



I. М. КОВАЛЬ¹, В. О. ВОРОНІН²

**РЕАКЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ЗМІНУ КЛІМАТУ
В НАСАДЖЕННЯХ ЛІВОБЕРЕЖНОГО ЛІСОСТЕПУ**

¹Український науково-дослідний інститут лісівництва та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького

²Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна

Досліджено особливості реакції радіального приросту сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на зміну клімату в середньовіковому чистому сосновому насадженні Лівобережного Лісостепу. Використано стандартні дендрохронологічні методики. Виявлено роки мінімального приросту: 1975, 1987 та 2013, що обумовлено високими середньорічними температурами 1975 та 2013 рр. і низькими зимовими температурами 1987 р. Роки максимального приросту (1944, 1957, 1978 та 2004.) відзначалися оптимальним співвідношенням тепла й вологи. Виявлено взаємозв'язки між радіальним приростом сосни й опадами та температурами за два періоди – 1960–1992 та 1985–2017 рр. У другому періоді дерева стали більш чутливими до погодних стрес-чинників унаслідок потепління, про що свідчать результати кореляційного аналізу та функції відгуку. Збільшилася кількість значущих зв'язків між радіальним приростом і кліматичними чинниками в другому періоді внаслідок ослаблення насадження, викликаного зміною клімату. Посилився негативний вплив температур попереднього року та вегетаційного періоду поточного року на радіальний приріст сосни.

Ключові слова: *Pinus sylvestris* L., радіальний приріст, зміна клімату, опади, температура.

Вступ. Ліси сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) займають площу понад 28 млн га в Європі, або близько 12 % її ареалу у світі (Mason & Alia 2000). Сосна звичайна є однією з основних лісоутворювальних порід в Україні. Вона поширена на Поліссі, у північній частині Лісостепу, іноді – на піщаних терасах рік північної частини Степу. В Україні соснові ліси займають близько 2,5 млн га, або 34 % площі, зайнятої лісами (Bondar 2019).

Упродовж останніх років відбувається масове всихання сосни звичайної в Україні та світі. Це пов'язане насамперед із кліматичними змінами: підвищенням температури повітря та зниженням кількості опадів улітку й підвищенням їхньої кількості взимку майже в усіх частинах Європи (Fischer et al. 2011). Середня температура в Україні за останні десять років підвищилася на 0,3–0,6°C (за останні 100 років – на 0,7°C) (Didukh 2009). Це призводить до ослаблення захисних функцій дерев і сприяє розмноженню стовбурових комах, які прискорюють відмирання сосняків (Bréda et al. 2006, Eilmann et al. 2010, Meshkova 2019).

Дендрохронологічні та дендрокліматологічні методи є ефективним засобом для виявлення домінантних чинників, які впливають на радіальний приріст дерев. Щорічна послідовність сприятливих і несприятливих погодних умов відбивається на чергуванні широких та вузьких кілець дерев (Fritts 1976). Для розуміння впливу клімату на радіальний приріст у дендрокліматології та дендроіндикації широко використовують сосну звичайну, яка є надзвичайно чутливою до зміни умов довкілля (Misi et al. 2019). Стратегії адаптації, спрямовані на пом'якшення наслідків глобального потепління для лісових екосистем, таких як посилення стресової посухи, є предметом гострої дискусії (Orlowsky & Seneviratne 2012). У цьому контексті дослідження радіального приросту дерев сосни звичайної є надзвичайно актуальними й цікавлять як науковців, так і практиків.

Мета дослідження – виявлення особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної (*Pinus sylvestris* L.) на зміну клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу на прикладі середньовікового чистого соснового насадження.

Матеріали й методи. Об'єкт досліджень – середньовікове чисте соснове насадження Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ», що росте на дерновому опідзоленому середньоглибокому глинясто-піщаному ґрунті на давньоалювіальних пісках. Середні лісівничо-таксаційні показники насадження такі: середня висота $H_{\text{сер}}$ становить 22,3 м, середній діаметр $D_{\text{сер}}$ – 26,2 см. Повнота – 0,7. Бонітет – І. Запас – 344 м³·га⁻¹. Тип лісорослинних умов – свіжий субір (В₂).

Клімат – помірно-континентальний. За даними Харківської метеостанції, найтеплішим (21,0°C) і найвологішим (72 мм) місяцем є липень, а найхолоднішим – січень (-5,5°C), найменшою кількістю опадів характеризується березень (33,5 мм). Середньорічна температура становить 8,1°C.

Під час досліджень використано стандартні дендрохронологічні методики. Керни вилучено буравом Преслера із стовбурів 20 дерев на висоті грудей (1,3 м). Величини шарів річної деревини виміряно за допомогою обладнання для вимірювання радіального приросту «HENSON» із точністю до 0,01 мм (Cook & Kairiukstis 1990).

