DOI: https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13
УДК (UDC): 630*561.24

І. М. КОВАЛЬ, д -р. с.-г. наук, ст. наук. співроб.,
провідний науковий співробітник сектору екології лісу відділу лісівництва
та економіки лісового господарства
e-email: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
Український науково-дослідний інститут лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького,
вул. Григорія Сковороди, 86, м. Харків, Україна 61024

В. В. ГОЛОЛОБОВ,
аспірант кафедри екологічного моніторингу та заповідної справи
e -mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009-0009-0086-0303
Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна,
майдан Свободи, 4, м. Харків, 61022, Україна

РЕАКЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ НА ЗМІНИ КЛІМАТУ В НАСАДЖЕННІ ДЕНДРОПАРКУ БІОТЕХНОЛОГІЧНОГО УНІВЕРСИТЕТУ В м. ХАРКІВ

Мета. Виявити особливості реакції радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженні, яке росте в Дендропарку Біотехнологічного університету в м. Харків

Методи. Польові лісівничі, дендрохронологічні, статистичні та методи кореляційного аналізу.

Результати. Буравом Пресслера відібрано 11 кернів з стовбурів дерев. За допомогою приладу HENSON виміряно шари пізньої, ранньої та пізньої деревини. Створено індексну локальну деревно-кільцеву хронологію. Методом 3-річної ковзної видалено біологічний (віковий) тренд. Проведено кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками (опадами та температурами з червня попереднього року по серпень поточного). На тлі підвищення температури виділено три періоди розвитку соснового насадження за показниками пізньої, ранньої та річної деревини. Пізня деревина виявилася найбільш варіабельною порівняно з річною та ранньою деревиною. Встановлено, що відбулося ослаблення соснового насадження упродовж третього періоду. Про це свідчать найбільша кількість значущих кореляційних зв'язків між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками

Висновки. Дендрокліматичні дослідження середньовікового соснового насадження в лісостеповій зоні для трьох періодів: 1979-1993, 1974-2008 та 2009-2022 рр., показали ослаблення насадження упродовж третього періоду, про що свідчить найбільша кількість значущих кореляцій між радіальним ростом сосни та кліматичними факторами. Виявлено, що упродовж 2018-2022 рр. спостерігалася стабілізація радіального росту сосни, тобто не було зниження тренду радіального приросту дерев, що свідчить про ймовірну адаптацію сосни до зміни клімату на цьому етапі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: *рання деревина, пізня деревина, річна деревина, сосна звичайна, температура, опади, зміна клімату*

Як цитувати: Коваль І. М., Гололобов В. В. Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату в насадженні Дендропарку Біотехнологічного університету в м. Харків. *Людина та довкілля. Проблеми неоекології.*2025. Вип. 44. С. 174-185. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13

In cites: Koval, I. M. & Gololobov, V. V. (2025). The response of radial growth of scots pine to climate change in the planting of the Arboretum of the Biotechnological University in Kharkiv. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (44), 174-185. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2025-44-13 (in Ukrainian)

© Коваль І. М., Гололобов В. В., 2025

This is an open access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License 4.0

Вступ

Ліси є важливим компонентом наземних екосистем, які не лише забезпечують ресурси для діяльності людини, але й відіграють незамінну роль у пом'якшенні кліматичного потепління та захисті довкілля [1]. Сосна звичайна (*Pinus Syslvestris* L.) є основною лісотвірною породою в Україні, площа насаджень якої становить 35 % від загальної площі лісів [2]. Упродовж 2010-2020 рр. стан соснових насаджень не тільки погіршився, а й скоротилася їхня площа більш ніж удвічі [3].

Зміна клімату у вигляді зростання частоти та інтенсивності тривалих посух, хвиль спеки, вторинних стресових факторів (комахи та хвороби, пожежі тощо) та інших екстремальних погодних явищ негативно впливають на лісові насадження [4, 5], тобто знижують життєздатність дерев або безпосередньо призводять до порушення лісових екосистем [6]. Кліматичні моделі для 21 століття прогнозують підвищення середньорічної температури від 1,5◦C до 2,5 ◦C упродовж десятиліття, тоді як кількість опадів значно зменшиться [7]. У контексті глобального потепління та посилення антропогенного навантаження на довкілля фенологія та просторовий розподіл деревних видів змінилися за останні десятиліття [8], що призвело до змін у продуктивності лісів, біорізноманітті, структурі та функціях лісових екосистем [9].

Кільця дерев ідеально підходять для вивчення динаміки росту дерев, оскільки дерева живуть упродовж тривалого періоду, зустрічаються по всьому світу та надають дані з щорічною роздільною здатністю щодо реакції дерев на зміну клімату, про вплив локальних умов (властивості грунтів, промислове забруднення, рекреацію тощо) на приріст [10]. Зазвичай температура та опади мають більший вплив на радіальний приріст дерев, ніж інші фактори [11]. Дослідження радіального приросту дерев показало не тільки негативний вплив зміни клімату на їх стан, а й виявили проблему розбіжності між посухою з високою температурою та нерівномірним розподілом опадів у Європі. Початком цієї розбіжності можна вважати 1980-ті роки [7]. Зв'язок між шириною річних кілець та значними відхиленнями від середніх літніх та зимових температур свідчить про те, що ці відхилення певною мірою пов'язані зі зниженням радіального приросту дерев [12]. У попередніх дослідженнях виявлено, що формування деревних кілець у насадженнях, що ростуть в умовах помірного клімату, лімітується температурами вегетаційного періоду, ранньої весни та зими, а також кількістю опадів за вегетаційний та холодний періоди [13-15].

Отже, для розуміння механізмів реакції лісів на зміну клімату має велике значення для сталого управління лісами, охорони довкілля та розробки стратегій пом'якшення кліматичного потепління [16]. В останні роки дендрохронологія стала ефективним інструментом для вивчення глобальної зміни клімату, оскільки вона надає інформацію про довгостроковий стан росту дерев з високою роздільною здатністю в часі (тобто, щорічний приріст) [17]. Для моніторингу лісових екосистем радіальний приріст дерев є надзвичайно важливим, тому що він є інтегральним показником, який відображає стан дерев. Дендрохронологічні методи дозволяють також встановити можливість адаптації тих чи інших деревних порід на зміни клімату на даному етапі розвитку деревостану [18].

