



УДК 630*114.31 : 630*181.65

Вплив кліматичних чинників на формування радіального приросту деревини горіха грецького

Л. С. Осадчук¹, В. К. Магуран², Л. М. Кондратюк³

Кліматичні умови Правобережного Лісостепу України, зокрема кількість опадів і середньомісячні температури, впливають на ріст і розвиток горіха грецького, який є одним із характерних видів для цього регіону. Відзначено важливість вивчення впливу кліматичних чинників на ріст лісових насаджень та необхідність їх урахування під час вирощування горіха грецького у Правобережному Лісостепу.

Статистичний аналіз деревно-кільцевих хронологій свідчить про придатність їх для подальшого аналізу в зв'язку з тим, що встановлені серії мають міжсерійний коефіцієнт кореляції 0,59 для плантаційного насадження та 0,55 для лісового деревостану. Чутливість деревно-кільцевої хронології плантаційного насадження децю перевищує середнє значення і становить 0,32, а для лісового насадження становить лише 0,17 і є нижчою, ніж середнє значення. Таким чином, горіх грецький при плантаційному вирощуванні є більш чутливим до варіабельності умов довкілля порівняно, з лісовими насадженнями, які є більш стійкішими впливу до негативних чинників. Також за результатами аналізу значень радіального приросту, стандартного відхилення, коефіцієнтів варіації та чутливості деревно-кільцевих хронологій, виокремлено періоди росту і розвитку горіха грецького, які характеризувались певними особливостями формування радіального приросту.

Радіальний приріст горіха грецького при плантаційному вирощуванні показав достовірний зворотний зв'язок із опадами, проте опади не мали значного впливу на формування приросту за діаметром у дерев, які ростуть у лісових умовах. Різна реакція горіха грецького на кліматичні зміни в плантаційних насадженнях і лісових умовах дає змогу застосовувати відповідні технологічні заходи для нівелювання або послаблення прояву негативних стресових кліматичних проявів.

Ключові слова: середньорічні температури; сума річних опадів; кліматограма; деревно-кільцеві хронології; коефіцієнти кореляції; гідротермічний коефіцієнт Селянінова.

Вступ (Introduction). Ретельне вивчення впливу кліматичних умов на рослинний світ дає змогу краще розуміти й прогнозувати динаміку росту та розвитку рослин у різних екосистемах. Зокрема, річні кільця дерев є фундаментальним індикатором змін клімату, екосистеми та природного се-

редовища загалом, оскільки ріст дерев завжди залежить від сукупності кліматичних та екологічних впливів. З цього погляду значні можливості мають дендроекологічні дослідження, які пов'язують параметри деревних кілець, насамперед, ширину кільця, з умовами довкілля. Завдяки особливостям

¹ Осадчук Леонід Семенович – академік Лісівничої академії наук України, доктор сільськогосподарських наук, професор, завідувач кафедри ботаніки, деревнознавства та недревних ресурсів лісу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: l.osadchuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8719-8125>

² Магуран Володимир Костянтинович – асистент кафедри ботаніки, деревнознавства та недревних ресурсів лісу. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: vol.mahuran20@nltu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7786-3874>

³ Кондратюк Любов Миколаївна – старший викладач кафедри лісівництва. Національний лісотехнічний університет України, вул. Генерала Чупринки, 103, м. Львів, 79057, Україна. E-mail: l.kondratiuk@nltu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4760-2127>

розвитку деревних кілець (у роки зі сприятливими умовами дерева формують широкі кільця, за несприятливих – вузькі), а також довговічності деревних рослин, ряди деревних кілець відображають реакцію дерев на зміни кліматичних умов впродовж тривалого періоду часу. Таким чином, величини приростів деревних кілець забезпечують основне джерело інформації, необхідної для розуміння кліматичної чутливості росту дерев, а також для оцінювання придатності деревних видів для вирощування у певних кліматичних умовах.

Річні радіальні прирости дерев є ефективним інструментом для реконструкції минулих кліматичних умов і створення хронології кільця дерев (Fritts, 1976; Bradley, & Jones, 1992). Зокрема, хронологію деревних кілець можна використовувати для оцінки впливу кліматичних змін на продуктивність лісу, на зміни у видовому складі рослинності, на зміни у біорізноманітті, оскільки нагромадження деревної біомаси і, відповідно, продуктивність деревних компонентів є результатом синтезу фізіологічних процесів і взаємодії дерев з абіотичними чинниками (Kienast, Wildi, & Brzeziecki, 1998; Saxe, et al., 2001; Sitch, et al., 2003; Thuiller, et al., 2005).

Найбільші за площею у світі горіхові ліси, що трапляються у природному стані, розташовані на південному заході Киргизстану (Nemery, & Porov, 1998; Venglovsky et al., 2010), а, саме, у Ферганському та Чаткальському хребтах Тянь-Шанської гірської системи. Вони охоплюють понад 631 тис. га, включаючи майже 44,9 тис. га чистих деревостанів *Juglans regia* L. (Forest Service, 2020). Ці ліси є цінними носіями високого генетичного різноманіття, а також вони є одним із трьох відомих центрів походження грецького горіха у світі, поряд з горіховими лісами в гірських районах Афганістану та Китаю (Loskutov, 1999). Унікальність цих насаджень стала причиною того, що в 2016 р. гори Західного Тянь-Шаню були визнані Всесвітньою природною спадщиною ЮНЕСКО.