Далі проведено перехресне датування з метою встановлення точного календарного року для кожного шару деревини. Датування є можливим завдяки простій істині: послідовність сприятливих і несприятливих кліматичних явищ (вологі й сухі або теплі й холодні роки) виявляється в послідовності широких і вузьких шарів деревини великої кількості дерев, що дає змогу визначити відповідність кожного річного шару деревини до певного календарного року (Fritts 1976). Це роблять із метою виявлення років із відсутністю річних шарів деревини та наявністю двійних шарів, та запобігання помилок, які сталися під час вимірювання радіального приросту. Подальшим кроком дослідження є перевірка якості за допомогою програми COFESHA. Ця програма ідентифікує всі частини деревно-кільцевих хронологій, де є помилки перехресного датування або помилки вимірювання. Деревя, які мають незначущі кореляції з майстер-хронологією, вилучаються з вибірки (Grissino-Mayer 2001). Для деревно-кільцевих хронологій кожного дерева розраховано стандартне відхилення, яке відображає мінливість вимірювань. Високе стандартне відхилення зазвичай свідчить про чутливість деревно-кільцевої хронології дерева до змін умов довкілля. Автокореляція першого порядку оцінює зв'язки радіального приросту поточного та попереднього років. Середня чутливість визначає відносну різницю між величинами сусідніх річних кілець (Fritts 1976, Cook et al. 1990).

Наступним кроком була стандартизація – вилучення низькочастотних варіацій із індивідуальних деревно-кільцевих серій, які не пов'язані з кліматом, наприклад, вплив віку (Cook et al. 1990). Відмінності від загальної норми росту або життєздатності індивідуальних дерев були також усунені. Двоступеневе вилучення тренду здійснено за допомогою програми ARSTAN. На першому етапі вилучення трендів використано від'ємну експоненціальну криву, а на другому – кубічну ковзну криву. Індекси радіального приросту сформовано шляхом ділення реального значення ширини річного кільця на його прогнозоване значення. Внаслідок цього створено ряди індексів радіального приросту із середнім значенням 1 та однорідною дисперсією. У дендрокліматичних дослідженнях часто використовують хронології RESIDUAL, в яких видалено також автокореляцію з метою посилення кліматичного сигналу за рахунок вилучення вікового тренду (Holmes 1994). Середню індексовану деревно-кільцеву хронологію RESIDUAL розраховували з індивідуальних деревно-кільцевих хронологій за допомогою авторегресійного моделювання для посилення кліматичного сигналу.

В аналізі взаємозв'язків між кліматом і радіальним приростом використано поняття «норма» – це усереднені значення температури повітря та опадів за період 1960–2017 рр. Відхилення від норми чинників опадів та температур для років із екстремальними кліматичними явищами (посухами, холодними зимами тощо) виражено у відсотках (Lindsey & Dahlman 2019).

Для встановлення зв'язків між чинниками клімату і радіальним приростом сосни використано програму RESPONSE, за допомогою якої проведено аналіз відгуку та кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями RESIDUAL і кліматичними чинниками (температурою повітря та опадами) (Marquardt et al. 2019). Аналіз функції відгуку – це форма множинної регресії. Для відбору кращих змінних для цієї регресійної моделі використано кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями сосни й середньомісячними температурами повітря (°C) та сумами опадів за місяць (мм) від

червня до грудня попереднього року та від січня до вересня поточного року з використанням кореляційного коефіцієнта Пірсона.

Проаналізовано взаємозв'язки між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками за два періоди – 1960–1992 та 1985–2017 рр. Періоди перекриваються, тому що ряд метеопказників маємо за період 1959–2017 рр., тоді як програма RESPONSE методами множинного регресійного аналізу має змогу аналізувати часовий ряд, який містить не менше 32 років. Статистично достовірний вплив кліматичних чинників визначено на рівні значущості 0,95 %.

Результати та обговорення. За результатами аналізу динаміки радіального приросту сосни звичайної в чистому сосновому насадженні виявлено роки з мінімальним приростом: 1975, 1987 та 2013. Він зумовлений високими середньорічними температурами 1975 та 2013 рр., які становили 9,3 та 9,6°C відповідно, що було на 14 та 18 % вище за норму (рис. 1, 2). Депресія радіального приросту сосни у 1987 р. зумовлена надзвичайно холодною зимою, коли середня температура становила -8,7°C, що є вдвічі нижчим за норму. Подібні результати отримано й для ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) в умовах вологого субору Лівобережного Лісостепу (Koval & Borysova 2019). Максимальний радіальний приріст сосни в 1973, 1980, 1996 та 2004 рр. обумовлений сприятливим співвідношенням тепла та вологи (рис. 1, 2).