Мета дослідження – виявити особливості реакції радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженні, яке росте в Дендропарку біотехнологічного університету в м. Харків

Об'єкти та методи дослідження

Дендропарк Державного біотехнологічного університету є об'єктом природно-заповідного фонду загальнодержавного значення в Харківській області, який було засновано навесні 1972 року. У зоні відпочинку у 1972 р. висаджено великими куртинами близько двох тисяч сіянців. сосни звичайної (*Pinus Syslvestris* L.) Клімат помірно-континентальний з нестабільною вологістю. Середньорічна температура повітря становить +6,5°C, середньорічна кількість опадів – 520 мм. За ґрунтово-кліматичними умовами це південна частина Лівобережного лісостепу. Тип лісорослинних умов – свіжий сугруд. Ґрунти – типові чорноземи [19].

Застосовано лісівничі [20], дендрохронологічні [21], статистичні методи та методи

кореляційного аналізу [22]. В 50-річному сосновому насадженні (N 49º53´43″, E 36º27´11″) відібрано 11 кернів буравом Пресслера із стовбурів дерев на висоті 1,3 м від рівня поверхні. Шари ранньої та пізньої деревини виміряно приладом HENSON. Створено локальні деревно-кільцеві хронології для пізньої, ранньої та річної деревини шляхом осереднення індивідуальних хронологій. Наступним кроком було створення індексних локально-деревних хронологій шляхом згладжування абсолютних значень радіального приросту 3-х річною ковзною. Дендрокліматичний аналіз проведено з використанням графічного аналізу та кореляційного аналізу між індексними деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками за 1978-1993, 1994-2008 та 2009-2023 рр. Використано метеодані Харківської метеостанції.

Норму радіального приросту та кліматичних чинників обчислювали як середнє значення за 1978-2023 рр. [18].

Результати дослідження

Із індивідуальних деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної створено локальні деревно-кільцеві хронології ранньої, пізньої та річної деревини. На фоні невпинного зростання температури виділено три періоди розвитку соснового насадження: 1978-1993 рр. – максимальний радіальний приріст сосни, 1994-2008 рр. – роки поступового зменшення радіального приросту дерев та 2009-2023 рр. – період значного зниження приросту. Температура за гідрологічний стрімко збільшувалася упродовж досліджуваного періоду. Так за перший період її середньорічне значення становило 7,7ºС, за другий – 8,5 ºС, а за третій – 9,8 ºС при нормі 8,6ºС (рис. 1). Тобто у першому періоді температури були нижче норми на 10%, у другому періоді –на 1%, а у третьому навпаки перевищеняя склало 13% від норми.

Норма, тобто середнє пізньої деревини за 1978-2023 рр. становила 0,92 мм, у другому періоді відхиленні від норми для пізньої деревини становило 11%, а у третьому – 50%.

Для пізньої, ранньої та річної деревини для всіх трьох періодів характерна значна мінливість, приросту тому що коефіцієнт

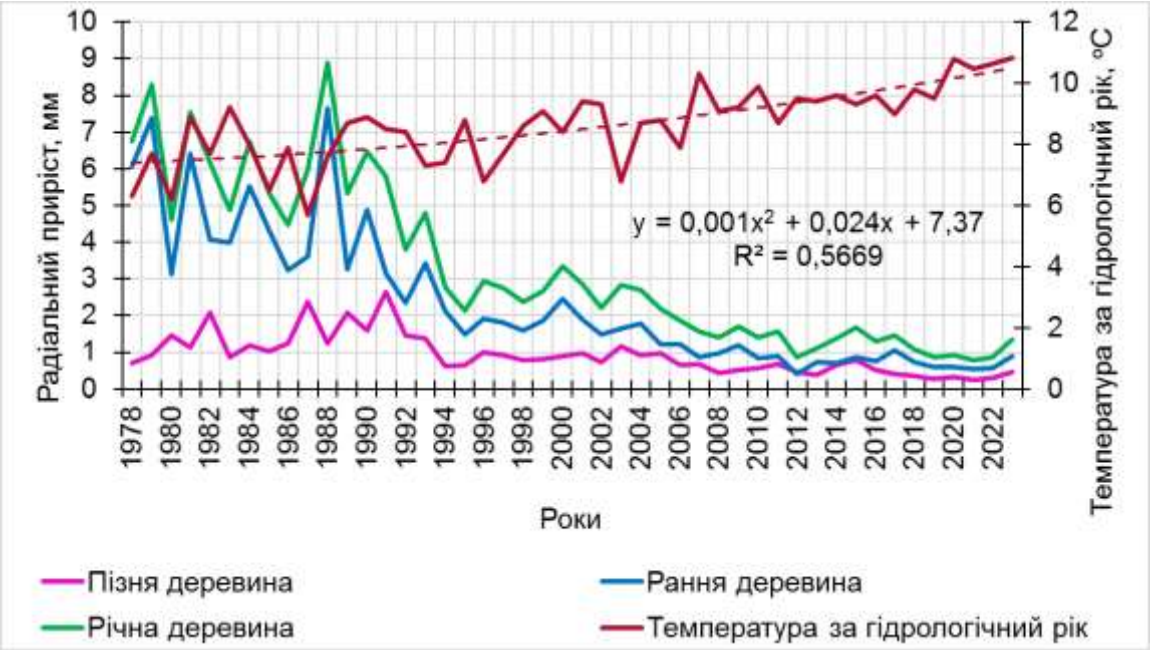


Рис. 1 – Динаміка ранньої, пізньої та однорічної деревини сосни звичайної в насадженні дендропарку Державного Біотехнологічного університету та температура гідрологічного року за даними Харківської метеостанції (N 50°00′47″ E 36°13′59″)

Fig. 1 – Dynamics of early, late and annual wood of Scots pine in the stand of the Arboterum of the State Biotechnological University and the temperature of the hydrological year according to the data of the Kharkiv weather station (N 50°00′47″ E 36°13′59″)

варіації перевищує 20% [20]. Найбільшу варіабельність шарів ранньої, пізньої та річної деревини встановлено для першого періоду (1978-1993 рр.) – 34-36%, пізніше варіабельність радіального приросту дещо зменшилася і коефіцієнт варіації коливався в межах 22-26% за винятком пізньої деревини, для якої коефіцієнт варіації для 2009-2003 рр. становив 35%. Тобто пізня деревина виявилася найбільш варіабельною порівняно з річною та ранньою деревиною. Норма для ранньої деревини становила 2,35 мм, а відхилення від норми упродовж 1994-2023 рр. була меншою на 68-74%. Для річної деревини норма становила 3,38 мм, а в другому періоді відхилення від норми було меншим на 28%, а у третьому – на 64% (табл. 1).