Поряд з цим, найбільшу небезпеку для горіхових лісів у країнах походження виду становлять кліматичні зміни (Winter et al., 2009). Сценарії зміни клімату передбачають подальше підвищення температури, яка буде значно вищою від середнього глобального рівня (Climate Change, 2022), що посилить тиск на екосистеми. Ріст горіха грецького визначається широким спектром фізіологічних процесів – фотосинтезом, транспірацією, реакцією на стресові умови. Взаємодія з абіотичними чинниками (доступ до вологи, рівень освітлення, ґрунтові умови) також має значний вплив на ріст і продуктивність горіха грецького (Nemery et al., 2010; Gauthier, & Jacobs, 2011). Проте, на сьогодні вкрай мало досліджень з впливу зміни умов навколишнього середовища на ріст грецького горіха (Tyrgotov et al., 2024), а в Україні такі дослідження практично відсутні. З цього погляду високу актуальність представляє вивчення чутливості горіха грецького до клімату в часовому вимірі, а також реакції росту деревного виду на екстремальні та несприятливі природні явища.

Об'єкт дослідження – насадження горіха грецького у плантаційних (Крижопільський р-н Вінницької обл., 48°14'16.0"N 28°38'46.9"E) та лісових умовах (філія «Крижопільське ЛП» Вінницької обл., 48°16'08.9"N 28°37'21.7"E). **Предмет дослідження** – особливості реакції радіального приросту горіха грецького в умовах лісових екосистем та плантаційного вирощування на кліматичні зміни.

Мета роботи полягала в оцінюванні дендрохронологічними і статистичними методами впливу кліматичних чинників на формування радіального приросту горіха грецького у лісових екосистемах та в умовах плантаційного вирощування.

Методичні підходи (Methodical approaches). Під час здійснення польових дендрохронологічних досліджень на пробних площах встановлювали таксаційні показники та підбирали модельні дерева II і III класів росту, з яких відбирали зразки (керни) деревини. Керни відібрано на висоті стовбура 1,3 м. З кожного дерева було відібрано два зразки, уникаючи відбору в зонах з реакційною або компресійною деревиною або деревиною, що містить вади структури та форми. Зібрані зразки зберігали і транспортували в спеціальних паперових пробірках для забезпечення процесу їх природного процесу сушіння та уникнення появи цвіль. Для вимірювання ширини кільця та запобігання розлому, керни наклеювали на дерев'яну основу – кернотримачі, які представляють собою дошку прямокутної форми завширшки 20 см і завтовшки 1,5-2 см, на одній зі сторін якої виточені пази під керни. Для фіксації кернів використовували клей, який добре скріплює дерев'яні поверхні і в той же час зберігає можливість від'єднання керна від дерев'яної основи. Для оцінювання величини радіального приросту горіха грецького використовували загальноприйняті дендрохронологічні та статистичні методи (Cook & Kairiukstis, 1990).

Результати досліджень (Research results). Клімат Правобережного Лісостепу є помірно-континентальним, що визначається показником континентальності, який зростає від заходу до сходу регіону. У напрямку від західних до східних районів відмінності в температурних режимах та опадах стають більш помітними. Коливання температури має великий вплив на сезонні процеси росту та розвитку рослин. Зокрема, тривалість фенологічних фаз (цвітіння, плодоношення та опадання листя) залежить від погодних умов, що своєю чергою впливає на зовнішні ознаки рослин (Магуран, Осадчук, 2023).

Особливо посушливими були 2007-2009 рр., коли середньорічний показник опадів був значно нижчим від середнього багаторічного показника, і становив менше 200 мм (40-42% від середніх багаторічних показників) (рис. 1). Низьку середньорічну температуру повітря спостережено у 1996, 2006 та 2021 рр., яка на 20-24% була нижчою, ніж за попередні роки спостереження.

Основними чинниками, які впливають на коливання ширини річних кілець, є зміна кліматичних умов, зокрема загальної кількості опадів як основ-

ної, та середньої температури – як вторинної кліматичної змінної. Так, у теплі та вологі роки можуть виникати сприятливі умови для збільшення річного приросту, тоді як у сухі або холодні періоди, складаються несприятливі умови для росту дерев. Здійснені дослідження підтверджують важливість вивчення впливу кліматичних чинників на ріст лісових наса-

джень та підкреслюють необхідність їх урахування під час культивування горіха грецького.

У першій половині вегетації (травень-червень) кліматичні умови Правобережного Лісостепу характеризувалися високим рівнем опадів, що забезпечило сприятливий вологісний режим ґрунту (рис. 2).

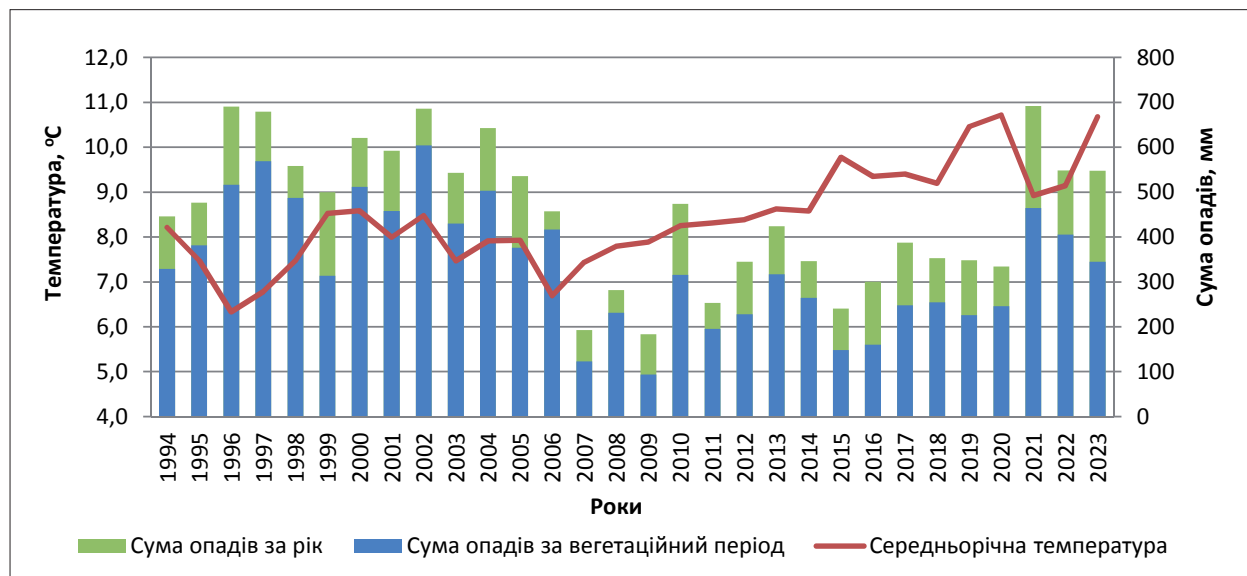


Рис. 1. Динаміка середньорічних температур та суми річних опадів за даними метеорологічної станції Вінниці (<https://meteostat.net/>)