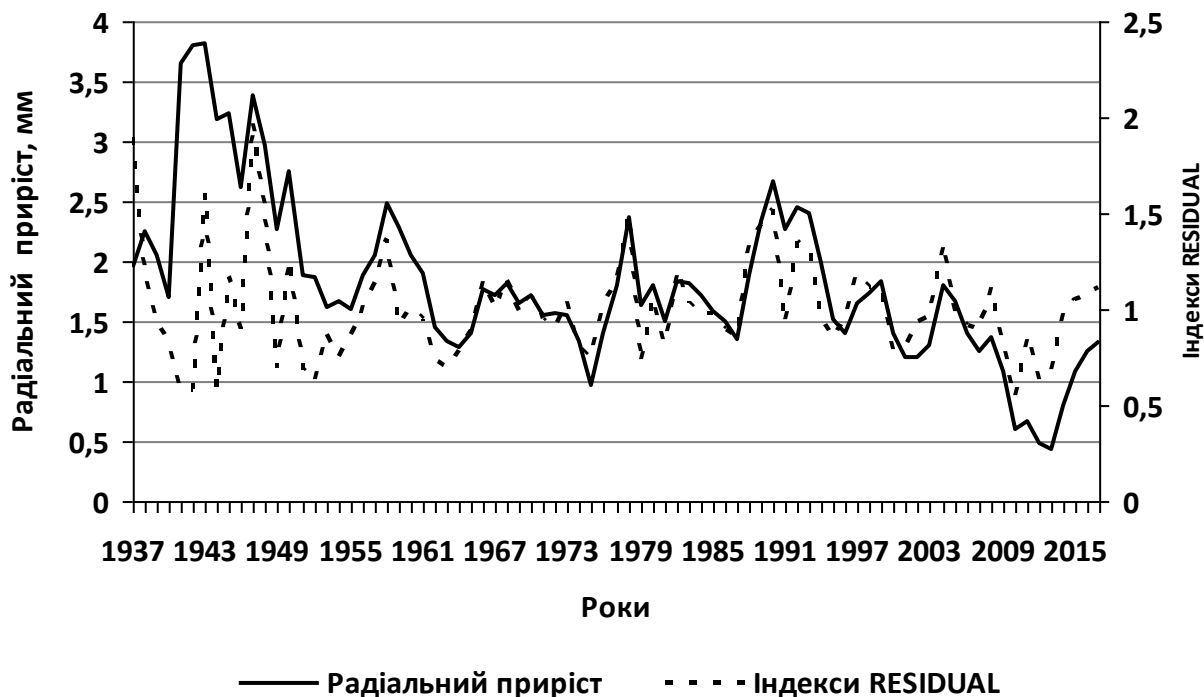


Рис. 1 – Динаміка радіального приросту сосни та індексів RESIDUAL

Посуха є одним із основних кліматичних чинників, що обмежують приріст дерев і часто призводять до тимчасового погіршення стану дерев та їхнього всихання (Schuster & Oberhuber 2013). Після посушливих 1975 та 1987 рр. відбулося різке збільшення радіального приросту сосни внаслідок відмирання найбільш ослаблених дерев на третій рік після впливу стрес-чинників на насадження. Всихання найбільш ослаблених дерев призвело до збільшення площі живлення та покращення умов освітлення для дерев, які залишилися живими. Отже, на третій рік після впливу цих стрес-чинників відбулося підвищення радіального приросту дерев майже вдвічі проти року, який передував впливу екстремальних погодних явищ (див. рис. 1, 2). Посуха може безпосередньо спричинити всихання дерев через гідравлічний збій або опосередковано – як стійке ослаблення дерев за рахунок зменшення накопичення метаболітів (Eilmann et al. 2010).

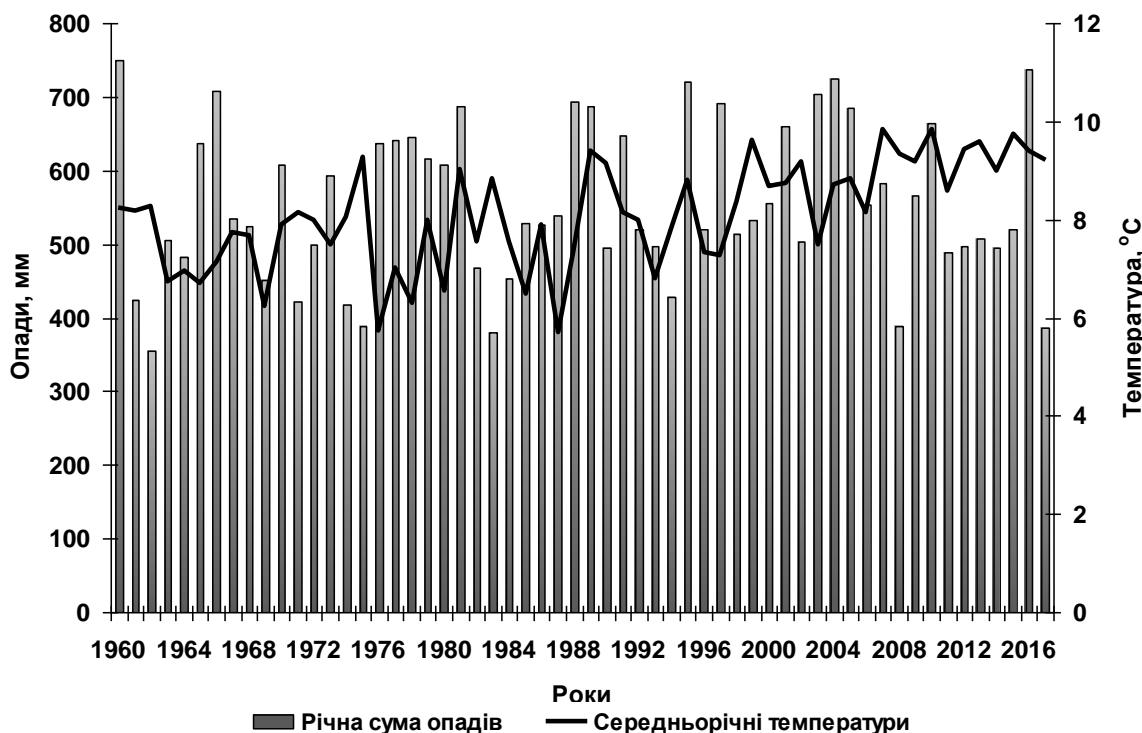


Рис. 2 – Динаміка температур та опадів за даними Харківської метеостанції

Для проведення статистичного аналізу використано програму COFESHA. Необхідною умовою для дендрокліматичних досліджень є висока чутливість приросту дерев до змін метеорологічних показників, яка залежить від умов місцезростання дерева та його породи. Статистичний аналіз виявив придатність отриманих дендрохронологічних серій для дендрокліматичного аналізу, яку підтвердили такі показники, як коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями, чутливість деревно-кільцевих серій, значення яких знаходилися переважно в діапазоні між 0,3 та 0,4. Високі значення автокореляції показали високу залежність формування річного кільця від погодних умов попереднього року (табл. 1) (Cook 1990).

