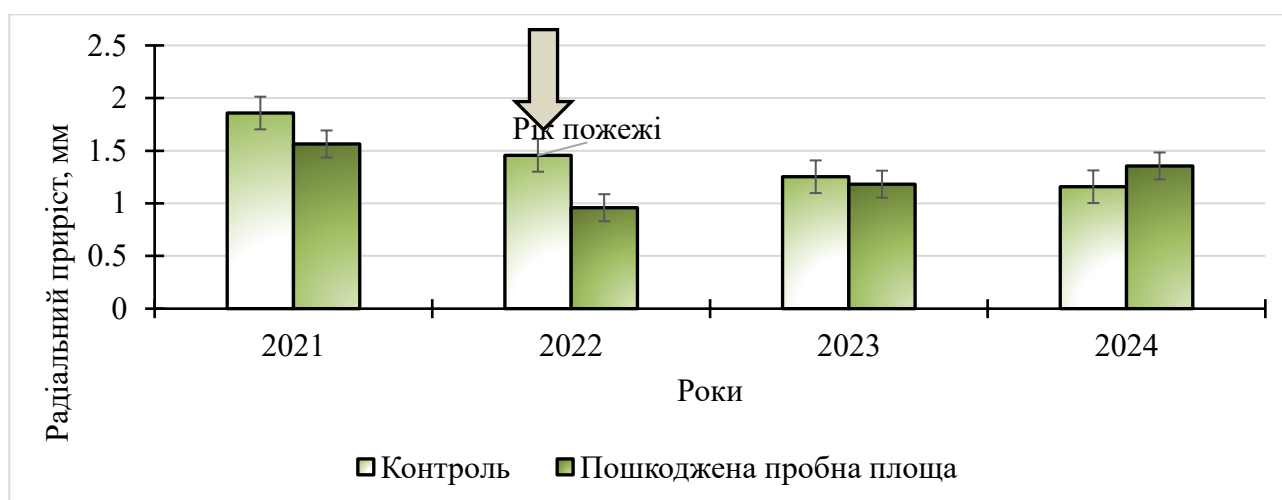


Рис. 5. – Динаміка радіального приросту в сосновому молодняку

Fig. 5 – Dynamics of radial growth in a young Scots pine stand

Перехресне датування показало відсутність річного кільця у рік пожежі в 1 % дерев.

Показники варіативності (дисперсія річного кільця у 2024 р. збільшилася до 1,13 проти 0,50 на контролі) свідчать про перебудову структури фітоценозу на пошкодженій пробній площі (табл. 3).

Таблиця 3

Описова статистика річної деревини на пошкодженій пожежею пробній площі та на контрольній

Table 3

Descriptive statistics of annual ring width in the fire-damaged sample plot and in the control

Статистичні показники Statistics	2021 р.		2022 р.		2023 р.		2024 р.	
	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2	ТПП-1	ТПП-2
Середнє, мм Mean value, mm	1,86	1,56	1,46	0,96	1,25	1,18	1,16	1,36
Стандартна похибка Standard error	0,27	0,22	0,2	0,15	0,2	0,24	0,22	0,34
Стандартне відхилення Standard deviation	0,86	0,69	0,62	0,42	0,75	0,76	0,7	1,06
Дисперсія Variance	0,74	0,47	0,39	0,18	0,56	0,59	0,5	1,13
Мінімум Minimum	0,84	0,5	0,6	0,4	0,38	0,48	0,32	0,4
Максимум Maximum	3,1	2,75	2,25	1,6	2,65	2,9	2,5	4,1

Примітка: ТПП-1 – контроль (непошкоджена пробна площа); ТПП-2 – пошкоджена вогнем пробна площа.
Note. ТПП-1 – control; ТПП-2 – fire-damaged sample plot.

Для оцінювання внутрішньопопуляційних зв'язків у пошкодженому деревостані проведено регресійний аналіз. Залежність індексів радіального приросту від категорій санітарного стану дерев у рік пожежі описує поліноміальна крива третього порядку ($\eta = 0,66$; $R^2 = 0,44$; $t_{\text{факт}} = 2,50 > t_{\text{теор}} = 2,31$ ($\alpha = 0,05$, де η – кореляційне відношення, R – коефіцієнт детермінації)). Це доводить статистичну значущість впливу пірогенного пошкодження органів дерева на його поточний приріст (рис. 6).