Температура. Кореляційним аналізом встановлено, що у 1979-1993 рр. у червні-серпні попереднього року вплив температур на радіальний приріст поточного року був позитивним, а для пізньої та річної деревини – негативним. У наступному періоді вплив температур за червень-серпень став позити-

Таблиця 1

Описова статистика радіального приросту сосни звичайної у насадженні Дендропарку біотехнологічного університету

Table 1

Descriptive statistics of radial growth of Scots pine in the plantation of the Arboretum of the Biotechnological University

Показник / Indicator	1978-1993 рр.	1994-2008 рр.	2009-2023 рр.
Пізня деревина / Late wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	1,51±0,14	0,82±0,05	0,46±0,04
Стандартне відхилення / Standard deviation	0,54	0,19	0,16
Дисперсія вибірки / Sample variance	0,29	0,04	0,03
Мінімум, мм / Minimum, mm	0,87	0,42	0,24
Максимум, мм / Maximum, mm	2,65	1,17	0,80
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	35,81	23,43	35,15
Рання деревина / Early wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	4,53±0,41	1,62±0,11	0,76±0,05
Стандартне відхилення / Standard deviation	1,62	0,43	0,21
Дисперсія вибірки / Sample variance	2,62	0,18	0,04
Мінімум, мм / Minimum, mm	2,34	0,88	0,41
Максимум, мм / Maximum, mm	7,66	2,45	1,18
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	35,81	26,42	27,10
Річна деревина / Year-round wood			
Середнє/ помилка, мм / Mean/ error, mm	5,99±0,35	2,44±0,14	1,22±0,08
Стандартне відхилення / Standard deviation	1,41	0,54	0,31
Дисперсія вибірки / Sample variance	2,01	0,29	0,10
Мінімум, мм / Minimum, mm	3,81	1,40	0,78
Максимум, мм / Maximum, mm	8,90	3,35	1,70
Коефіцієнт варіації / Coefficient of variation	33,53	22,19	25,72

вним для всіх видів деревини, а для серпня негативний вплив пом'якшився. У наступному періоді (2009-2023 рр.) вплив серпневих температури попереднього року став позитивним. Температури жовтня попереднього року негативно впливали на величину шарів всіх видів деревини упродовж всього періоду. Упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року по серпень поточного року) для першого та другого періодів встановлено, в основному, негативний вплив температур на приріст, який посилився у другому періоді. у третьому цей вплив температур дещо послабився. Характерною рисою впливу температур холодного періоду у другому періоді є значущий негативний вплив грудневих температур попереднього року на приріст ранньої деревини. У третьому періоді значущий негативний вплив на приріст відмічено раніше – у листопаді попереднього року. У першому періоді температури вегетаційного періоду (з квітня по серпень), головним чином, негативно впливали на ранню деревину. У другому періоді встановлено значущий позитивний зв'язок між травневою температурою та ранньою деревиною. У третьому періоді температури обмежували радіальний приріст сосни звичайної з квітня по серпень. Однак березневі температури мали в третьому періоді позитивний вплив на річний приріст деревини (рис. 2).

Опади. Норму опадів за вегетаційний період (квітень-серпень), яка становила 262 мм, обчислено за 1979-2022 рр. У 1979-1993 рр. середня кількість опадів упродовж вегетації склала 274 мм, у 1994-2008 рр. – 270 мм, а у 2009-2023 – 245 мм. Тобто у першому періоді за відповідний термін опадів випало на 7% вище норми, у другому – на 3% вище норми, а у третьому – на 7% менше норми. Норма зимових опадів становила 127 мм, середня сума опадів у першому періоді становила 127 мм, у другому – 123 мм, а у третьому – 132 мм. Тобто у першому періоді кількість опадів відповідала нормі, у другому періоді взимку випало на 4% менше норми, а у третьому періоді – на 7% вище норми.

Вплив опадів на радіальний приріст сосни звичайної збільшився у 2009-2022 рр. порівняно з 1994-2008 рр. У третьому періоді встановлено значущий позитивний вплив серпневих опадів попереднього року на радіальний приріст поточного року та значущий негативний вплив січневих опадів на ранню та річну деревину, а також негативний вплив опадів серпня на річну деревину. У 1979-1993 рр. опади попереднього року за червень-листопад переважно негативно впливали на радіальний приріст, у наступні 1994-2008 рр. цей вплив був переважно позитивним у червні-листопаді, у 2009-2022 рр. вплив опадів за серпень-листопад попереднього року був, головним чином, також позитивним.

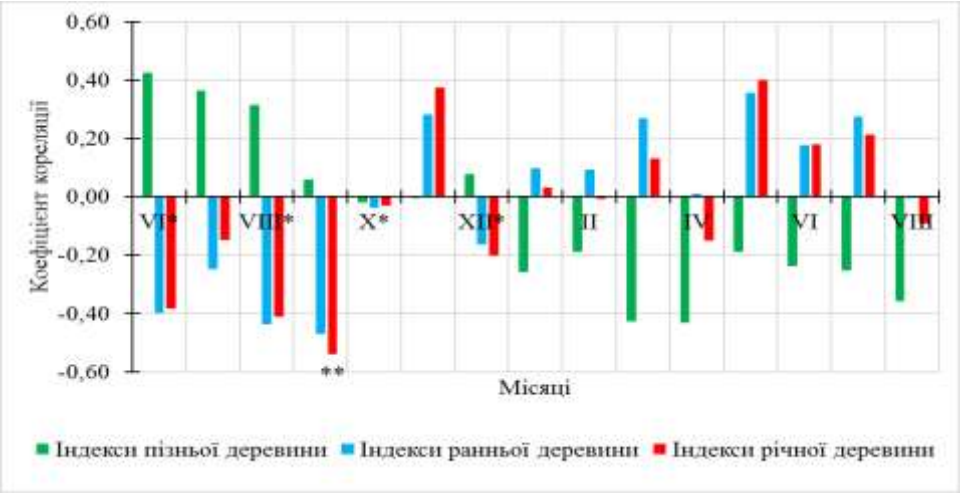
У першому періоді упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року по березень поточного року) вплив опадів на приріст був переважно позитивним за винятком лютого, коли спостерігався значущий негативний вплив опадів на пізню деревину.

У другому періоді цей позитивний вплив дещо посилився, головним чином за винятком пізньої деревини.