Виявлено взаємозв'язки між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками (опадями та температурами) за два періоди – 1960–1992 та 1985–2017 рр. (див рис. 1, 2).

Таблиця 1

Статистична характеристика шарів річної деревини сосни звичайної за програмою COFESHA

Номер дерева	Інтервал	Кількість років	Кореляційний коефіцієнт	Середня товщина шарів деревини, мм	Стандартне відхилення	Автокореляція	Середня чутливість
1	1940–2017	78	0,452	1,71	0,964	0,567	0,309
2	1950–2017	68	0,355	1,73	0,635	0,321	0,339
3	1940–2017	78	0,485	1,87	0,838	0,380	0,287
4	1940–2017	78	0,385	1,18	0,736	0,599	0,376
5	2000–2017	18	0,785	1,61	0,624	0,700	0,263
6	1950–2017	68	0,409	1,49	0,934	0,705	0,346
7	1960–2017	58	0,603	1,51	1,014	0,592	0,331
8	1970–2017	48	0,523	1,55	0,957	0,769	0,268
9	1950–2017	68	0,564	2,41	1,399	0,728	0,298
10	1960–2017	58	0,267	1,12	0,516	0,801	0,227
11	1950–2017	68	0,320	2,04	1,227	0,077	0,403

Закінчення табл. 1

Номер дерева	Інтервал	Кількість років	Кореляційний коефіцієнт	Середня величина шарів деревини, мм	Стандартне відхилення	Авто-кореляція	Середня чутливість
12	1950–2017	68	0,699	1,92	1,042	0,739	0,334
13	1930–2017	88	0,416	1,67	1,177	0,855	0,285
14	1940–2017	78	0,545	1,39	0,899	0,578	0,380
15	1950–2017	68	0,309	1,08	0,754	0,583	0,300
16	1950–2017	68	0,586	1,31	0,664	0,649	0,335
Загальне, або середнє		1058	0,466	1,6	0,917	0,595	0,322

У другому періоді річна температура була більшою, ніж у першому, на 11 % (0,92 С), температура за серпень – квітень – на 5 % (0,8 С), зимова температура – на 21 % (1 С). Найшвидше підвищилися березневі температури – майже в чотири рази (1,3 С).

Упродовж другого періоду в середньому на рік випало на 4 % (20 мм) більше опадів, у квітні – серпні – на 2 % (5,5 мм) і менше за зимовий період – на 7 % .

Г. Фрітц (Fritts 1976) стверджував, що ширина річних кілець деяких видів хвойних порід, що ростуть на напівсухих ділянках, виявляє інтегрований вплив клімату на продукування речовин живлення та накопичення їх у кроні, гілках, стовбурі протягом 14–15 місяців. У зв'язку із цим, для аналізу впливу клімату на формування шарів річної деревини використано період від червня попереднього року до серпня поточного року.

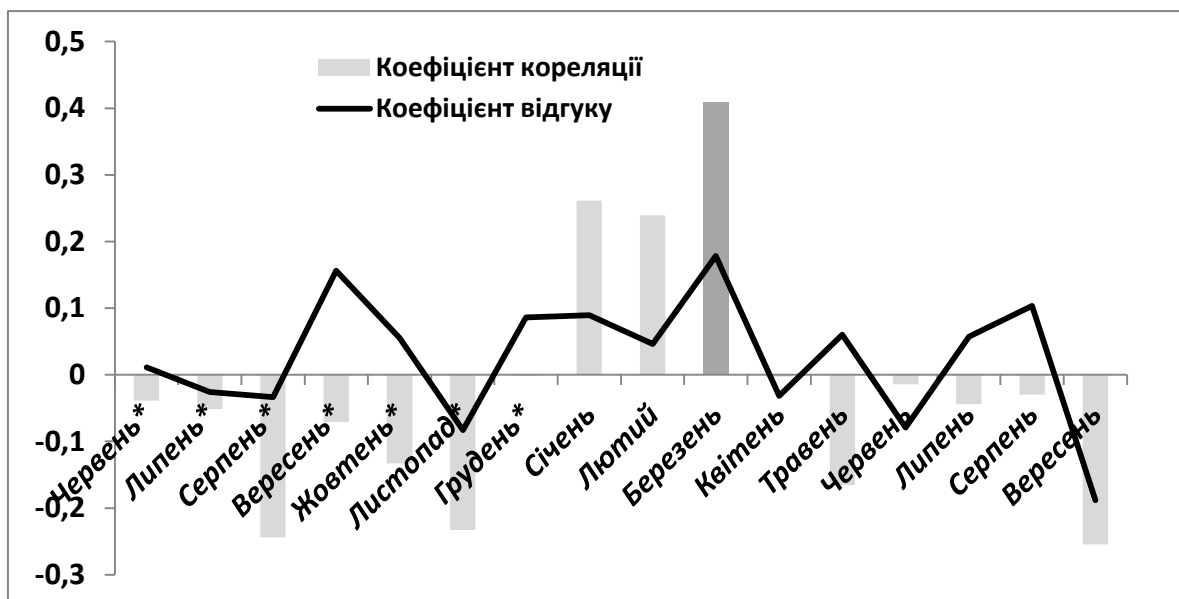
Упродовж 1960–1992 рр. температура попереднього року – від червня до грудня – негативно впливала на приріст дерев. У 1985–2017 рр. цей вплив посилювався і був значущим для червня та серпня (рис. 3).