Fig. 1. Dynamics of average annual temperatures and total annual precipitation according to data from the Vinnytsia meteorological station (<https://meteostat.net/>)

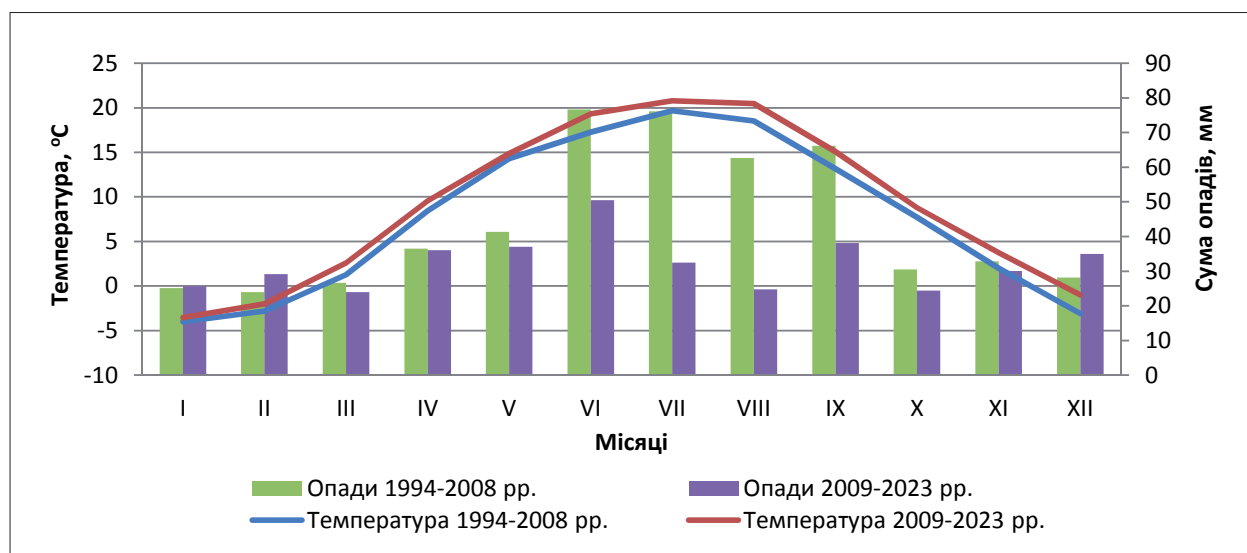


Рис. 2. Кліматограма метеорологічної станції Вінниці (<https://meteostat.net/>)

Fig. 2. Climatogram of the Vinnytsia meteorological station (<https://meteostat.net/>)

У другій половині вегетації (липень-серпень), навпаки, зафіксовано зниження кількості опадів, що має неоднозначний вплив на продуктивні запаси води в ґрунті. Встановлено, що в травні лише впродовж нетривалого періоду з досліджених років (1995-2001 рр.) рівень опадів був оптимальний –

40-50 мм, а впродовж чотирьох років (2003, 2004, 2009 і 2013 рр.) неістотно знижений – 30-40 мм. В інші роки сума опадів була істотно завищена (2019-2021 рр.) і становила 95-115 мм (146% відносно багаторічної норми). В період 2008, 2009, 2011 та 2023 рр. також спостережено несприятливі

гідротермічні умови і вкрай низьку місячну суму опадів, яка іноді сягала критично низьких значень і не перевищували 10 мм. Також і в інші літні місяці (червень, липень) фіксували несприятливі гідротермічні умови. При цьому сума місячних опадів коливалась від 2 до 155 мм і значно відрізнялась від середньої багаторічної норми – 88 мм. Відомо, що відхилення від норми температури та опадів на 30% і більше (як у більший, так і в менший бік),

спричиняє депресію радіального приросту. Досліджені деревно-кільцеві хронології горіха грецького складаються із 1152 річних приростів річної деревини та базуються на 36 індивідуальних деревно-кільцевих хронологіях із двох локальних хронологій (рис. 3). Для виявлення тенденцій у рості та розвитку горіха грецького в лісових умовах та при плантаційному вирощуванні здійснено порівняння їхнього радіального приросту.