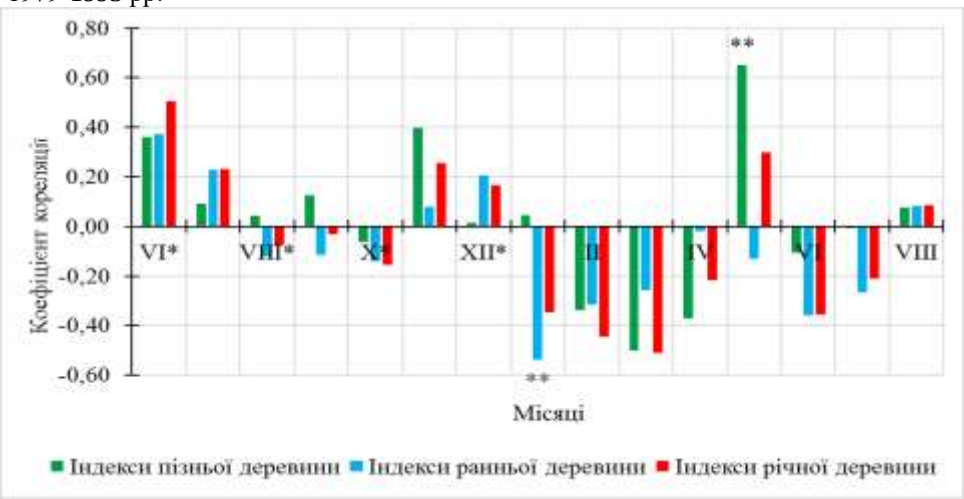
У третьому періоді позитивний вплив опадів упродовж даного періоду знизився і до того ж вплив опадів упродовж січня значуще негативно вплинув на приріст пізньої та річної деревини. Вплив опадів упродовж вегетаційного періоду позитивно впливав на приріст упродовж липня-серпня поточного року у перший період, навіть встановлено значущий позитивний вплив липневих опадів на річну деревину. У другому періоді упродовж травня-серпня встановлено позитивний вплив на всі види деревини. А у серпні третього періоду (2009-2022 рр.) встановлено негативний вплив опадів на річну деревину (рис. 3).

Отже, у 1978-1993 рр. температури вегетаційного періоду попереднього року (червень-серпень), обмежували приріст ранньої та річної деревини поточного року, а у наступні періоди 1994-2022 рр. цей вплив ослабився. У 2008-2022 рр. температури березня-серпня більше обмежували радіальний приріст сосни в порівнянні з 1979-1993 рр.

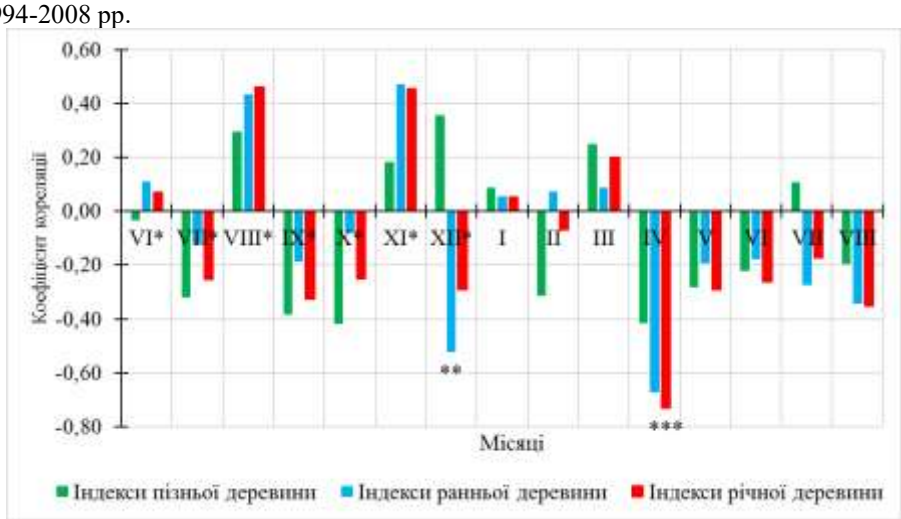
Відсутність стійкого снігового покриву, пов'язаного із потеплінням взимку, у третьому періоді, ймовірно, призвела до зменшення волого-накопичення в ґрунті, тому незначне збільшення опадів взимку не змогло компенсувати достатню кількість вологісті в ґрунті і тому опади грудня попереднього року та січня поточного року почали обмежувати радіальний приріст сосни звичайної у третьому періоді.



А) 1979-1993 рр.



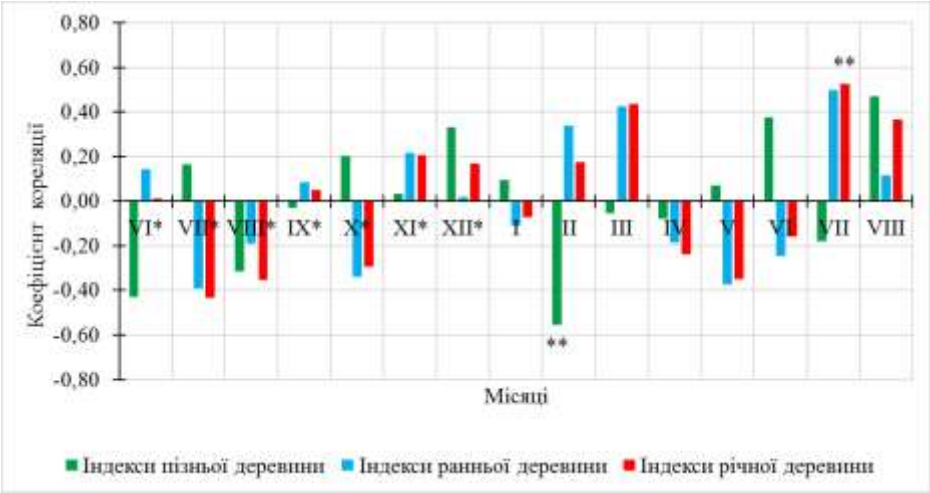
Б) 1994-2008 рр.