У наступні місяці – від січня до березня – виявлено позитивний вплив температури на приріст для обох періодів, але для першого періоду цей вплив був сильнішим і навіть для березня – достовірним. У другому періоді потепління взимку із частими відлигами могло ослабити насадження. У 1960–1992 рр. упродовж квітня – вересня поточного року вплив температури на радіальний приріст дерев був зворотним. Цей вплив у 1985–2017 рр. посилювався і для травня, серпня та вересня був статистично значущим (рис. 3).

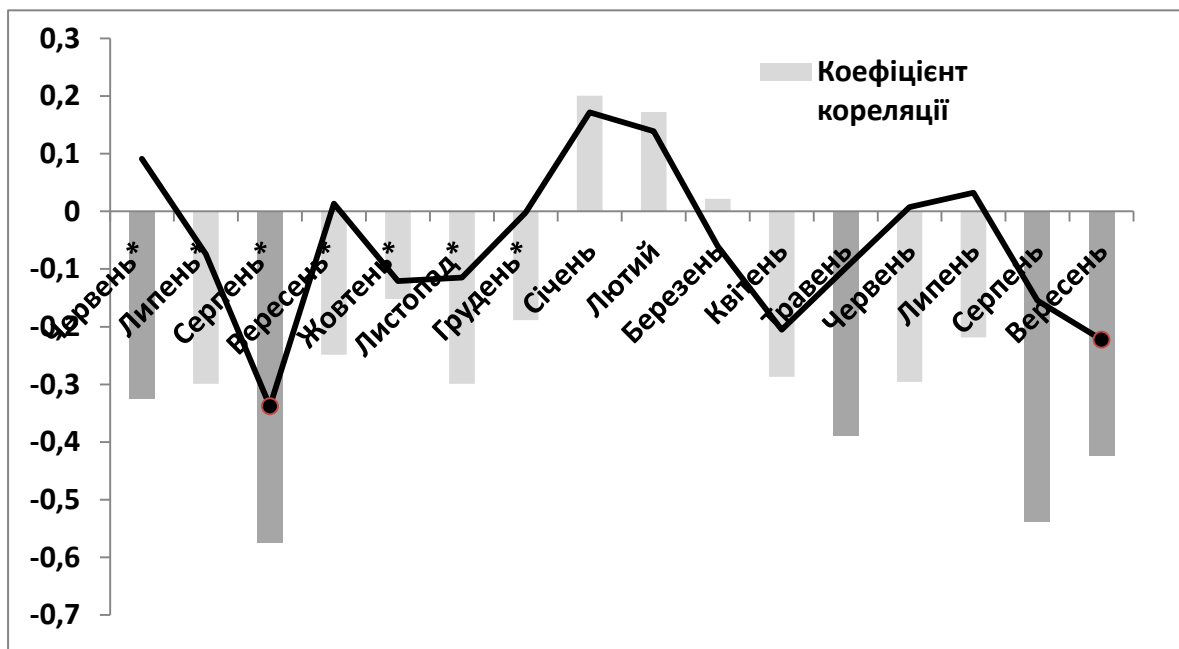
Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку свідчать про переважно додатній зв'язок приросту та опадів у червні – вересні попереднього року для обох періодів. У жовтні – листопаді попереднього року такий зв'язок був від'ємним (рис. 4). У цей час відбувається вологонакопичення в ґрунті, яке впливає на радіальний приріст дерев (Fritts 1976).

Взимку виявлено невеликий додатній вплив опадів на приріст упродовж першого кліматичного періоду. У другому періоді ці зв'язки є від'ємними. Це пояснюється тим, що в першому періоді з порівняно низькими температурами зберігається сніговий покрив, який навесні внаслідок повільного танення насичує ґрунт вологою. У другому періоді в результаті відлиг значної маси снігу може не накопичитися, унаслідок чого ґрунт достатньою мірою не накопичує вологу, що негативно впливає на радіальний приріст сосни. Для першого періоду характерним є позитивний вплив опадів від травня до вересня поточного року, водночас для другого періоду цей проміжок був дещо тривалішим – від березня до вересня поточного року, тобто дефіцит вологи в другому періоді відчувався на місяць раніше, ніж у першому. Значущий позитивний достовірний вплив опадів на радіальний приріст відзначено для першого періоду в червні, а для другого – у травні (рис. 4).

Загалом, у другому періоді дерева стали чутливішими до стрес-чинників унаслідок потепління, про що свідчать результати кореляційного аналізу та функції відгуку.



а) Температура. 1960–1992 рр.