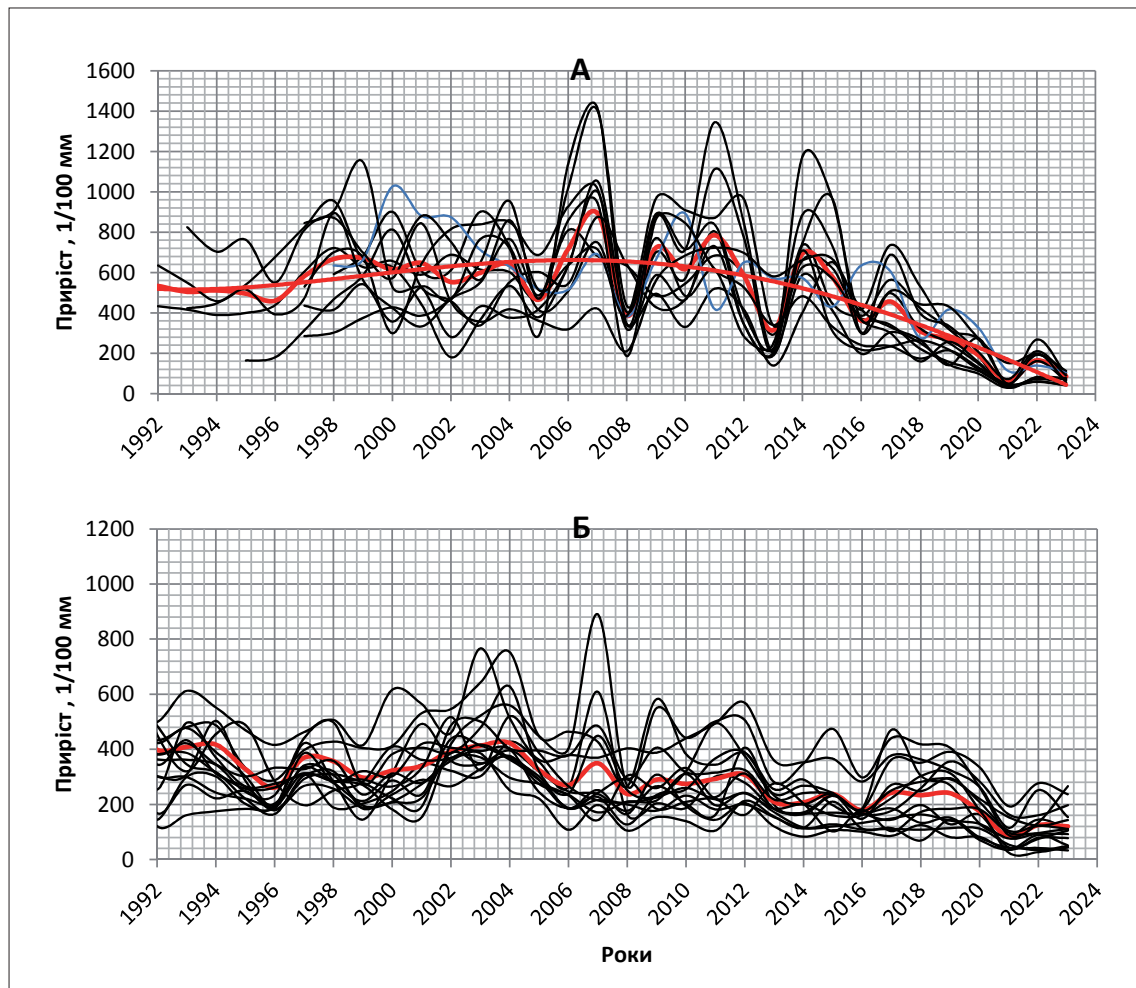


Рис. 3. Деревно-кільцеві хронології горіха грецького А – плантаційне насадження, Б – лісове насадження (червоним кольором відмічено середнє значення)

Fig. 3. Tree-ring chronologies of walnut A – plantation, B – forest stands (average values are marked in red)

Статистичний аналіз річних кілець свідчить про придатність деревно-кільцевих хронологій для подальшого аналізу в зв'язку з тим, що ці серії мають міжсерійний коефіцієнт кореляції 0,59 для плантаційного насадження та 0,55 – для лісового деревостану при критичному значенні коефіцієнта 0,32 (табл.).

Чутливість деревно-кільцевої хронології плантаційного насадження дещо перевищує середнє значення і становить 0,32, а для лісового насадження, навпаки, становить 0,17 і є нижчою за середнє значення. Таким чином, горіх грецький при плантаційному вирощуванні є чутливішим до варіабельності умов довкілля порівняно із лісовими наса-

дженнями. Автокореляція деревно-кільцевої хронології є високою для обох насаджень, що свідчить про значний вплив умов попереднього року на приріст поточного року.

Порівнюючи радіальні прирости деревного виду, можна виокремити декілька періодів росту і розвитку, кожен з яких характеризується певними особливостями формування радіального приросту.

1. Період ранньої молодості (до 10 років). У цьому періоді збільшується головним чином активний радіальний приріст. Дерев зазвичай формують скелет крони та розгалуження, створюючи основу для майбутнього росту. У період 1992-1997 рр. у плантаційному та лісовому насаджен-

нях коливання приросту є подібним, однак у плантаційних умовах вирощування приріст був дещо вищим, ніж у деревостанів, що ростуть у лісових умовах. Впродовж 1997-2000 рр. величини радіальних приростів у плантаційному насадженні зростають і значно перевищують такі величини у лісових умовах. Відмінності статистично достовірні, що підтверджується однофакторним дисперсійним аналізом $F_f = 0,04-0,08 < F_T(0,95) = 2,05$.

Таблиця. Описова статистика для дендрохронологічних серій радіального приросту горіха грецького при плантаційному вирощуванні та в лісових умовах

Table. Descriptive statistics for dendrochronological series of walnut radial increment under plantation cultivation and in natural forest growth conditions

Показники	Плантаційне насадження	Лісове насадження
Середня ширина річного шару, мм	4,98	2,70
Мінімальне значення, мм	0,62	0,80
Максимальне значення, мм	8,94	4,20
Стандартна помилка, мм	0,35	0,15
Стандартне відхилення, мм	2,00	0,88
Точність, %	7,08	5,74
Довірчий інтервал (0,05)	0,72	0,32
Коефіцієнт варіації, %	40,04	32,46
Міжсерійний коефіцієнт кореляції	0,60	0,55
Популяційний сигнал	0,97	0,96
Автокореляція першого порядку	0,60	0,82
Середня чутливість деревно-кільцевих хронологій	0,32	0,17
Коефіцієнт подібності деревно-кільцевих хронологій	67,7	

2. Період інтенсивного росту (10-25 р.). У цей час дерева зазвичай демонструють найбільшу активність радіального приросту. Рослини швидко збільшують свої розміри за висотою та діаметром, інтенсивно конкуруючи за світло та ресурси з іншими деревами. Період 2002-2013 рр. для горіха грецького у плантаційних насадженнях характеризувався найбільшим значенням радіальних приростів (3,14-8,93 мм) за максимального значення у 2007 році. Радіальний приріст у лісових деревостанах у цей же період був помітно нижчим і коливався у діапазоні 1,96-3,93 мм. Значення радіального приросту у плантаційному насадженні переважали приріст у лісовому насадженні на 48-240%. Таким чином, висока конкуренція у лісових деревостанах за світло і площу живлення не дала змоги досягати максимальних показників приросту і є достовірно нижчою порівняно із плантаційними насадженнями, в яких конкуренція між деревами є низькою.