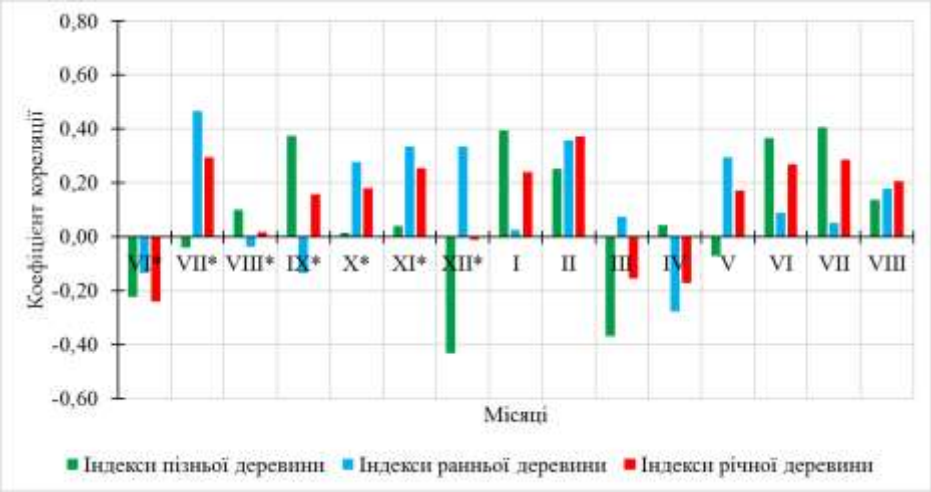
В) 2009-2022 рр.

Рис. 2 – Кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини сосни звичайної і температурами. Примітка: * – місяці попереднього року; ** – значущість на рівні 0,05; ***– значущість на рівні 0,01

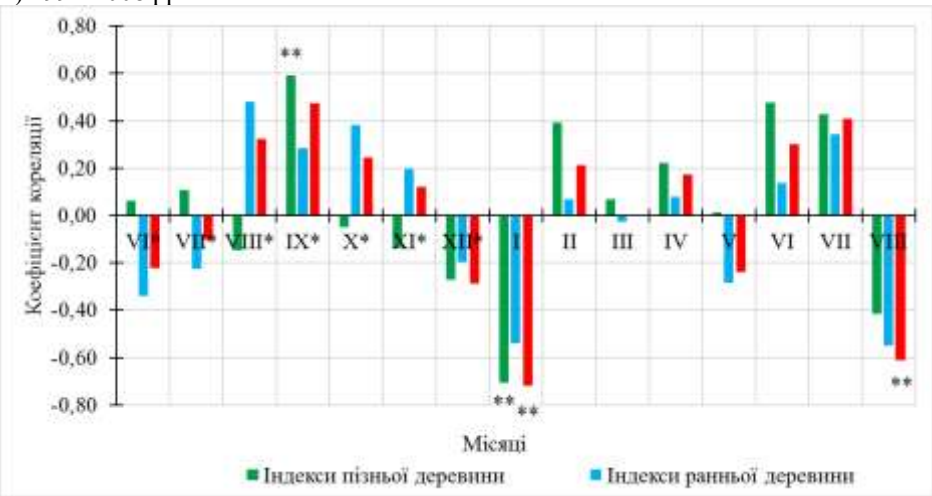
Fig. 2 – Correlation analysis between tree-ring chronologies of early, late and annual wood and temperatures. Note: * – months of the previous year; ** – significance at the 0.05 level ***– significance at the 0,01 level



А) 1979-1993 рр.



Б) 1994-2008 рр.



В) 2009-2023 рр.

Рис. 3– Кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини і опадами. Примітка: * – місяці попереднього року; ** – значущість на рівні 0,05

Fig. 3. – Correlation analysis between tree-ring chronologies of early, late and annual wood and precipitation. Note: * – months of the previous year; ** – significance at the 0.05 level

Обговорення

Взаємозв'язок між кліматом і ростом дерев можна використовувати для оцінки впливу потенційної регіональної зміни клімату на ріст дерев. Вплив кліматичних факторів на ріст корсиканської сосни, що росте на низьких висотах на кислих добре дренованих ґрунтах у західній Франції, було оцінено шляхом порівняння річних індексів ранньої деревини, пізньої деревини та річної деревини з щомісячними даними про температуру та опади, за період 1922-1991 рр. Аналіз реперних років та кліматичні моделі показали, що літня посуха була основним лімітуючим фактором росту в досліджуваному районі. Зимовий фотосинтез та випередження термінів відновлення камбіальної активності були можливими причинами позитивної зимової температурної кореляції з ранньою деревиною у Франції. Збільшуючи літній водний стрес, стабільне зростання може призвести до зменшення росту та, ймовірно, до скорочення лісів у наступні роки.

Ці результати слід враховувати при прогнозуванні можливих реакцій корсиканських соснових насаджень на глобальні зміни [23]. В наших дослідженнях встановлено, що якщо у 1979-2008 рр. вплив температур на приріст був в окремі роки як позитивним так і негативним, а у 2009-2022 рр. цей вплив був чітко негативним упродовж квітня-серпня. У наших дослідженнях підвищення зимової температури навпаки – стало негативно впливати на приріст дерев з часом. Так, у 1994-2008 рр. встановлено значущий негативний вплив температур січня на приріст ранньої деревини, а у 2009-2022 рр. цей значущий негативний вплив на шари ранньої деревини встановлено раніше – для грудня попереднього року.

Edward Cook [12] досліджував виникнення екстремумів у серпневих та грудневих температурних рядах попереднього року та їх вплив на радіальний приріст зникаючої червоної ялини (*Picea rubens* Sarg.) яка росте в Аппалачських горах Північної Америки. Позитивні відхилення серпня та грудня (зі зворотним знаком) вказують на кліматично стресові періоди, які можуть призвести до зниження радіального приросту наступного літа. Період всихання дерев 1870-х та 1950-их років, демонструє поєднання сильного серпневого та грудневого стресів (Cook, 1987). У наших дослідженнях у 2009-2022 рр. встановлено позитивний вплив серпневих температур та негативний вплив грудневих температур попереднього року, що негативно вплинуло на приріст всіх видів деревини у наступному році.

При дослідженні впливу змін клімату на радіальний приріст сосни в Лівобережному степу на прикладі 100-річного соснового насадження ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» встановлено, що при порівнянні 1960-1988 та 1988-2016 рр. виявлено, що якщо для першого періоду характерний позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст, то для другого періоду вони починають обмежувати приріст. Незначне збільшення кількості опадів за вегетаційний період у другому періоді не змогло пом’якшити вплив високих температур на радіальний приріст дерев [24]. У наших дослідженнях квітня-серпня у 1979-2008 рр. вплив температур був як позитивним так негативним упродовж даного періоду, а у 2009-2022 рр. цей вплив став негативним для ранньої, пізньої та річної деревини.