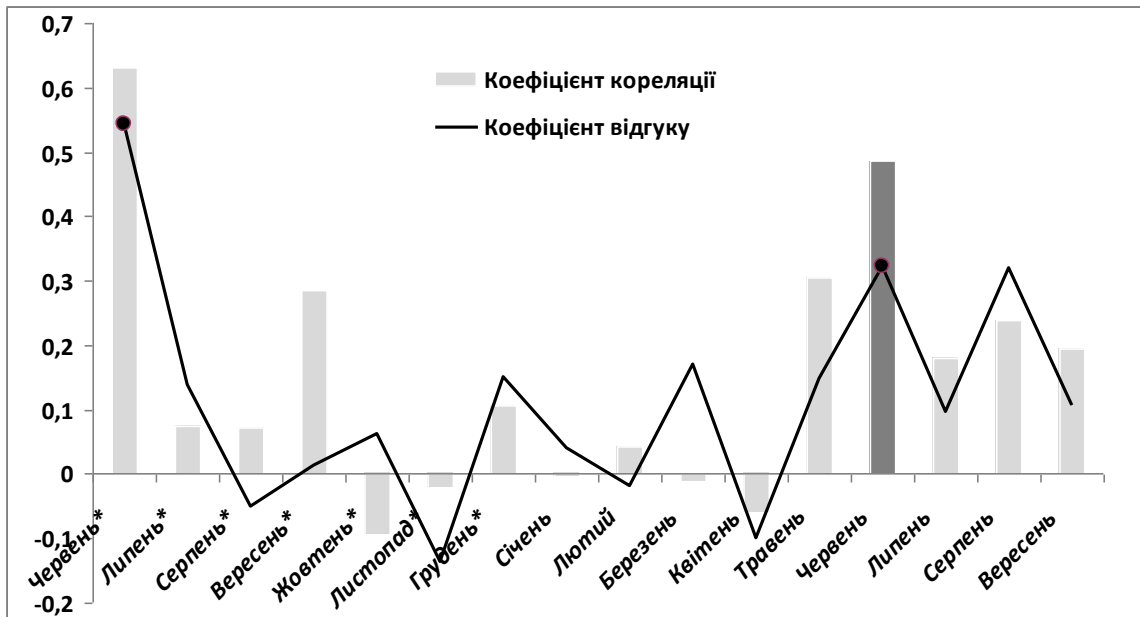
б) Температура. 1985–2017 рр.

Рис. 3 – Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини. Значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом позначено чорними колами. Місяці попереднього року позначено зірочками

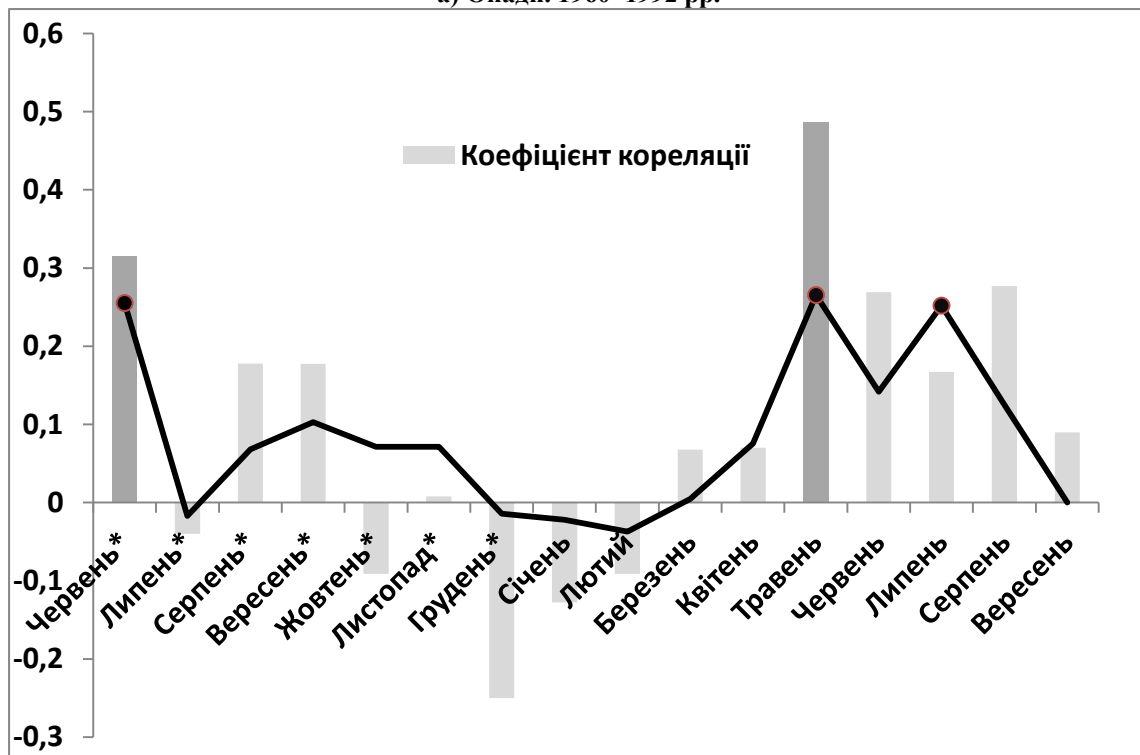
По-перше, збільшилася кількість значущих зв'язків між радіальним приростом і кліматичними чинниками (температурами та опадами) і, по-друге, збільшився на один місяць період негативного впливу опадів на радіальний приріст у період вегетації. Для першого періоду він тривав від травня до вересня, а для другого – від квітня до вересня.

Сценарії зміни клімату передбачають подальше збільшення літньої посухи та зимових опадів і підвищення температури повітря в Європі, тобто збільшення ризиків для життєдіяльності лісових дерев (Executive Report 2011). Подібні дослідження проведено для 1955–2009 рр. в австрійських Альпах у долині річки Інн в умовах порівняно континентального клімату (температура – 7,3°C, кількість опадів – 716 мм). Вони виявили найвищі достовірні коефіцієнти кореляції між приростом і весняними опадами (позитивний вплив) та літніми температурами (негативний вплив) (Schuster & Oberhuber 2013). Подібні

результати отримано нами для другого періоду досліджень (1985–2017 рр.), коли травневі, серпневі та вересневі температури негативно впливали на радіальний приріст сосни. Значущий позитивний вплив опадів на радіальний приріст обчислено для травня.