3. Період помірного росту (25-35 р.). Після інтенсивного росту, радіальний приріст зменшується, але все ще залишається високим. Рослини стабілізують свій розмір та форму, конкуренція за світло, вологу та елементи живлення дещо послаблюється. З 2019 р. спостережено спад приросту у горіха грецького як при плантаційному вирощуванні, так і в лісових умовах, а їх абсолютні величини починають вирівнюватися.

Потрібно відзначити, що у всі періоди росту відмінності між плантаційними та лісовими насадженнями статистично достовірні, що підтверджується однофакторним дисперсійним аналізом $F_f = 0,01-0,08 < F_T(0,95) = 2,05$.

Відомо, що сила кореляції або якість хронологій річного приросту змінюється залежно від лісостановних умов, в яких були взяті зразки, і залежно від того чи іншого періоду (Fritts, 1976; Cook, & Kairiukstis, 1990). Аналізуючи взаємозв'язки між кліматом і радіальним приростом у лісових умовах упродовж періоду від вересня попереднього року – до липня поточного року встановлено, що впродовж 1994-2008 рр. температура повітря позитивно впливала на радіальний приріст за діаметром впродовж майже усього річного циклу. Спостережено середньої сили достовірний прямий кореляційний зв'язок приросту із температурою повітря за вересень-листопад минулого року, а також за літні місяці поточного року та за вегетаційний період і за рік в цілому ($r = 0,31-0,57$ при $t_{\phi} = 1,14-2,33 > t_{\kappa p} = 0,58-0,76$). Упродовж квітня-травня поточного року не виявлено істотного впливу температури на радіальний приріст деревини, зв'язок був слабким і недостовірним (рис. 4).

У другому періоді 2009-2023 рр. температура повітря у зимові місяці та за серпень поточного року мала негативний вплив на формування радіального приросту горіха грецького, кореляційний зв'язок був зворотнім середньої тісноти ($r = -0,35-0,58$ при $t_{\phi} = 1,31-2,14 > t_{\kappa p} = 0,6-0,73$). Лише у квітні і травні температура повітря мала

позитивний вплив на приріст, зв'язок був достовірним середньої тісноти ($r = 0,0,53-0,58$ при $t_{\phi} = 2,14-2,39 > t_{кр} = 0,0,57-0,60$). Таким чином, у 1994-2008 рр. температура повітря як у минулому році у період переходу до зимового спокою, так і в

поточному році позитивно вплинула на приріст за діаметром у дерев горіха грецького. В період 2009-2023 рр. лише квітневі і травневі температури позитивно вплинули на формування деревини, оскільки в цей період починається процес ксилогенезу.

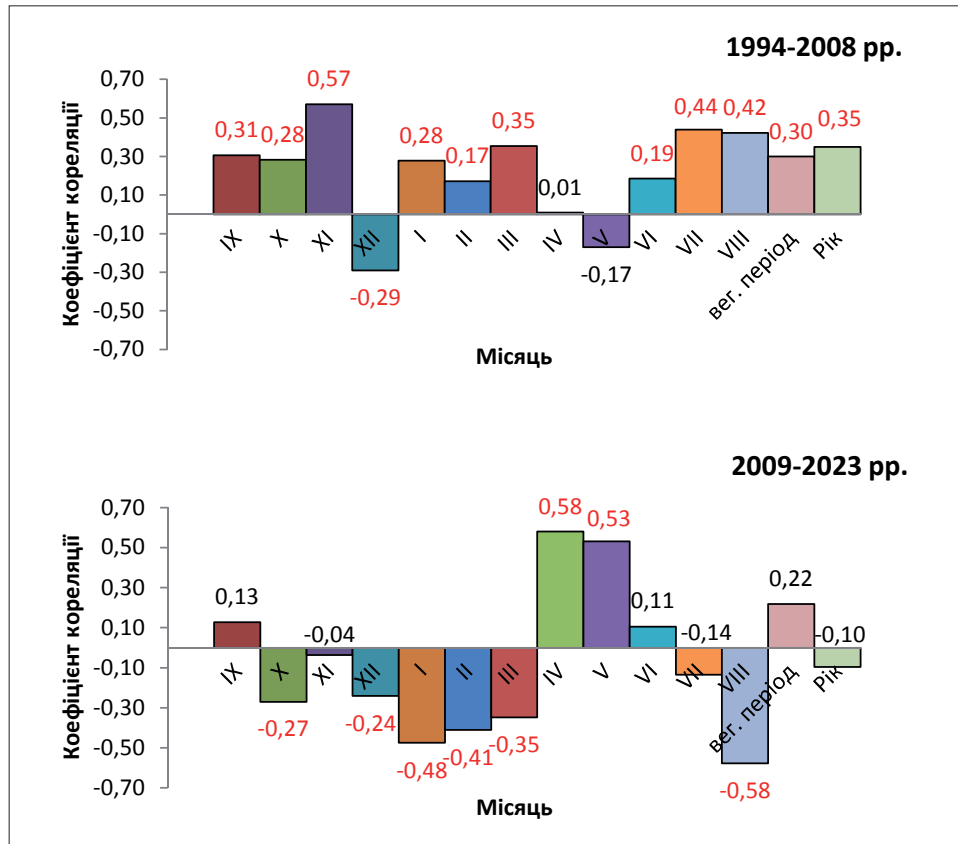


Рис. 4. Коефіцієнти кореляції між радіальним приростом горіха грецького при вирощуванні в лісових умовах та місячними і сезонними середніми температурами повітря (червоним кольором відмічено значимі зв'язки)

Fig. 4. Correlation coefficients between the radial increment of walnuts when grown in forest conditions and monthly and seasonal average air temperatures (significant relationships are marked in red)

Під час аналізу впливу температури повітря на формування річних приростів у 1994-2008 рр. при плантаційному вирощуванні горіха грецького також спостережено позитивний вплив температури на формування деревини як у попередньому, так і в поточному роках (рис. 5).

