



**I. M. КОВАЛЬ**

## **КЛІМАТИЧНИЙ СИГНАЛ У РЕГІОНАЛЬНІЙ ДЕРЕВНО-КІЛЬЦЕВІЙ ХРОНОЛОГІЇ ДУБА ЗВИЧАЙНОГО (*QUERCUS ROBUR* L.) ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ**

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

Наведено результати дендрокліматичних досліджень дуба звичайного (*Quercus robur* L.) у насадженнях Лівобережного Лісостепу України. Створено регіональну дендрохронологічну серію дуба, яка базується на чотирьох локальних хронологіях, що складаються із 60 індивідуальних дендрохронологічних серій. Виявлено реперні від'ємні роки (1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016), які зумовлені холодними або, навпаки, надзвичайно теплими зимами, а також посухами впродовж вегетаційного періоду та високими ранньовесняними температурами. Значущі від'ємні кореляції між липневими температурами та індексами радіального приросту свідчать про посилення негативного впливу потепління на приріст. Упродовж 1989–2017 рр. чутливість дуба до впливу температур збільшилася проти 1960–1988 рр., однак в останні декілька років негативний вплив температур упродовж вегетаційного періоду на формування шарів річної деревини став дещо слабшим, що може свідчити про адаптацію дубових насаджень до потепління на цьому етапі.

**Ключові слова:** радіальний приріст дуба звичайного, дендрокліматичний аналіз, негативні реперні роки, клімат.

**Вступ.** Середня температура в Україні за 1999–2009 рр. підвищилася на 0,3–0,6°C, а за останні 100 років – на 0,7°C, що призвело до зростання темпів втрат біорізноманіття на всіх рівнях організації (Didukh 2009). Водночас упродовж 1999–2009 рр. темп підвищення річної температури повітря по території України став у 1,5 разу швидшим, ніж у Центральній Європі. Потепління клімату в Україні зумовлене одночасною дією природного й антропогенного факторів. Тобто відбувається накладення коливань циркуляційних умов, зокрема з періодом понад 100 років, на процеси, певною мірою пов'язані з антропогенним потеплінням в останні десятиріччя (Varabash et al. 2009). Прогностичні сезонні значення температури повітря та сум опадів до 2100 р. свідчать про очікуване підвищення приземної температури повітря в усі сезони року, з найбільшими темпами зростання температур у зимовий період (Palamarchuk et al. 2010).

Дуб звичайний (*Quercus robur* L.) – одна з головних лісоутворювальних порід, насадження якої займають близько 28 % від усієї площі лісів України (Bala & Khan 2014). Надзвичайно важливим є вивчення адаптації дубових насаджень до зміни клімату, яка є еволюційно дуже тривалим процесом пристосування видів до навколишнього середовища, причому клімат змінюється швидше, ніж еволюційні реакції (Didukh 2009).

Радіальний приріст – інтегральний показник, який є біоіндикатором і відтворює реакцію дерева на зміни довкілля. Втрата стійкості лісів у разі нестабільної екологічної ситуації може виявлятися у мінливості радіального приросту дерев та його постійній пригніченості (Ray et al. 2010). Дослідження шарів річної деревини дуба звичайного, які відбивають вплив погодних умов на стан дерева, дають змогу виявити реакцію деревно-кільцевих хронологій на зміни клімату. У зв'язку із цим все більшого значення набувають дендрохронологічні дослідження, які виявили високу ефективність такого підходу (Kolyshchuk 1966, Molchanov 1976, Williams 1992, Lovelius & Gritsan 1998, Milenin 2010, Bräuning et al. 2016, Roibu et al. 2017, Netsvetov et al. 2018, Koval & Borysova 2019).

**Метою** досліджень було створення регіональної дендрохронологічної серії дуба звичайного для Лівобережного Лісостепу та виявлення кліматичних чинників, які найбільшою мірою вплинули на радіальний приріст у 1960–1989 рр. та 1990–2017 рр.

**Матеріали й методи.** Дослідження проведено на чотирьох постійних пробних площах (ППП) у дубових насадженнях VII–X класів віку, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого ґруду (табл. 1). Усі насадження мають вегетативне походження за винятком багаторядної лісосмуги Наукового навчально-виробничого центра (ННВЦ) «Дослідне поле»

Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва, яка має насіннєве штучне походження.

Таблиця 1

Характеристика досліджуваних дубових насаджень

№ ППП	Географічні координати		Висота над рівнем моря), м	ТЛУ	Вік, років	Повнота	D, см	H, м	Клас бонітету
	Широта пн. ш.	Довгота сх. д.							
1	50°06'41"	36°07'18"	122	D <sub>2</sub>	65	0,7	26,1	22,4	II
2	50°05'31"	36°17'40"	122	D <sub>2</sub>	100	0,6	40,0	25,0	II
3	49°58'50"	36°15'09"	113	C <sub>2</sub>	100	0,9	37,3	26,8	II
4	49°54'42"	36°27'22"	152	D <sub>2</sub>	70	0,7	24,0	18,7	II

*Примітка:* ППП – постійні пробні площі; 1 – ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (ДП «Харківська ЛНДС»), Дергачівське лісництво, 320 кв., вид. 3; 2 – ДП «Харківська ЛНДС», Південне лісництво, кв. 116, вид. 9; 3 – Харківський Центральний парк ім. М. Горького; 4 – Науковий навчально-виробничий центр (ННВЦ) «Дослідне поле» Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва (багаторядна лісосмуга).