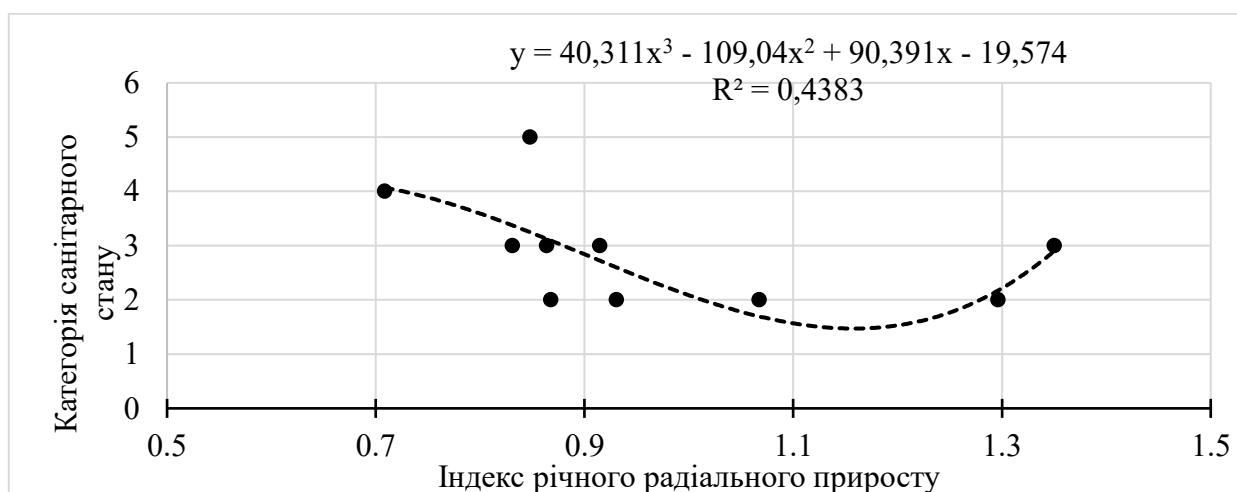


Рис. 6 – Залежність індексів радіального приросту сосни від категорії санітарного стану дерев у пошкодженому пожежею 2022 року насадженні

Fig. 6 – Dependence of Scots pine radial increment indices on the health condition category of trees in the stand damaged by the fire in 2022

Також виявлено регресійну залежність між індексами приросту та діаметром дерев, яку апроксимовано поліноміальним рівнянням третього порядку. Високі значення коефіцієнта детермінації ($R^2 = 0,69$) та кореляційного відношення η ($\eta = 0,83$; $t_{\text{факт.}} = 4,21 > t_{\text{теор.}} = 3,25$)

($\alpha = 0,01$) можуть свідчити про достатньо тісний зв'язок між досліджуваними показниками та про вищу адаптивну здатність та пожежостійкість дерев більших розмірів, як порівняти з пригніченими екземплярами нижчих ступенів товщини (рис. 7).

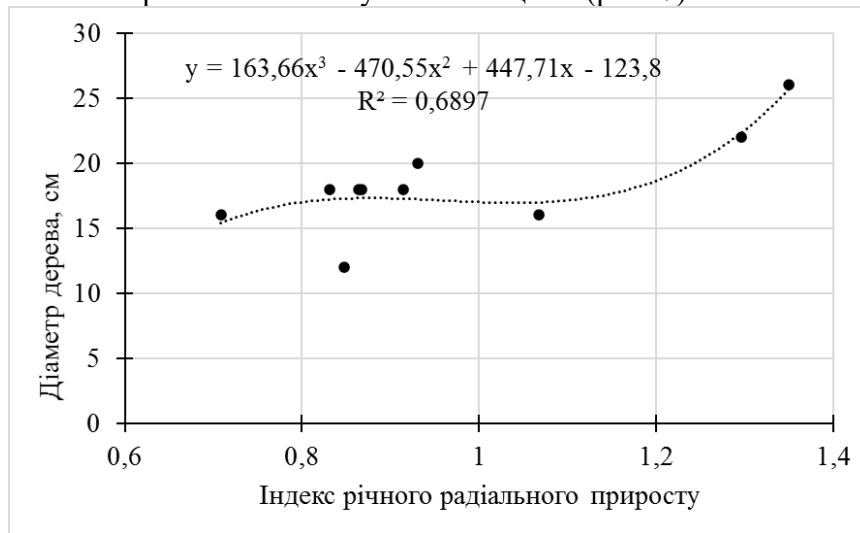


Рис. 7 – Залежність індексів радіального приросту сосни від діаметра дерева в пошкодженому пожежею 2022 року насадженні

Fig. 7 – Dependence of Scots pine radial increment indices on tree diameter in the fire-damaged stand in 2022

Обговорення. Дослідження змін стану сосни звичайної в Іспанії під впливом пожежі 2009 р. показали помітне зниження радіального приросту дерев з 2010 р. (Génova *et al.*, 2022), тобто через рік після пожежі, що узгоджується з результатами нашого дослідження. Також іспанськими дослідниками виявлено, що частина дерев мала відсутнє річне кільце або неповне кільце внаслідок впливу пожежі. У нашому дослідженні також 1 % дерев мали відсутнє річне кільце для 2022 р., тобто для року пожежі.