а) Опади. 1960–1992 рр.



б) Опади. 1985–2017 рр.

Рис. 4. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для сум місячних опадів та індексної деревно-кільцевої хронології ARSTAN для шарів річної деревини. Значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом позначено чорними колами. Місяці попереднього року позначено зірочками

Дослідження деревно-кільцевих хронологій сосни скрученої (*Pinus contorta*) та ялини канадської (*Picea glauca xengelmannii*) на тлі кліматичної зміни у внутрішній частині Британської Колумбії (Канада) для 1922–1997 рр. виявили кореляції в діапазоні від середніх до низьких (-0,3...0,4). Тим не менше, можна виділити помітні тенденції у взаємозв'язках

між радіальним приростом із одного боку та опадами і температурами – з іншого (Lo et al. 2010). У нашому дослідженні відповідні значущі кореляційні коефіцієнти мають значення у такому самому діапазоні – від слабких до середніх (від -0,32 до 0,63).

Висновки. Виявлено роки з мінімальним радіальним приростом: 1975, 1987 та 2013, що обумовлено високими середньорічними температурами 1975 та 2013 рр. та низькими зимовими температурами 1987 р.

Роки з максимальним радіальним приростом (1944, 1957, 1978 та 2004) характеризуються оптимальним співвідношенням тепла та вологи, водночас формування широких шарів річної деревини в 1990 та 1999 рр. можна пояснити теплими зимами та високими ранньовесняними температурами.

Потепління призвело до збільшення чутливості соснових насаджень до зміни клімату в 1985–2017 рр. проти 1960–1992 рр. та посилення негативного впливу підвищення температур на радіальний приріст упродовж не тільки вегетаційного періоду поточного року, але й попереднього.

Збільшилася кількість значущих зв'язків між радіальним приростом і кліматичними чинниками у другому періоді внаслідок ослаблення насадження, викликаного зміною клімату.

Упродовж другого періоду, проти першого, внаслідок потепління посилювався негативний вплив на приріст температур як попереднього року (з червня до грудня), так і вегетаційного періоду поточного року.

Опади попереднього року (від червня до вересня) позитивно впливали на радіальний приріст упродовж обох періодів. Водночас зимові опади в другому періоді стали негативно впливати на формування шарів деревини, а дефіцит опадів у другому періоді (1985–2017 рр.) розпочався в період вегетації на місяць раніше, ніж у першому (1960–1992 рр.), який тривав від березня до вересня.

ПОСИЛАННЯ – REFERENCES

Bondar, V. N. 2019. Prychyny ta naslidky pohirshennya sanitarnoho stanu lisiv i dehradatsiyi lisovykh ekosystem v Ukraini [Causes and consequences of deterioration of the sanitary states of forests and degradation of forest ecosystems in Ukraine]. In: Materialy mizhnarodnoyi naukovopraktychnoyi konferentsiyi: Cosnovi lisy: suchasnyy stan, isnuyuchi problemy ta shlyakhy yikh vyrishennya [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Pine forests: current state, existing problems and ways of solving them]. Kyiv, Ukraine, p. 8–17 (in Ukrainian).

Bréda, N., Huc, R., Granier, A., Dreyer, E. 2006. Temperate forest trees and stands under severe drought: a review of ecophysiological responses, adaptation processes and long-term consequences. *Annals of Forest Science*, 63: 625–644.

Cook, E. R. and Kairiukstis, L. A. (Eds.) 1990. *Methods of dendrochronology – applications in the environmental sciences*. Dordrecht, the Netherlands, Kluwer Academic Publishers and International Institute for Applied Systems Analysis, 394 p.

Didukh, Ya. 2009. Ekolohichni aspekty hlobalnykh zmin klimatu: prychny, naslidky ta diy [Ecological aspects of global climate change: the reasons, consequences and actions]. *Visnyk of the National Academy of Sciences of Ukraine [Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine]*, 2: 34–44 (in Ukrainian).

Eilmann, B., Buchmann, N., Siegwolf, R., Saurer, M., Cherubini, P., Rigling, A. 2010. Fast response of Scots pine to improved water availability reflected in tree-ring width and $\delta^{13}C$. *Plant Cell and Environment*, 33: 1351–1360.

Executive Report. 2011. *The Condition of Forests in Europe*. [Electronic resource]. ICP Forests, 25 p. Available from: <https://www.icp-forests.org/pdf/ER2011.pdf> (last accessed date 06.11.2019)

Fischer, R., Beck, W., Calatayud, V., Cools, N., De Vos, B., Dobbertin, M., ..., Stofer, S. 2011. *The condition of forests in Europe. 2011 Executive Report*. Hamburg: Institute for World Forestry, 25 p.

Fritts, H. C. 1976. *Tree rings and climate*. Acad. press., 567 p. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-268450-0.X5001-0>

Grissino-Mayer, H. D. 2001. Evaluating crossdating accuracy: A manual and tutorial for the computer program COFECHA. *Tree-Ring Res.*, 57: 205–221.