Клімат – помірно континентальний. За даними Харківської метеостанції (49°55'28" пн. ш. 36°17'24" сх. д., висота над рівнем моря 155 м) найтеплішим (21,0°C) і найвологішим (61 мм) місяцем є липень, а найхолоднішим – січень (-5,5°C); найменшою кількістю опадів визначається березень (34,2 мм). Середня температура року становить 8,2°C, а сума опадів – 552 мм. Дані Харківської метеостанції використано за період 1959–2017 рр.

Застосовано стандартні дендрохронологічні методики (Cook & Kairiukstis 1990). Керни деревини відібрано на висоті стовбура 1,3 м. Шари річної деревини виміряно за допомогою цифрового приладу HENSON з точністю до 0,01 мм. Проведено перехресне датування, яке охоплює як підрахунок шарів річної деревини, так і порівняння зразків із метою виявлення відсутніх або фальшивих кілець для встановлення точного календарного року формування кожного деревного кільця та виявлення помилок під час їхнього вимірювання. Процес перехресного датування полегшується за виявлення реперних років мінімального приросту. Реперні роки – це роки, упродовж яких 95 % дерев вибірки мають однаковий тренд приросту (Yamaguchi 1991).

Якість перехресного датування перевірено за допомогою програми COFESHA (Holmes 1994). Загальну силу сигналу в серії визначено через міжсерійний коефіцієнт кореляції ( $R_{bar}$ ), який визначено як середню кореляцію між усіма деревно-кільцевими хронологіями (Wigley et al. 1984). Популяційний сигнал (EPS), який визначає надійність вимірювань у хронології, і є функцією  $R_{bar}$  та кількості деревно-кільцевих хронологій за формулою (1):

$$EPS(t) = \frac{tR_{bar}}{tR_{bar} + (1 - R_{bar})} \quad (1)$$

де  $t$  – кількість деревно-кільцевих серій;

$R_{bar}$  – середня кореляція між деревно-кільцевими хронологіями.

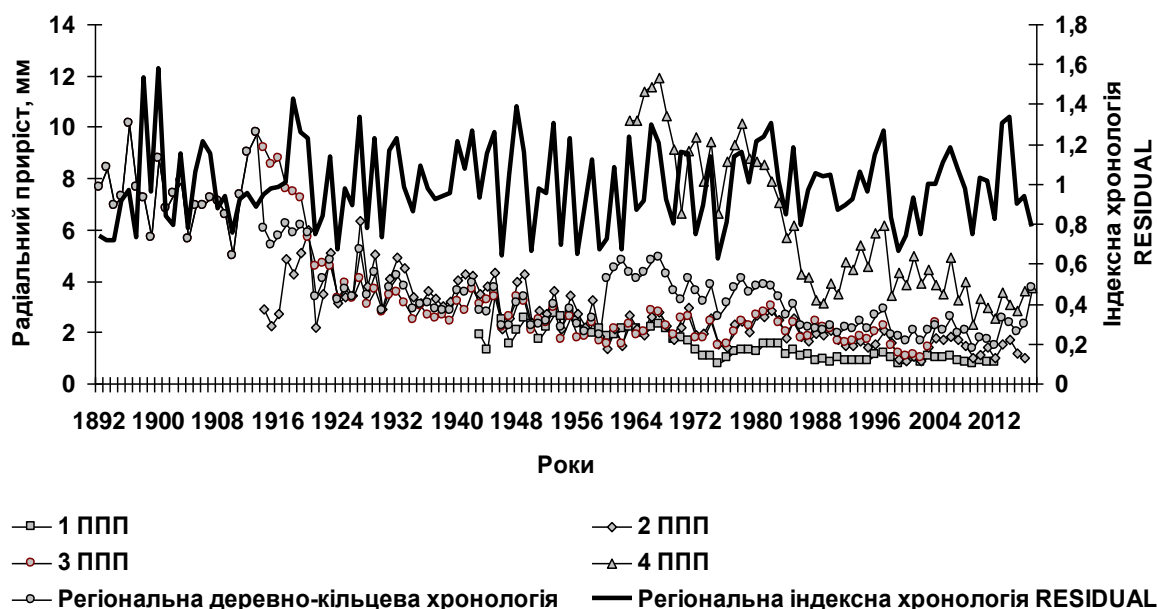
Про придатність деревно-кільцевої серії для подальшого дендрокліматичного аналізу свідчить перевищення порогу EPS більше ніж 0,85 (Wigley et al. 1984).

Стандартизацію деревно-кільцевих хронологій здійснено за допомогою програми ARSTAN для видалення вікового тренду. Спочатку використано лінійну апроксимацію, потім застосовано авторегресійне моделювання, щоб усунути вплив попередніх років на формування річного кільця поточного року. Локальні хронології обчислено шляхом осереднення значень індивідуальних хронологій, а регіональну хронологію обчислено осередненням значень локальних хронологій (Cook & Kairiukstis 1990).