В насадженнях ВП НУБіП України «Боярська ЛДС», встановлено, що основними чинниками, що впливають на обмеження радіального приросту сосни звичайної є екстремальні температури під час вегетаційного періоду та зміну гідрологічного режиму, який погіршився у зв’язку з тим, що кількість опадів упродовж вегетаційного періоду зменшилась [25]. Наприклад, відхилення від норми за окремі місяці вегетаційного періоду коливалися в межах 32-40%. У наших дослідженнях для третього періоду характерне підвищення температур за вегетаційний період і деяке зменшення кількості опадів упродовж цього періоду. Взимку кількість опадів навпаки – збільшилася. Тобто відбувся сезонний переділ опадів.

Висновки

Дендрокліматичні дослідження середньовікового соснового насадження в лісостеповій зоні для трьох періодів: 1979-1993, 1974-2008 та 2009-2022 рр., показали ослаблення насадження упродовж третього періоду, про що свідчить найбільша кількість значущих кореляцій між радіальним ростом сосни та кліматичними факторами. Виявлено, що упродовж п’яти років (2018-2022 рр.) спостерігалася стабілізація радіального росту сосни, тобто не було зниження тренду радіального приросту дерев. Це свідчить про ймовірну адаптацію сосни до зміни клімату на цьому етапі.

Конфлікт інтересів

Автори заявляють, що конфлікту інтересів щодо публікації цього рукопису немає. Крім того, автори повністю дотримувались етичних норм, включаючи плагіат, фальсифікацію даних та подвійну публікацію.

Внесок авторів: автори зробили рівний внесок у цю роботу

В роботі не використано ресурс штучного інтелекту.

Список використаної літератури

1. Brockerhoff E. G., Barbaro L., Castagneyro B., Forrester D. I., Gardiner B., Jose´ Ramo´n Gonza´lez-Olabarria, Lyver Ph. B., Meurisse N., Oxbrough A., Hisatomo Taki H., Thompson I.D., Plas F., Jactel H. Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*. 2017. Vol. 26 No 13. P. 3005–3035. https:// doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2
2. Крамарець В. О., Криницький Г. Т., Король М. М., & Лавний В. В. Адаптація соснових насаджень до змін клімату (на прикладі філії "Рава-Руське ЛГ). *Науковий вісник НЛТУ України***.** 2023. Вип. 33(6). С. 13–21. https://doi.org/10.36930/40330602
3. Meshkova V. The Lessons of Scots pine Forest Decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*. 2021Vol. 3. P. 28. https://doi.org/10.3390/IECF2020- 07990
4. Cohen W.B.; Yang Z., Stehman S.V., Schroeder T.A., Bell D.M., Masek J.G., Huang C., Meigs G.W. Forest Disturbance across the Conterminous United States from 1985–2012: The Emerging Dominance of Forest Decline. 2016. *Forest Ecology and Management*. Vol. 360. P. 242–252. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042
5. Seidl R., Thom D., Kautz M, Martin-Benito D., Peltoniemi M., Vacchiano, G., Wild, Ja., Ascoli D., Petr M. Honkaniemi Ju., Lexer M.J., Trotsiuk V., Mairota P., Svoboda M., Fabrika M., Nagel T. A., and Reyer Ch. Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*. 2017. Vol. 7. P. 395–402. https://doi.org/10.1038/nclimate3303
6. Allen C.D., Macalady A. K., Chenchouni H., Bachelet D., McDowell N., Vennetier M., Kitzberger T., Rigling A., Breshears D.D. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*. 2010. Vol. 259. P. 660–684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001
7. Brichta J., Šimunek V., Bílek L., Vacek Z., Gallo J., Drozdowski S., Bravo-Fernández J.A., Mason B.; Roig Gomez S.,Hájek V. Vacek S., Štícha V., Brabec P., & Fuchs Z. Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*. 2024. Vol. 15. 91. https://doi.org/10.3390/f15010091
8. Schwab N., Kaczka R. J., Janecka K., Böhner J., Chaudhary R. P., Scholten T., & Schickhoff U. Climate Change-Induced Shift of Tree Growth Sensitivity at a Central Himalayan Treeline Ecotone. 2018. *Forests.* Vol. 9. No 5. 267. https://doi.org/10.3390/f9050267
9. Clark J.S., Iverson L., Woodall C.W., Allen C.D., Bell D.M., Bragg D.C., D'Amato A.W., Davis F.W., Hersh M.H., I. Ibanez S.T., Jackson S.M., Matthews S., Peterson N., Schwartz M.W., Waring K.M., Zimmermann N.E. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States *Global Change Biology*. 2016. Vol. 22. No 7. P. 2329–2352. https://doi.org/10.1111/gcb.13160
10. Griesbauer H.P., Klassen H., Saunders S.C., Spittlehouse D.L. Variation in climate-growth relationships for Douglas-fir growth across spatial and temporal scales on southern Vancouver Island, British Columbia. *Forest Ecology and Management.* 2019. Vol. 444. P. 30–41. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.014Get rights and content
11. Żywiec M., Muter E., Zielonka T., Delibes M., Calvo G., Fedriani J.M. Long-term effect of temperature and precipitation on radial growth in a threatened thermo-Mediterranean tree population. *Trees: Structure and Function.* 2017. Vol. 31. No 2. P. 491–501. https://doi.org/10.1007/s00468-016-1472-8
12. Cook E. R., Johnson A. H., Blasing T. J. Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology*. 1987. Vol. 3. P. 27–40. https://doi.org/10.1093/treephys/3.1.27
13. Прокопук Ю.С., Конякін С.М., Нецветов М.В. Вплив кліматичних чинників на радіальний приріст *Tilia cordata* (*Malvaceae s. l. / Tiliaceae* s. str.) у лісових біотопах Києва. *Український ботанічний журнал*. 2020. Вип. 77(4). С. 294–304. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.04.294
14. Коваль І.М., Бологов О.В., Нусбаум С.А., Юзвинський Г.А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2015. Вип. 126. С. 202-211. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2015_126_27