Так, кореляційний зв'язок приросту деревини із температурою повітря виявився прямий та істотним середньої сили ($r = 0,32-0,40$ при $t_{\phi} = 1,20-1,54 > t_{кр} = 0,69-0,75$) як за вегетаційний період, так і за рік в цілому. У період 2009-2023 рр. температура повітря у березні-травні також мала позитивний вплив на приріст деревини. При цьому істотним середньої тісноти зв'язок був із температурою повітря у березні та квітні ($r = 0,32$ ($t_{\phi} = 1,18 > t_{кр} = 0,76$) та $r = 0,31$ ($t_{\phi} = 1,17 > t_{кр} = 0,76$)) відповідно. Можна припустити, що агротехнічні заходи, які здійснюються під час догляду за плантаціями, можуть нівелювати вплив стресових погодних умов, зокрема високих або низьких температур на ріст горіха грецького.

Також спостережено середньої тісноти зв'язок приросту із сумою опадів минулого року у вересні та липні, а також у серпні поточного року ($r = 0,50-0,60$) (рис. 6). Зафіксовано середньої сили зв'язок величини річного кільця із опадами у січні та лютому, а також за вегетаційний період і рік в цілому ($r = 0,43-0,48$). Цей зв'язок виявився достовірним ($t_{\phi} = 1,77-1,82 > t_{05} = 0,64-0,67$). Потрібно відзначити, що вплив опадів на радіальний приріст у період 2004-2023 рр. зменшився. Лише сума опадів у жовтні, листопаді минулого року та червні – поточного року мали позитивний вплив на радіальний приріст ($r = 0,25-0,41$ при $t_{\phi} = 0,95-1,62 > t_{05} = 0,69-0,81$).

Деяку іншу тенденцію впливу суми опадів на радіальний приріст горіха грецького відмічено у плантаційних насадженнях. Лише сума опадів за жовтень минулого року мала слабкий позитивний вплив на формування приросту ($r = 0,29$ при $t_{\phi} = 1,15 > t_{кр} = 0,77$). В інші місяці та за вегетаційний період і рік в цілому зв'язок суми опадів із приростом деревини був відсутнім (рис. 7).

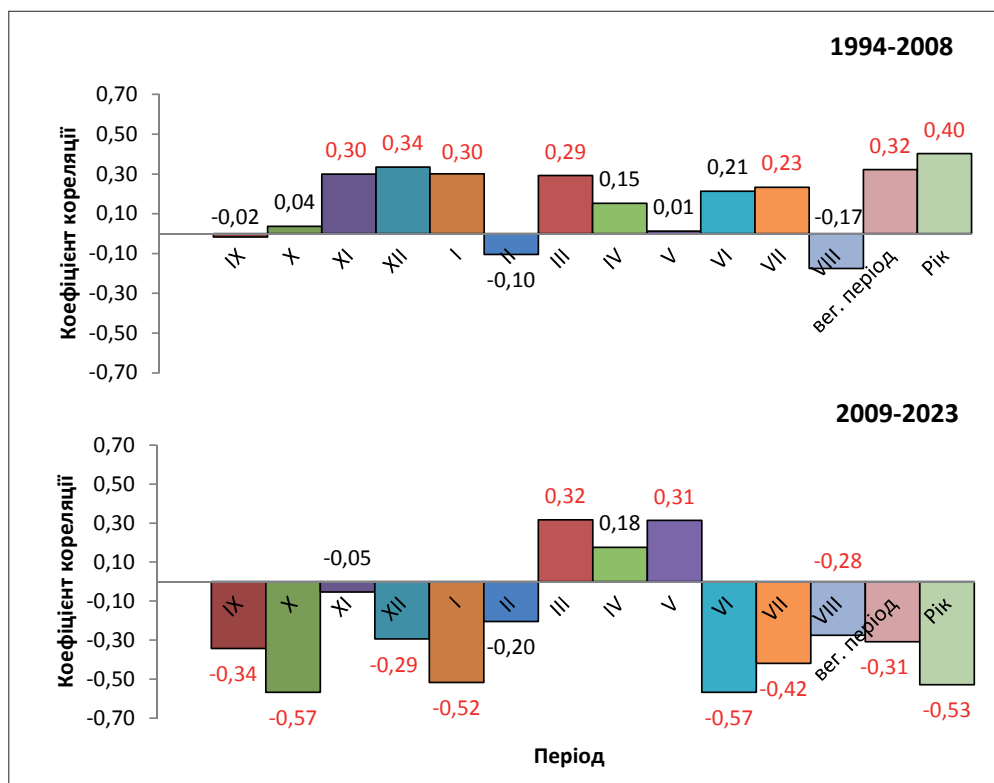


Рис. 5. Коефіцієнти кореляції між радіальним приростом горіха грецького при плантаційному вирощуванні та місячними і сезонними середніми температурами повітря (червоним кольором відмічено значимі зв'язки)

Fig. 5. Correlation coefficients between the radial increment of walnut under plantation cultivation and monthly and seasonal average air temperatures (significant relationships are marked in red)