Стандартизація серій величин кілець дала можливість провести аналіз реакції радіального приросту дуба на зміни кліматичних чинників за допомогою програми RESPO з пакету програм DPL (Holmes 1994). Проведено аналіз реакції для 1960–1988 та 1989–2017 рр. із метою виявлення реакції радіального приросту дуба на варіації клімату упродовж цих періодів. Використано місячні середні температури та суми опадів із липня попереднього року до серпня поточного року. Застосовано покроковий регресійний аналіз із метою відбору найвпливовіших на радіальний приріст кліматичних чинників, а також метод головних компонент для вилучення з аналізу кліматичних чинників, які тісно корелюють між собою, та множинний регресійний аналіз для оцінювання впливу клімату на приріст (Holmes 1994).

Проведено ковзний кореляційний аналіз із вікном 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL та кліматичними чинниками Харківської метеостанції.

**Результати та обговорення.** Створення регіональної дендрохронологічної серії дуба звичайного, яка складається з 4 893 річних шарів річної деревини, базується на 60 індивідуальних деревно-кільцевих хронологіях із чотирьох локальних хронологій (рис. 1, табл. 2).



**Рис. 1 – Динаміка радіального приросту дуба звичайного та регіональної індексної хронології RESIDUAL у насадженнях Лівобережного Лісостепу**

Реперні роки мінімального радіального приросту дуба звичайного (1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016) зумовлені холодними зимами, коли температури були нижчими від норми на 50–67 %, або навпаки – аномально теплими зимами, для яких перевищення норми сягало 58 %, а також занадто теплим вегетаційним періодом, коли перевищення температур становили 12–15 %. Дефіцит опадів, коли випадало на 20–56 % нижче за норму, та надзвичайно високі березневі температури, які перевищували норму у 5–8 разів, також викликали глибоку депресію радіального приросту дуба (табл. 2).

Деревно-кільцеві хронології RESIDUAL можна використовувати для подальшого дендрокліматичного аналізу, тому що межсерійні коефіцієнти кореляції середньої сили є достатніми ( $r = 0,311-0,655$ ) та чутливими, тому що коефіцієнт чутливості перевищує 0,3 (табл. 3).

**Від’ємні реперні роки регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного  
у Лівобережному Лісостепу**

Рік мінімального приросту	Причини депресії радіального приросту
1894, 1899, 1910, 1915, 1921, 1928, 1930, 1944, 1947, 1954, 1957	Причини депресії радіального приросту невідомі внаслідок відсутності метеорологічних даних
1962	Приріст обмежували опади за квітень – серпень. У 1962 р. вони становили 115 мм, а норма становила 263 мм, тобто відхилення було на 56 % меншим від норми
1969	Холодна зима (середні зимові температури становили $-7,2^{\circ}\text{C}$ ), нормою було $-4,3^{\circ}\text{C}$ , тобто температури були нижчими від норми на 67 %. Низька сума річних опадів (становила 451 мм за норми 555 мм, тобто на 19 % нижче від норми)
1972–1973	Холодна зима, упродовж якої температури були майже вдвічі нижчими від норми (середні зимові температури становили $-8,2^{\circ}\text{C}$ , водночас норма була $-4,3^{\circ}\text{C}$ ) та занадто теплий вегетаційний період (квітень – серпень) 1972 р., коли температура на 12 % перевищила норму (температура становила $19,4^{\circ}\text{C}$ за норми $17,2^{\circ}\text{C}$ )
1975	Упродовж квітня – серпня випало опадів на 40 % нижче від норми (158 мм за норми 263 мм)
1984	Посушливий вегетаційний період, коли упродовж квітня – серпня випало 210 мм опадів, тобто на 20 % нижче від норми, яка становила 253 мм. Особливо посушливим видався липень, коли опадів випало на 56 % менше від норми
1993	Дефіцит опадів упродовж квітня – серпня, коли випало 216 мм за норми 263 мм, тобто на 22 % менше від норми
1999	Дефіцит опадів: упродовж квітня – серпня випало 224 мм опадів за норми 263 мм, тобто різниця становила 15 %. Особливо посушливим був липень, коли випало 44,6 мм за норми 61,4 мм, що є на 27 % нижче від норми
2002	Аномально тепла зима, коли температури перевищили норму на 26 % ( $-3,2^{\circ}\text{C}$ за норми $-4,3^{\circ}\text{C}$ ), березневі температури перевищили норму майже у 8 разів ( $5,2^{\circ}\text{C}$ за норми $0,68^{\circ}\text{C}$ ). Друга причина – дефіцит опадів упродовж квітня– серпня, коли випало на 31 % менше від норми (181 мм за норми 263 мм)
2009	Посушливий вегетаційний період, коли випало 140 мм опадів упродовж квітня – серпня за норми 263 мм, що є на 47 % меншим від норми. Особливо посушливим був липень, коли випало 26,5 мм опадів за норми 61,4 мм, що є на 56,9 % меншим від норми. Занадто тепла зима, коли температури сягнули $-3,2^{\circ}\text{C}$ за норми $-4,3^{\circ}\text{C}$ , що є вищим за норму на 25 %. До того ж високі температури відзначено протягом березня ( $1,7^{\circ}\text{C}$ за норми $0,68^{\circ}\text{C}$ , що перевищило норму більше ніж удвічі)
2012	Посушливий та теплий вегетаційний період. Температури квітня – серпня становили $20,4^{\circ}\text{C}$ за норми $17^{\circ}\text{C}$ , тобто на 15 % вище від норми, водночас опади упродовж цього періоду становили 202 мм за норми 263 мм, тобто були на 23 % нижчими. Температури липня були на 46 % вищими від норми
2016	Високі температури зимового та ранньовесняного періодів. Узимку температури були вищими від норми на 58 % і відповідно становили $-1,8^{\circ}\text{C}$ та $-4,3^{\circ}\text{C}$ . Упродовж березня температури становили $3,5^{\circ}\text{C}$ за норми $0,68^{\circ}\text{C}$ , тобто перевищили норму більш ніж у 5 разів