15. Шишканинець І.Ф., Мазепа В.Г. Вплив клімату на радіальний приріст бука в середньовікових деревостанах у верхів'ї басейну річки Латориця. *Лісівництво і агролісомеліорація*. 2018. Вип. 133. С. 112–118. https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.112
16. Keenan, R.J. Climate Change Impacts and Adaptation in Forest Management: A Review. *Annals of Forest Science*. 2015. Vol. 72. P. 145-167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5
17. Huang, X., Dai, D., Xiang, Ya., Yan, Zha., Teng, M., Wang, P., Zhou, Zhi., Zeng, L., & Xiao, W. Radial growth of Pinus massoniana is influenced by temperature, precipitation, and site conditions on the regional scale: A meta-analysis based on tree-ring width index. *Ecological Indicators.* 2021. Vol. 126, № 107659. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107659
18. Коваль І.М. Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України: монографія. Харків: Мачулін, 2023. 252 с. URL: https://uriffm.org.ua/en/monograps/37
19. Остапенко Б.Ф., Ситнік І.Й. Парки Харківського національного аграрного університету ім. В.В. Докучаєва. Харків: Харк. нац. аграр. ун-т., 2011. 184 с.
20. Хрик В.М., Кімейчук І.В. Лісівництво. Біла Церква, 2021. 444 с.URL: https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8547/3/lisivnycztvo.pdf
21. Cook E R and Kairiukstis L A. *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. 394 p. URL: https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3354/1/Methods_of_Dendrochronology_Applications.pdf
22. Чепур С.С. Біометрія: Методичний посібник. Ужгород: Видавництво УжНУ «Говерла», 2015. URL: https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/3184
23. Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, 2000. Vol. 57. No 2. P. 55-164. https://doi.org/10.1051/forest:2000166
24. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E., Voronin V. O. Dendroclimatological research of scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології.* 2017. № 3-4 (28). С. 66-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07
25. Романенко, В. А., & Ковалевський, С. Б. Вплив кліматичних змін на радіальний приріст сосни звичайної (Pinus Sylvestris L.) в насадженнях ВП НУБІП України "Боярська ЛДС. *Науковий вісник НЛТУ України.* 2023. Вип. 33(5). С. 40–45. https://doi.org/10.36930/40330505

Отримано: 25.08.2025 / Переглянуто: 15.10.2025 / Прийнято: 10.11. 2025 / Опубліковано: 30.12. 2025

I. M. KOVAL, DSc (Agriculture and Forestry), Senior Researcher,
Leading Researcher, Forest Ecology Sector, Department of Forestry and Forest Economics
e-mail: Koval_Iryna@ukr.net ORCID ID: https://orcid.org/0000-0001-6328-1418
Ukrainian Research Institute of Forestry and Agroforestry Reclamation named after G. M. Vysotsky,
86, Hryhoriya Skovorody, Str., Kharkiv, 61024, Ukraine

V. V. GOLOLOBOV,
PhD Student of the Department of Environmental Monitoring and Protected Areas Management
e-mail: vadim.gololobov@gmail.com ORCID ID: https://orcid.org/0009 -0009 -0086 -0303
V. N. Karazin Kharkiv National University,
4, Maidan Svobody, Kharkiv, 61022, Ukraine

THE RESPONSE OF RADIAL GROWTH OF SCOTS PINE TO CLIMATE CHANGE IN THE PLANTING OF THE ARBORETUM OF THE BIOTECHNOLOGICAL UNIVERSITY IN KHARKIV

Purpose. of the study is to identify the features of the response of the radial growth of Scots pine to climate change in a stand growing in the Arboretum of the Biotechnology University in Kharkiv.

Methods. Silvicultural, dendrochronological, statistical and correlation analysis methods were applied.

Results. 11 cores were selected from tree trunks with a Pressler borer. Layers of late, early and tree ring widths were measured using the HENSON device. An index local tree-ring chronology was created. The biological (age) trend was removed using the 3-year sliding method. A correlation analysis was conducted between index tree-ring chronologies and climatic factors (precipitation and temperatures from June of the previous year to August of the current year).Against the background of increasing temperatures, three periods of pine stand development were distinguished by indicators of late, early and annual wood. Late wood turned out to be the most variable compared to annual and early wood. It was established that there was a weakening of pine plantations during the third period. This

is evidenced by the largest number of significant correlations between radial growth of pine and climatic factors for 2009-2022. In 1978-1993, the temperatures of the previous year's growing season (June-August) limited the growth of early and annual wood of the current year, and in the following periods 1994-2022 this influence weakened. In 2008-2022 temperatures in March-August limited the radial growth of pine more than in 1979-1993. The lack of stable snow cover associated with warming in winter in the third period probably led to a decrease in moisture accumulation in the soil, so a slight increase in precipitation in winter could not compensate for a sufficient amount of moisture in the soil and therefore precipitation in December of the previous year and January of the current year began to limit the radial growth of Scots pine in the third period.

Conclusions. Dendroclimatic studies of middle-aged pine stands in the forest-steppe zone for three periods: 1979-1993, 1974-2008 and 2009-2022 showed a weakening of the stand during the third period, as evidenced by the largest number of significant correlations between the radial growth of pine and climatic factors. It was found that over five years (2018-2022) there was a stabilization of the radial growth of pine, that is, there was no decrease in the trend of radial growth of trees. This indicates a probable adaptation of pine to climate change at this stage.

KEYWORDS: *early wood, latewood, tree ring width, Scots pine, temperature, precipitation, climate change*

Conflict of Interest

The authors declare no conflict of interest regarding the publication of this manuscript. Further-more, the authors have fully adhered to ethical norms, including avoiding plagiarism, data falsification, and duplicate publication.

***Authors Contribution*:** authors have contributed equally to this work.

The work does not use artificial intelligence resources.