Holmes, R. L. 1994. *Dendrochronology program library user's manual*. Laboratory of Tree Ring Research. Tucson, Arizona, U.S.A

Koval, I. M. and Borysova, V. L. 2019. Reaktsiya na zminy klimatu radialnoho pryrostu yasena zvychno v nasadzhenyakh Livoberezhnoho Lisostepu [Response to climate change of radial growth of common ash in plantations]

of the Left Bank Forest Steppe]. *Naukovyy visnyk NLTU Ukrayiny [Scientific Bulletin of UNFU]*, 29(2): 53–57 (in Ukrainian).

Lindsey, R. and Dahlman, L. 2019. Climate Change: Global Temperature [Electronic resource]. Available from: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-change-global-temperature> (last accessed date 19.09.2019).

Lo, Y. H., Blanco, J. A., Seely, B., Welham, C., Kimmins, J. P. H. 2010. *Forest Ecology and Management*, 259 (5): 932–942.

Marquardt, P. E., Miranda, B. R., Jennings, S., Thurston, G., Telewski F. W. 2019. Variable climate response differentiates the growth of Sky Island Ponderosa Pines. *Trees*, 33: 317–332. <https://doi.org/10.1007/s00468-018-1778-9>

Mason, W. L. and Alia, R. 2000. Current and future status of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) forests in Europe. *Investigacion Agraria: Sistemas y Recursos Forestales Fuera de Serie*, 1: 317–334.

Meshkova, V. 2019. Doslidzhennya v Ukrayini z pytan prohnozuvannya poshyrennya shkidlyvykh orhanizmiv u sosnovykh lisakh [Research in Ukraine on the prediction of the spread of harmful organisms in pine forests]. In: *Materialy mizhnarodnoyi nauково-praktychnoyi konferentsiyi: Cosnovi lisy: suchasnyy stan, isnuyuchi problemy ta shlyakhy yikh vyrishennya [Proceedings of the International Scientific and Practical Conference: Pine forests: current status, existing challenges and ways forward]*. Kyiv, p. 137–140 (in Ukrainian).

Misi, D., Puchalka, R., Pearson, C., Robertson, I., Koprowski, M. 2019. Differences in the climate-growth relationship of Scots pine: A case study from Poland and Hungary. *Forests*, 10 (3): 243.

Orlowsky, B. and Seneviratne, S. 2012. Global changes in extreme events: regional and seasonal dimension. *Climatic Change*, 110: 669–696.

Schuster, R. and Oberhuber, W. 2013. Age-dependent climate-growth relationships and regeneration of *Picea abies* in a drought-prone mixed coniferous forest in the Alps. *Can. J. For. Res.*, 43(7): 609–618.

Koval I. M.¹, Voronin V. O.²

RESPONSE OF *PINUS SYLVESTRIS* L. RADIAL GROWTH TO CLIMATE CHANGE IN STANDS IN LEFT-BANK FOREST-STEPPE

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

²V. N. Karazin Kharkiv National University

The aim of the research was to study the features of the pine (*Pinus sylvestris* L.) radial growth response to climate change in the middle-aged pure pine stand within the Left-Bank Forest-Steppe. Standard dendrochronological techniques were used. The years of minimal radial growth were revealed, namely 1975, 1987 and 2013, that was brought about by high average temperatures in 1975 and 2013 and low winter temperatures in 1987. The years of maximum radial growth (1944, 1957, 1978 and 2004) are characterized by an optimal balance of warmth and humidity. Relationships between radial pine growth and climatic factors (precipitation and temperatures) for two periods, 1960–1992 and 1985–2017, were identified. In the second period, trees became more sensitive to weather stress factors due to warming, as evidenced with the results of correlation analysis and response function. The negative influence of the temperatures of the previous year and those of the current year's growing season on the formation of pine radial growth increased.

К е у w o r d s : *Pinus sylvestris* L., radial growth, climate change, precipitation, temperature.

Коваль И. М.¹, Воронин В. О.²

РЕАКЦИЯ РАДИАЛЬНОГО ПРИРОСТА *PINUS SYLVESTRIS* L. НА ИЗМЕНЕНИЕ КЛИМАТА В НАСАЖДЕНИЯХ ЛЕВОБЕРЕЖНОЙ ЛЕСОСТЕПИ

¹Украинский научно-исследовательский институт лесоводства и агролесомелиорации им. Г. Н. Высоцкого

²Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина

Цель исследования – выявление особенностей реакции радиального прироста сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) на изменение климата в средневозрастном чистом сосновом насаждении Левобережной Лесостепи. Использованы стандартные дендрохронологические методики. Выявлены годы минимального прироста: 1975, 1987 и 2013, что обусловлено высокими среднегодовыми температурами 1975 и 2013 гг. и низкими зимними температурами 1987 г. Годы максимального прироста (1944, 1957, 1978 и 2004) характеризуются оптимальным соотношением тепла и влаги. Выявлены взаимосвязи между радиальным приростом сосны и климатическими факторами (осадками и температурой) за два периода – 1960–1992 и 1985–2017 гг. Во втором периоде деревья стали более чувствительными к погодным стресс-факторам вследствие потепления, о чем свидетельствуют результаты корреляционного анализа и функции отклика. Усилилось негативное влияние температур предыдущего года и вегетационного периода текущего года на радиальный прирост сосны.

К л ю ч е в ы е с л о в а : *Pinus sylvestris* L., радиальный прирост, изменение климата, осадки, температура.

E-mail: koval_iryana@ukr.net

Одержано редколегією: 06.12.2019