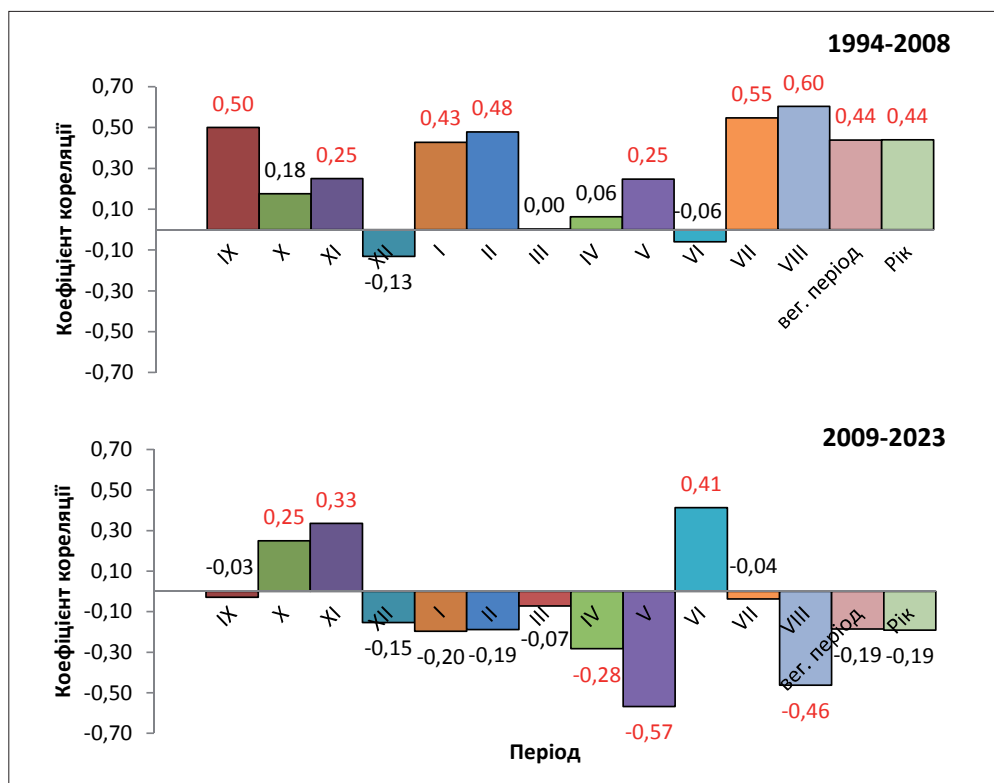


Рис. 6. Коефіцієнти кореляції між радіальним приростом горіха грецького в лісових умовах та місячними і сезонними сумами опадів (червоним кольором відмічено значимі зв'язки)

Fig. 6. Correlation coefficients between radial increment of walnut in forest growth conditions and monthly and seasonal amounts of precipitation (significant relationships are marked in red)

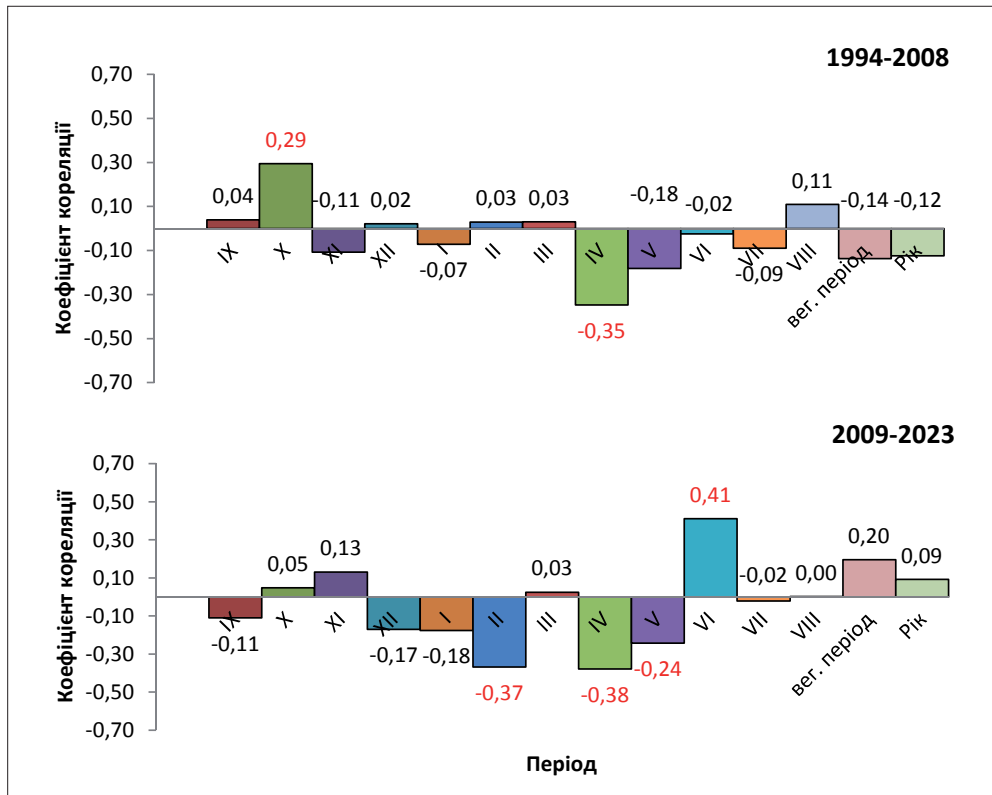


Рис. 7. Коефіцієнти кореляції між радіальним приростом горіха грецького при плантаційному вирощуванні та місячними і сезонними сумами опадів (червоним кольором відмічено достовірні зв'язки)

Fig. 7. Correlation coefficients between the radial increment of walnut under plantation cultivation and monthly and seasonal amounts of precipitation (reliable links are marked in red)