Для регіональної деревно-кільцевої хронології обчислено коефіцієнт EPS, який становив 0,99, тобто поріг перевищив 0,85, що свідчить про придатність цієї дендрохронологічної серії для подальшого дендрокліматичного аналізу.

Статистична характеристика локальних та регіональної серій деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного на південній межі Лівобережного Лісостепу за програмами COFECNA та ARSTAN

№ ППП	Проміжок часу	Серед- нє, мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar}$	$S_{id.dev}$	$AC_1$	$MS_x$	Серед- нє	$MS_x$	$S_{id.dev}$
1	1950–2012	1,25	0,443	0,798	0,614	0,328	1,00	0,224	0,203
2	1914–2016	2,32	0,655	1,307	0,652	0,304	0,988	0,270	0,231
3	1890–2003	2,50	0,558	1,261	0,546	0,321	0,99	0,252	0,225
4	1960–2017	1,54	0,311	1,01	0,646	0,370	1,00	0,210	0,204
Р. д. с.	1890–2004	2,24	0,527	1,234	0,589	0,322	0,993	0,237	0,211

Примітка:  $R_{bar}$  – міжсерійний коефіцієнт кореляції;  $S_{id.dev}$  – стандартне відхилення;  $AC_1$  – автокореляція першого порядку;  $MS_x$  – середня чутливість; Р. д. с. – регіональна деревно-кільцева серія.

Виявлено, що середні річні температури у 1960–1988 рр. становили 7,5°C, а в 1989–2017 рр. – 8,7°C, тобто у другому періоді річні температури підвищилися на 16 %, а упродовж періоду активної вегетації (квітень – серпень) становили 16,8 та 17,7°C відповідно, тобто підвищилися на 5 %. Найшвидшими темпами потепління відбулося взимку та рано навесні (у березні), коли температури становили -5,1 та -3,5°C і -0,5 та 1,8°C відповідно. Отже, у другому періоді, як порівняти з першим, зимові температури були вищими на 31 %, і а у березні – більше ніж утричі. Підвищення температур липня у другому періоді сягало майже 6 %, тобто температура збільшилася від 20,5°C до 21,6°C.

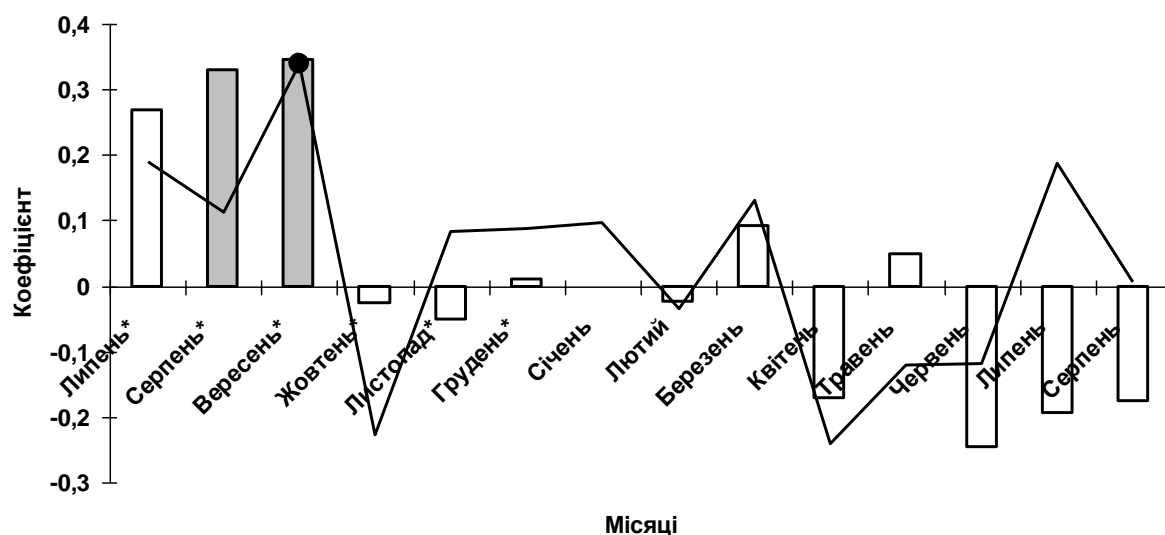
Середньомісячна сума опадів у 1960–1989 рр. сягнула 547 мм, у 1990–2017 рр. – 564 мм, тобто на 3 % вище у другому періоді, порівнюючи з першим. У квітні – серпні кількість опадів становила у першому періоді 261 мм, у другому – 264 мм, тобто різниця становила лише 1 %. Упродовж зими відбулося зменшення кількості опадів на 9 %, відповідні значення становили 133 та 121 мм. Для найвологішого місяця, липня, характерне збільшення кількості опадів на 22 %, тобто відповідні значення становили 56 та 68 мм.