Під час дослідження впливу низової пожежі різної інтенсивності на санітарний стан і ріст соснових деревостанів Центрального Полісся України виявлено зв'язок між категорією стану дерева та його дефоліацією, обернену помірну кореляцію між станом дерева та його діаметром, а також тісний зв'язок між категорією стану дерева та нижньою висотою нагару. Розроблено математичну модель залежності між станом дерев, діаметром і нижньою висотою нагару на стовбурі (Gumeniuk *et al.*, 2015). У нашому дослідженні виявлено взаємозв'язок між індексами радіального приросту й категоріями санітарного стану та діаметром дерев.

Вплив низових пожеж значною мірою залежить від діаметра дерев. Древа більшого діаметра зазвичай характеризуються вищою вогнестійкістю та мають меншу ймовірність загибелі, оскільки грубіша кора забезпечує кращу термічну ізоляцію камбію від критичного нагрівання під час пожежі. Статистично значущий зв'язок між діаметром стовбура та ступенем пошкодження сосни звичайної після низових пожеж у Поліссі України виявлено у дослідженні Blinkova *et al.* (2025). Аналогічні результати отримано для п'яти видів довголистої сосни, типових для саван (Schafer *et al.*, 2015). Таким чином, діаметр стовбура та товщину кори розглядають як одні з основних предикторів виживання дерев після пожежі в соснових лісах.

Дослідження радіального приросту *Pinus sylvestris* та *Larix gmelinii* у північному лісовому регіоні Китаю, де у 1990 та 2008 рр. сталися лісові пожежі, показали, що ширина річних кілець дерев зменшилася після пожеж. Пригнічення росту могло бути спричинене підвищенням температури та посухою, які були пов'язані з пожежами (Wei *et al.*, 2023). Післяпожежне зменшення радіального приросту сосни звичайної зафіксовано раніше для насаджень Лісостепу України (Koval and Sydorenko, 2019), як і в наших дослідженнях. Це підтверджує ефективність дендрохронологічних методів для оцінювання довготривалого впливу низових пожеж.

Висновки.

1. Низова пожежа квітня 2022 р. Спричинила значний фізіологічний стрес у 30-річному сосновому молодняку, що виявилось меншим значенням загального радіального приросту в рік пожежі на 34 %, зокрема пізньої деревини – на 28 %, ранньої – на 27 %.

2. Порівняно сприятливі для дерев гідротермічні умови року пожежі (достатня кількість опадів) частково пом'якшили первинний вплив вогню. Водночас посушливі умови 2023 р. Подовжили адаптаційний період пошкоджених дерев.

3. На другий рік після пожежі (2024 р.) на пошкодженій ділянці виявлено збільшення ширини шару ранньої деревини на 23 % у порівнянні з контролем. Це пов'язане з інтенсивним відпадом та проведенням санітарних рубок, унаслідок яких було вилучено 57 % дерев. Це призвело до зменшення повноти насадження від 0,7 до 0,3, покращення умов освітлення та збільшення площі живлення для збережених дерев.

4. Після пожежі збільшилася варіабельність радіального приросту, про що свідчить збільшення дисперсії ширини річних кілець, особливо ранньої деревини (у 2024 р. – у 4 рази більше, ніж на контролі), що відображає зміни умов росту внаслідок зрідження насадження.

5. Математичне моделювання підтвердило залежність післяпожежного стану дерев від їхніх морфометричних параметрів ($R^2 = 0,69$). Деревя більшого діаметра характеризувалися вищою стійкістю до низових пожеж завдяки грубішій корі та розвиненішій кореневій системі, тоді як дерева менших діаметрів частіше погіршували стан до IV категорії або всихали відпаду.

6. Деревя, що зберегли життєздатність після низової пожежі, змогли відновити радіальний приріст уже на другий рік після неї.

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

Джерела фінансування. Статтю підготовлено авторами в межах виконання тем досліджень УкрНДІЛГА (№ держреєстрації 0110U001926, № держреєстрації 0115U001202, № держреєстрації 0120U101893), замовником яких було Державне агентство лісових ресурсів України.