References

1. Brockerhoff, E. G., Barbaro, L., Castagneyro, B., Bastien, Castagneyrol, B., Forrester, D. I., Gardiner, B, … & Jactel, H. (2017). Forest biodiversity, ecosystem functioning and the provision of ecosystem services. *Biodiversity and Conservation*, 26(13), 3005-3035. https:// doi.org/10.1007/s10531-017-1453-2
2. Kramarets, V.O., Krynytskyy, H.T., Korol, M. M., & Lavnyy, V.V. (2023). Adaptation of scots pine plantations to climate changes (on the example of the branch "Rava-Ruska forestry"). *Scientific Bulletin of UNFU*, *33*(6), 13-21. https://doi.org/10.36930/40330602 (in Ukrainian)
3. Meshkova, V. (2021). The Lessons of Scots pine Forest Decline in Ukraine. *Environmental Sciences Proceedings*, 3. 28. https://doi.org/10.3390/IECF2020- 07990
4. Cohen, W.B.; Yang, Z., Stehman, S.V., Schroeder, T.A., Bell, D.M., Masek, …& Meigs, G.W. (2016). Forest Disturbance across the Conterminous United States from 1985-2012: The Emerging Dominance of Forest Decline. 2016. *Forest Ecology and Management*, *360*, 242-252. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.10.042
5. Seidl, R., Thom, D., Kautz, M, Martin-Benito, D., Peltoniemi, M., Vacchiano, G.,.…& Reyer, Ch. (2017). Forest disturbances under climate change. *Nature Climate Change*, *7*, 395-402. https://doi.org/10.1038/nclimate3303
6. Allen, C.D., Macalady, A. K., Chenchouni, H., Bachelet, D., McDowell, N., Vennetier, M., … & Breshears, D.D. (2010). A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management*, *259*, 660-684. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2009.09.001
7. Brichta, J., Šimunek, V., Bílek, L., Vacek, Z., Gallo, J., Drozdowski, S., … & Fuchs, Z. (2024). Effects of Climate Change on Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth across Europe: Decrease of Tree-Ring Fluctuation and Amplification of Climate Stress. *Forests*, *15*, 91. https://doi.org/10.3390/f15010091
8. Schwab, N., Kaczka, R. J., Janecka, K., Böhner, J., Chaudhary, R. P., Scholten, T., & Schickhoff, U. (2018). Climate Change-Induced Shift of Tree Growth Sensitivity at a Central Himalayan Treeline Ecotone. *Forests*, *9*(5), 267. https://doi.org/10.3390/f9050267
9. Clark, J.S., Iverson, L., Woodall, C.W., Allen, C.D., Bell, D.M., Bragg, D.C., D'Amato, A.W., …& Zimmermann, N.E. (2016). The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States *Global Change Biology*, *22*(7), 2329-2352. https://doi.org/10.1111/gcb.13160
10. Griesbauer, H.P., Klassen, H., Saunders, S.C., & Spittlehouse, D.L. (2019). Variation in climate-growth relationships for Douglas-fir growth across spatial and temporal scales on southern Vancouver Island, British Columbia. *Forest Ecology and Management*, *444*, 30-41. https://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.04.014Get rights and content
11. Żywiec, M., Muter, E., Zielonka, T., Delibes, M., Calvo, G., & Fedriani, J.M. (2017). Long-term effect of temperature and precipitation on radial growth in a threatened thermo-Mediterranean tree population. *Trees: Structure and Function*, *31* (2), 491-501. https://doi.org/10.1007/s00468-016-1472-8
12. Cook, E. R., Johnson, A. H., & Blasing, T. J. (1987). Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiology*, *3*, 27-40. https://doi.org/10.1093/treephys/3.1.27
13. Prokopuk, Yu.S., Koniakin, S.N., & Netsvetov, M.V. (2020). Climate variables governing the growth of *Tilia cordata* (*Malvaceae s. l. / Tiliaceae* s. str.) in forest biotope in Kyiv. *Ukrainian Botanical Journal*, *77*(4), 294–304. https://doi.org/10.15407/ukrbotj77.04.294 (in Ukrainian)

14. Koval, I. M., Bologov, O. V., Nusbaum, S. A., & Juzvinsky, G. A. Radial increment of oak and ash trees as indicator of forest ecosystems condition in Novograd-Volynsky physiographic region. *Forestry and Forest Melioration*, *126*, 202-211. Retrieved from http://nbuv.gov.ua/UJRN/lisam_2015_126_27 (in Ukrainian)
15. Shyshkanynets, I. F., & Mazepa, V. G. (2018). Influence of climate on the radial increment of beech in the middle-aged stands in upper reaches of the Latorytsya river basin. *Forestry and Forest Melioration*, *133*, 112–118. https://doi.org/10.33220/1026-3365.133.2018.112
16. Keenan, R.J. (2015). Climate Change Impacts and Adaptation in Forest Management: A Review. *Annals of Forest Science*, *72*, 145-167. https://doi.org/10.1007/s13595-014-0446-5
17. Huang, X., Dai, D., Xiang, Ya., Yan, Z., Teng, M., Wang, P., …& Xiao, W. (2021). Radial growth of Pinus massoniana is influenced by temperature, precipitation, and site conditions on the regional scale: A meta-analysis based on tree-ring width index. *Ecological Indicators*, *126*, 107659. https://doi.org/10.1016/j.ecolind.2021.107659
18. Koval, I.M. (2023). Dendrochronological principles of assessing pine and oak stands in Ukraine: monograph. Kharkiv: Machulin. Retrieved from: https://uriffm.org.ua/en/monograps/37 (in Ukrainian)
19. Ostapenko, B.F., Sytnik, I.Y. (2011). Parks of the Kharkiv National Agrarian University named after V.V. Dokuchaev. Kharkiv: Kharkiv National Agrarian University (in Ukrainian)
20. Khryk, V.M., & Kimeychuk, I.V. (2021). Forestry. Bila Tserkva. Retrieved from https://rep.btsau.edu.ua/bitstream/BNAU/8547/3/lisivnycztvo.pdf (in Ukrainian)
21. Cook, E R, & Kairiukstis, L A. (1990). *Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences.* Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1990. Retrieved from https://pure.iiasa.ac.at/id/eprint/3354/1/Methods_of_Dendrochronology_Applications.pdf
22. Chepur, S.S. Biometrics: Methodological manual (2015). Uzhhorod: Publishing house of UzhNU "Hoverla". Retrieved from https://dspace.uzhnu.edu.ua/jspui/handle/lib/3184 (in Ukrainian)
23. Lebourgeois, F. (2000). Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. *Annals of Forest Science*, *57*(2), 55-164. https://doi.org/10.1051/forest:2000166
24. Koval, I. M., Bräuning, A., MelnikE. E., & Voronin, V. O. (2017). Dendroclimotological research of scots pine in stand of the Left-bank Forest-steppe of Ukraine. *Man and Environment. Issues of Neoecology*, (28), 66-73. https://doi.org/10.26565/1992-4224-2017-28-07
25. Romanenko, V. A., & Kovalevskyi, S. B. (2023). Influence of climate change on the radial growth of Scots pine in Forest Stands of the Boyarka Forest Research Station. *Scientific Bulletin of UNFU*, *33*(5), 40-45. https://doi.org/10.36930/40330505 (in Ukrainian)

Submission received: 25.08.2025 / Revised: 15.10.2025 / Accepted: 10.11. 2025 / Published: 30.12. 2025