Отже, у другому періоді, порівнюючи з першим, відбулося найшвидше підвищення температур ранньою весною та взимку. Водночас зафіксовано незначне збільшення кількості опадів протягом року, причому найрясніші опади відзначено впродовж квітня – серпня з максимальною кількістю в липні. Взимку, навпаки, кількість опадів зменшилася.

Визначено норми середньомісячних температур та опадів як середнє відповідних чинників за період 1960–2017 рр.

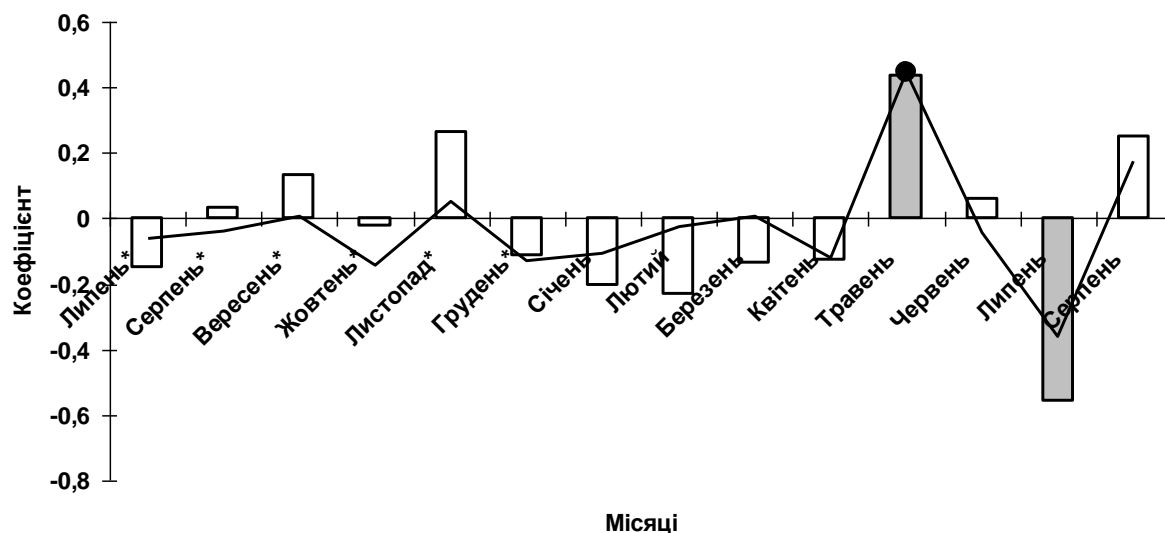
Дендрокліматичний аналіз деревно-кільцевої хронології дуба, проведений за програмою RESPO, виявив додатний вплив температур упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року до лютого поточного року) на приріст у першому періоді (1960–1988 рр.); пізніше, у другому періоді (1989–2017 рр.), цей вплив став від'ємним. Можливо, підвищення температур упродовж цього періоду викликало зменшення вологонакопичення в ґрунті внаслідок частих відлиг. До того ж відбулося порушення зимового спокою дерев у результаті підвищення температур, що разом могло спричинити ослаблення дерев (рис. 2).

Кліматичні умови попереднього року мають значущий вплив на приріст поточного року (Latreille et al. 2017). Упродовж другого періоду, порівнюючи з першим, втрачено додатний вплив температур протягом липня – вересня попереднього року на радіальний приріст. Виявлено значущий додатний вплив температур на приріст у другому періоді. Значущі негативні кореляції між липневими температурами та індексами радіального приросту впродовж другого періоду свідчать про посилення негативного впливу потепління на приріст (рис. 2). У Словенії виявлено посилення негативного впливу температур на приріст дуба скельного (*Quercus petraea*) на місяць раніше – у червні (Saražin et al. 2018).



□ Коефіцієнт кореляції — Функція відгуку

а) 1960–1988 рр.