ПОСИЛАННЯ –REFERENCES

- Atramentova, L.O. and Utievska, O.M. (2007) *Group comparison and relations analysis: Biometrics*. Part II. Kharkiv: Ranok (in Ukrainian).
- Arguez, A. and Vose, R.S. (2011) 'The definition of the standard WMO climate normal: the key to deriving alternative climate normals', *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92(6), pp. 699–704. <https://doi.org/10.1175/2010BAMS2955.1>
- Balabukh, V.O. and Zibtsev, S.V. (2016) 'Impact of climate change on the number and area of forest fires in the Northern Black Sea region of Ukraine', *Ukrainian Hydrometeorological Journal*, 18, pp. 60–71. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/Uggi_2016_18_9 (Accessed: 3 March 2026) (in Ukrainian).
- Blinkova, O., Raichuk, L. and McDonald, I. (2025) 'First-year post-fire alterations of Scots pine forest: composition, relationships, ecological consequences', *Landscape Ecology*, 40, p. 9. <https://doi.org/10.1007/s10980-024-02022-8>
- Cook, E.R. and Kairiukstis, L.A. (1990) *Methods of dendrochronology: applications in the environmental sciences*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers.
- Fritts, H.C. (1976) *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press.
- Génova, M., Ortega, P. and Sadornil, E. (2022) 'The effects of fire on *Pinus sylvestris* L. as determined by dendroecological analysis (Sierra de Gredos, Spain)', *iForest*, 15, pp. 171–178. <https://doi.org/10.3832/ifor3727-015>
- Gumeniuk, V., Golyaka, D. and Zibtsev, S. (2015) 'Impact of surface fire on pine stands in the Central Polissia zone of Ukraine', *Scientific Bulletin of UNFU*, 25(9), pp. 41–49 (in Ukrainian).
- Holmes, R.L. (1983) 'Computer-assisted quality control in tree-ring dating and measurement', *Tree-Ring Bulletin*, 43, pp. 69–78.
- Koval, I.M. (2023) *Dendrochronological principles of assessment of pine and oak stands in Ukraine*. Kharkiv: Machulin (in Ukrainian).

- Koval, I. and Sydorenko, S. (2019) 'The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in Forest-steppe of Ukraine', *Folia Forestalia Polonica*, 61(2), pp. 123–134. <https://doi.org/10.2478/ffp-2019-0012>
- Kuzyk, A.D. and Tovarianskyi, V.I. (2023) 'Impact of military actions on forest ecosystems of Ukraine and their post-war restoration', *Bulletin of Lviv State University of Life Safety*, 27, pp. 16–22 (in Ukrainian). <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20784643.27.2023.02>
- McLauchlan, K.K., Higuera, P.E., Miesel, J. *et al.* (2020) 'Fire as a fundamental ecological process: Research advances and frontiers', *Journal of Ecology*, 108(5), pp. 2047–2069. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13403>
- Meshkova, V.L. (ed.) (2020) *Methodological guidelines for monitoring, recording and forecasting the spread of forest pests and diseases for the plain part of Ukraine*. Kharkiv: URIFFM. Available at: https://uriffm.org.ua/static/main/files/method_naglyad_oblik_pr_ognoz.pdf (Accessed: 3 March 2026) (in Ukrainian).
- Patsev, I.S., Barabash, O.V. and Patseva, E. (2023) 'Environmental consequences of military actions: impact on forest ecosystems of Zhytomyr region', *Environmental Sciences*, 5(50), pp. 114–118 (in Ukrainian). <https://doi.org/10.32846/2306-9716/2023.eco.5-50.16>
- Piha, A., Kuuluvainen, T., Lindberg, H. and Vanha-Majamaa, I. (2013) 'Can scar-based fire history reconstructions be biased? An experimental study in boreal Scots pine', *Canadian Journal of Forest Research*, 43(7), pp. 669–675. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0471>
- Sanitary Forests Regulations in Ukraine* (1995). Resolution of the Cabinet of Ministers of Ukraine No.1730 dated 24 December -2025. Available at: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/555-95-п> (Accessed 3 March 2026) (in Ukrainian).
- Schafer, J.L., Breslow, B.P., Hohmann, M.G. and Hoffmann, W.A. (2015) 'Relative bark thickness is correlated with tree species distributions along a fire frequency gradient', *Fire Ecology*, 11(1), pp. 74–87. <https://doi.org/10.4996/fireecology.1101074>
- Seifert, T., Meincken, M. and Odhiambo, B.O. (2017) 'The effect of surface fire on tree ring growth of *Pinus radiata* trees', *Annals of Forest Science*, 74(2), 34. <https://doi.org/10.1007/s13595-016-0608-8>
- Speer, J.H. (2010) *Fundamentals of tree-ring research*. Tucson: University of Arizona Press.
- Voron, V.P., Koval, I.M., Sydorenko, S.H., Melnyk, Ye.Ye., Bolohov, O.Yu., Tkach, O.M. and Tymoshchuk, I.V. (2020) *Recommendations for measures to improve the fire resistance of forests and methods for predicting their post-fire development*. Kharkiv: URIFFM. Available at: <https://forest.gov.ua/storage/app/sites/8/perelik-dokumentiv-shcho-shvaleni-naukovo-tehnichnoyu-radoyu/t7recommendationsforestsfireresistance.pdf> (Accessed: 11 August 2025) (in Ukrainian).
- Voron, V.P., Koval, I.M., Sydorenko, S.H., Melnyk, Ye.Ie., Tkach, O.M., Borysenko, V.H., Tymoshchuk, I.V. and Bolohov, O.Iu. (2021) *Pyrogenic transformation of Ukraine's pine forests*. Kharkiv: Planeta-Print. Available at: <https://uriffm.org.ua/uk/monographs/19> (Accessed: 3 March 2026) (in Ukrainian).
- Water UK (2012). The hydrological year. Available at: <https://web.archive.org/web/20171201033308/https://www.water.org.uk/publications/policy-positions-and-briefings/hydrological-year> (Accessed: 16 May 2026)
- Wei, M., Guo, X., Ma, Y., Tigabu, M., Zheng, W., Liu, M. and Guo, F. (2023) 'Impact of forest fire on radial growth of tree rings and their element concentrations of *Pinus sylvestris* and *Larix gmelinii* in northern China', *Frontiers in Forests and Global Change*, 6, article 1136039. <https://doi.org/10.3389/ffgc.2023.1136039>
- Zibtsev, S. Soshenskyi, O., Gumeniuk, V. and Koren, V. (2019) 'Long term dynamic of forest fires in Ukraine', *Ukrainian Journal of Forest and Wood Science*, 10(3), pp. 27–40. <https://dx.doi.org/10.31548/forest2019.03.027> (in Ukrainian).