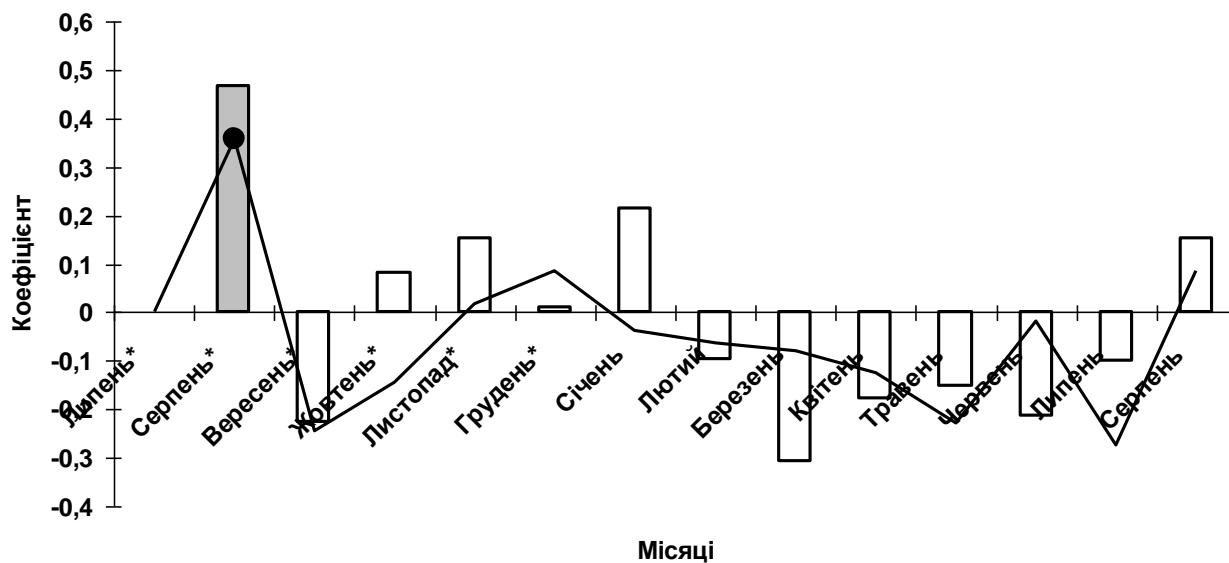
□ Коефіцієнт кореляції — Функція відгуку

б) 1989–2017 рр.

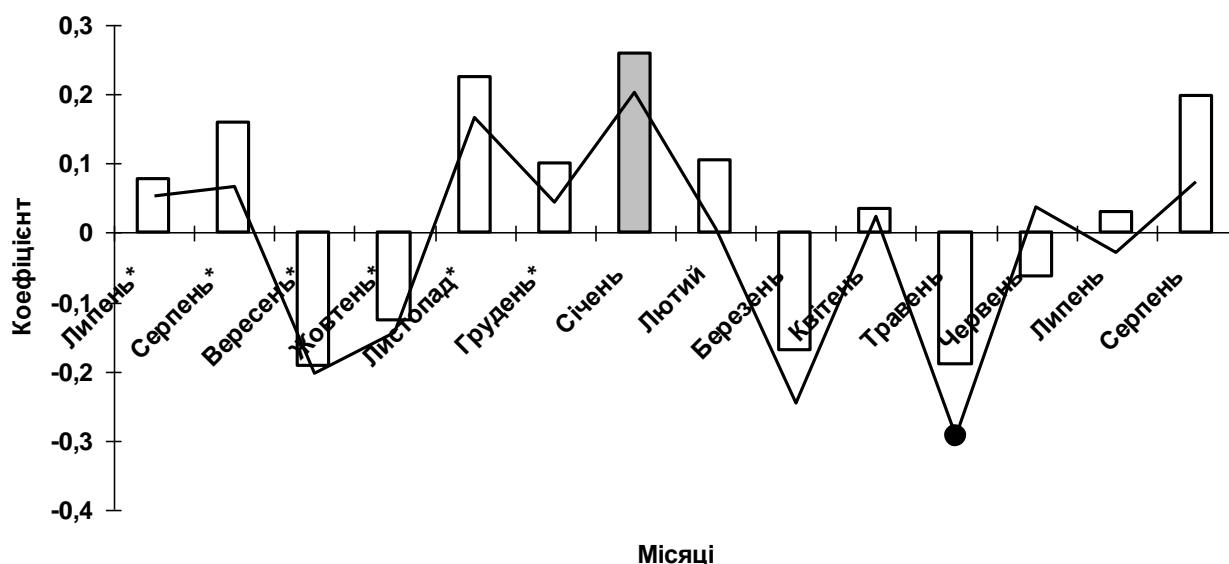
Рис. 2 – Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Лівобережного Лісостепу (сірі стовпчики свідчать про значущі коефіцієнти кореляції ( $P < 0,05$ ), чорні кола показують значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (\*) означають місяці попереднього року

Упродовж першого періоду виявлено негативний вплив опадів жовтня попереднього року та позитивний вплив опадів упродовж лютого та липня в першому періоді на радіальний приріст. У Словенії визначено, що березневі опади значуще позитивно впливали на радіальний приріст *Quercus Petraea* (Saražin et al. 2018).

Для другого періоду зафіксовано значущий позитивний вплив опадів лише серпня попереднього року на формування річних шарів деревини. Простежується тенденція негативного впливу опадів на приріст у лютому – липні у другому періоді (рис. 3).



□ Коефіцієнт кореляції — Функція відгуку  
 а) 1960–1988 рр.



□ Коефіцієнт кореляції — Функція відгуку  
 б) 1989–2017 рр.

**Рис. 3 – Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Лівобережного Лісостепу (сірі стовпчики свідчать про незначущі коефіцієнти кореляції ( $P < 0,05$ ), чорні кола показують значущі коефіцієнти функцій відгуку; зірочки (\*) означають місяці попереднього року**

Попередніми дендрокліматичними дослідженнями дуба звичайного в Поліссі виявлено кліматичні чинники, які найбільшою мірою впливають на радіальний приріст дуба: підвищення температур і зменшення опадів у період вегетації, підвищення температур рано навесні та взимку і збільшення кількості опадів упродовж холодного періоду (Koval et al. 2015). Отже, на відміну від Полісся у Лівобережному Лісостепу, навпаки, незначне збільшення опадів відбулося упродовж вегетаційного періоду і зменшення – упродовж зими. У період вегетації другого періоду значне підвищення температур збільшило транспірацію, і

незначне збільшення опадів у цей період не змогло перекрити негативний вплив дефіциту вологи на радіальний приріст дерев.

Ковзний кореляційний аналіз із вікном у 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL і кліматичними чинниками виявив, що вересневі температури попереднього року мали значущий від’ємний вплив на приріст 1963–2002 рр. Серпневі опади посилювали позитивний вплив на приріст у 1978–2017 рр. Тобто як потепління в кінці вегетаційного сезону, так і деяке збільшення кількості опадів подовжило період формування річних шарів деревини (рис. 4).

Місяці/Роки	1960–1997	1968–2002	1973–2007	1978–2012	1983–2017
Температура					
Червень*					
Липень*					
Серпень*					
Вересень*	**	**			
Жовтень*					
Листопад*					
Грудень*					
Січень					
Лютий					
Березень	**				
Квітень			****	**	
Травень	**	****			**
Червень					
Липень		**	**	**	
Серпень					
Квітень – серпень			***	**	
Зима		***			
Опади					
Червень*					
Липень*					
Серпень*				**	**
Вересень*					
Жовтень*					
Листопад*					
Грудень*	**				
Січень					
Лютий					
Березень					
Квітень					
Травень					
Червень					
Липень					
Серпень					
Квітень – серпень					
Зима	**				

Коефіцієнти кореляції:



\*місяць попереднього року;

Значущість коефіцієнта кореляції: \*\*на 0,05 рівні; \*\*\* на 0,01 рівні; на 0,001 рівні

**Рис. 4 – Ковзний кореляційний аналіз із вікном у 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL та кліматичними чинниками метеостанції Харків**



Виявлено значущий негативний вплив температур на радіальний приріст у березні 1963–1997 рр. Зафіксовано також значущий негативний вплив опадів на приріст у 1968–2002 рр. Від’ємні кореляції виявлено для квітневих температур і середньорічних температур упродовж квітня – серпня у 1973–2012 рр. (рис. 4).

Травневі температури негативно впливали на приріст у 1963–2002 рр., а вже в 1983–2017 рр. їхнє підвищення позитивно вплинуло на приріст. Липневі температури у 1968–2012 рр. негативно впливали на приріст, а для 1983–2017 рр. цей вплив ослаблювався, що могло бути пов’язане з адаптацією дубових насаджень до потепління (рис. 4). У Словенії відбулося збільшення негативного впливу червневих температур на радіальний приріст дуба скельного (*Quercus petraea*) упродовж 1993–2013 рр., що можна пояснити підвищенням температури (Saražin et al. 2018). На думку європейських учених, дуб має потенціал упоратись із теплим кліматом, який, імовірно, формуватиметься в Центральній Європі в майбутньому (Volte et al. 2009, Saražin et al. 2018).

Зимові температури, зокрема грудневі, мали значущий позитивний вплив на приріст у 1963–1997 рр., у наступні 1968–2017 рр. цей вплив послабився (див. рис. 4).

**Висновки.** Для регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) Лівобережного Лісостепу виявлено реперні роки мінімального приросту (1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016), зумовлені холодними або, навпаки, надзвичайно теплими зимами, а також посухами упродовж вегетаційного періоду та високими ранньовесняними температурами. Упродовж 1989–2017 рр. чутливість дуба до впливу температур збільшилася, порівнюючи з 1960–1988 рр. Водночас в останні декілька років негативний вплив температур протягом вегетаційного періоду на формування шарів річної деревини став дещо слабшим, що підтверджує ковзний кореляційний аналіз між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками. Це свідчить про адаптацію дубових насаджень до потепління на цьому етапі. Регіональну деревно-кільцеву хронологію дуба звичайного для Лівобережного Лісостепу можна використовувати під час планування лісогосподарських заходів.

#### **ПОСИЛАННЯ – REFERENCES**

Bala, O. P. and Khan, E. Yu. 2014. Mensurational characteristics of vegetative origin oak stands in Ukrainian Forest-Steppe zone. Scientific Herald of NULES of Ukraine. Series: Forestry and Decorative Gardening, 198 (1): 9–13 (in Ukrainian).

Barabash, M. B., Tatarchuk, O. H., Hrebenuk, N. P., Korzh, T. V. 2009. Practical direction of climate change research in Ukraine. Physical geography and geomorphology. Scientific bulletin of Taras Shevchenko National University of Kyiv, 57: 28–36 (in Ukrainian).

Botle, A., Ammer, C., Lof, M., Ralle, M., Nabuurs, G., Shall, P., Spathelf, P., Rock, J. 2009. Adaptive forest management in Central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. Scandinavian Journal of Forest Research, 24 (6): 473–482.