SCOTS PINE RADIAL GROWTH RESPONSE TO SURFACE FIRE IN YOUNG STANDS IN ZHYTOMYR POLISSIA

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

The features of radial growth response of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in 30-year-old stands in Zhytomyr Polissia to a surface fire in 2022 were studied in fresh relatively poor site conditions (B₂) on fire-damaged and intact sample plots. Wood cores were extracted using a Pressler increment borer. The widths of earlywood, latewood, and annual rings were measured with an accuracy of 0.01 mm. It was established that in the year of the fire, the annual radial growth decreased by 34%, earlywood width by 27%, and latewood width by 28%. The dry conditions of 2023 exacerbated post-fire stress and slowed tree recovery. In the second year after the fire, an increase in earlywood growth was recorded due to a reduction in stand density and improved nutrient conditions. A statistically significant relationship was found between growth indices, tree diameter, and categories of their health condition. Trees that survived the surface fire in the damaged young pine stand were able to recover radial growth in the second year after the fire.

К е у о р д с : dendrochronology, *Pinus sylvestris* L., pyrogenic impact, earlywood, latewood, annual wood, stand health condition.

Дата надходження рукопису 03.04.2026

Дата прийняття до друку 15.05.2026

Дата публікації 29.05.2026

¹ Koval Iryna, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: Koval_Iryna@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6328-1418>

² Andreieva Olena, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Polissia National University, 7 Saryi Blvd., Zhytomyr, 10008, Ukraine. E-mail: andreeva-lena15@ukr.net, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0851-800X>

³ Voron Volodymyr, Dr. habil. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: 52corvus@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0006-1059-3032>

⁴ Melnyk Yevhen, PhD. (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: wudckij1985@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9821-2751>

⁵ Sydorenko Serhii, PhD (Agricultural Sciences), Senior Researcher, Ukrainian Research Institute of Forestry and Forest Melioration named after G.M. Vysotsky, 86 Hryhoriia Skovorody Street, Kharkiv, 61024, Ukraine. E-mail: serhii88sido@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5972-0067>

⁶ Volchenko Anna, V. N. Karazin Kharkiv National University, 6 Svobody Square, Kharkiv, 61022, Ukraine. E-mail: annavolcenko583@gmail.com, ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-3491-8389>

*Correspondence: koval_iryana@ukr.net