Bräuning, A., De Ridder, M., Zafirov, N., García-González, I., Dimitrov, D. P., Gärtner, H. 2016. Tree-ring features: indicators of extreme event impacts. IAWA Journal, 37(2): 206–231.

Cook, E. R. and Kairiukstis, L. A. 1990. Methods of Dendrochronology. Applications in the Environmental Sciences. Dordrecht, International Institute for Applied Systems Analysis. Kluwer Academic Publishers, 394 p.

Didukh, Y. A. 2009. [Ecological aspects of global climate change: causes, consequences, actions. Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 2: 34–44 (in Ukrainian).

Holmes, R. J. 1994. Dendrochronology Program Library-Users Manual; University of Arizona: Tucson, AZ, USA, 51 p.

Kolyshchuk, V. H. 1966. Dynamics of growth of mountain pine (*Pinus mughus* Scop.) in connection with solar activity. Reports of the USSR Academy of Sciences, 167(3): 236–242 (in Russian).

Koval, I. M., Bologov, O. V., Nusbaum, S. A., Juzvinsky, G. A. 2015. Radial increment of oak and ash trees as indicator of forest ecosystems in Novograd-Volynsky phosiographic region. Forestry and Forest Melioration, 126: 202–211 (in Ukrainian).

Koval, I. M. and Borysova, V. L. 2019. Ash radial growth response to climate change in the stands of Left bank forest-steppe. Scientific Bulletin of UNFU, 2: 56–57 (in Ukrainian).

Latreille, A., Davi, H., Frédéric, H., Pichot, C. 2017. Variability of the climate-radial growth relationship among *Abies alba* trees and populations along altitudinal gradients. Forest Ecology and Management, 396: 150–159.

Loveliuss, N. V. and Gritsan, Yu. I. 1998. Forest ecosystems of Ukraine and heat and moisture supply. Sankt-Peterburg, Neva, 335 p. (in Russian).

Milenin, A. I. 2010. Dynamics of radial growth of pedunculate oak in the riparian forests of the Voronezh region. Lesnoy zhurnal, 6: 39–45 (in Russian).

Molchanov, A. A. 1976. [Dendroclimatic bases of weather forecasts. Moscow, Nauka, 168 p. (in Russian).

Netsvetov, M., Prokopuk, Yu., Didukh, Ya., Romenskyy, M. 2018. Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. Dendrobiology, 79: 20–33.

Palamarchuk, L. V., Hnatiuk, N. V., Krakovska, S. V., Shedemenko, I. P., Diukel, H. O. 2010. Seasonal climate change in Ukraine in XXI century. Scientific works of the Ukrainian Research Hydrometeorological Institute, 259: 104–120 (in Ukrainian).

Ray, D., Morison, J., Broadmeadow, M. 2010. Climate change: Impacts and adaptation in England's woodlands. Forestry Commission Research Note. Forest research, 2(1): 1–16.

Roibu, C. C., Popa, I., Kirchhefer, A. J., Palaghianu, C. 2017. Growth responses to climate in a tree-ring network of European beech (*Fagus sylvatica* L.) from the eastern limit of its natural distribution area. Dendrochronologia, 42: 104–116. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.02.003>

Saražin, Ja., Resent, G. A., Balzano A., de Luis M., Merela, M and, Čufar, K. 2018. Dendrochronology of sessile oak (*Quercus Robur Petraea*) on the transition between climatic zone. Les/Wood, 67 (2): 5–20.

Wigley, T. M. L., Briffa, K. R., Jones, P. D. 1984. On the average value of correlated time series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. Journal of Climate and Applied Meteorology, 23: 201–213.

Williams, J. T. 1992. International aspect of biodiversity. Forest. Chron., 4: 454–458.

Yamaguchi, D, K. 1991. A simple method for cross-dating increment cores from living trees. Canadian Journal of Forest Research, 21 (3): 414–416.

Koval I. M.

CLIMATE SIGNAL IN THE REGIONAL TREE-RING CHRONOLOGY OF ENGLISH OAK (*QUERCUS ROBUR* L.) IN LEFT-BANK FOREST-STEPPE

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

The article presents results of dendroclimatological study of English oak (*Quercus robur* L.) in the stands grown in Ukrainian Left-Bank Forest-Steppe. The oak regional dendrochronological series has been developed. It is based on the four local series which include 60 individual tree-ring chronologies. The pointer negative years, namely 1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012, and 2016, have been determined. They resulted from cold winters or, on the contrary, extremely warm winters, and due to droughts during the growing season and high early spring temperatures. Significant negative correlations between the July temperatures and indexes of radial growth point at intensified negative impact of temperature rise on growth. During 1989–2017, the temperature sensitivity of oak increased compared to 1960–1988. However, during the last few years, a negative impact of temperatures during the growing season on the annual tree ring formation has become somewhat weaker, which may indicate some adaptation of oak stands to warmth at this stage.

**Key words:** oak radial growth, pointer negative years, dendroclimatological analysis, climate.

*E-mail:* koval\_iryana@ukr.net

*Одержано редколегією:* 29.08.2020