За період 2009-2023 рр. помірної тісноти зв'язок приросту із сумою опадів спостережено за червень поточного року ($r = 0,41$ при $t_{\phi} = 1,58 > t_{кр} = 0,69$). Однак, впродовж цього періоду спостереження відбулось зменшення кількості опадів та підвищення температури повітря за вегетаційний період, що могло негативно позначитися на радіальному прирості горіха грецького при плантаційному вирощуванні. Таким чином, кореляційний аналіз впродовж двох періодів росту насаджень (перший – 1994-2003 рр., другий – 2004-2023 рр.) показав, що внаслідок зміни клімату, а саме, підвищення температури повітря та зменшення кількості опадів (які були не регулярними, але інтенсивними) неоднозначно вплинуло на формування радіального приросту як у лісових екосистемах, так і в плантаційних насадженнях. Зокрема, впродовж першого періоду (1994-2003 рр.) позитивний вплив на радіальний приріст мали опади у більшості місяців як за минулий рік, так і на початку поточного року, а також і в літні місяці (липень-серпень). У другому періоді (2004-2023 рр.) унаслідок підвищення середньої температури та збільшення кількості екстремальних погодних явищ, таких як посухи та сильні дощі, вплив опадів мав неоднозначний характер, а саме, лише сума опадів у жовтні, листопаді минулого року та червні поточного року мала позитивний вплив на радіальний приріст.

Для оцінювання комплексного впливу кліматичних умов на радіальний приріст деревини горіха грецького було використано гідротермічний коефіцієнт Селянінова (ГТК), який показує рівень посушливості кліматичних умов та визначається як відношення суми опадів ($\sum r$) за період з середньодобовими температурами повітря вище 10°C до суми температур ($\sum T$) за той же час, зменшеної в 10 разів. За кореляційним аналізом встановлено, що між радіальним приростом горіха грецького у лісових умовах і ГТК за липень та серпень існують статистично значущі прямі зв'язки середньої сили ($r = 0,52-0,63$ при $t_{\phi} = 2,69-3,89 > t_{кр} = 0,53-0,61$) (рис. 8).

Також встановлено середньої сили прямий зв'язок приросту горіха грецького із ГТК за вегетаційний період ($r = 0,42$ при $t_{\phi} = 2,31 > t_{кр} = 0,68$). При плантаційному вирощуванні залежність радіального приросту горіха грецького від ГТК в цілому за вегетаційний період не виявлено.

Дискусія (Discussion). Оскільки ростові кільця є невід'ємним елементом усіх ростових елементів, тому дендрологічні дослідження дають можливість реконструювати щорічну історію росту дерев. Таким чином, ряди радіального приросту дають унікальну перспективу того, як дерева реагують прямо чи опосередковано на вплив широкого спектру кліматичних чинників.

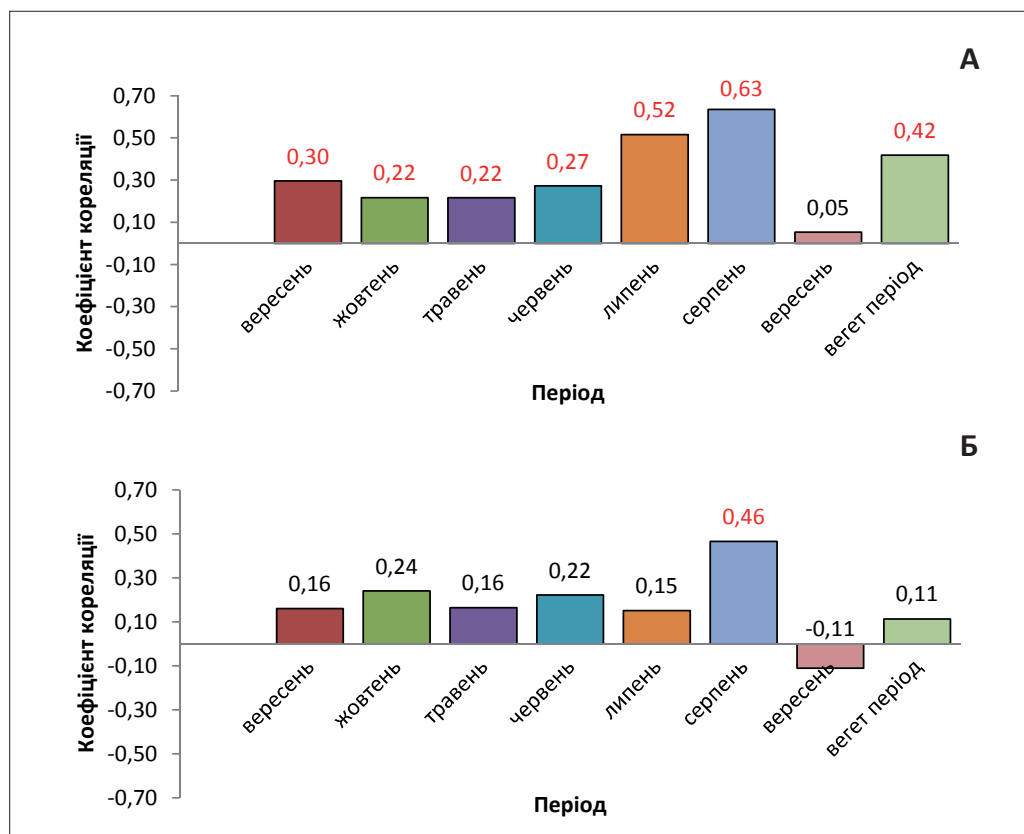


Рис. 8. Залежність між радіальним приростом та місячними і сезонними ГТК.

А – лісове насадження; Б – плантаційне насадження

Fig. 8. Dependence between radial increment and monthly and seasonal HTC.

A – natural forest stands; Б – plantation

Кліматичні умови поточного року, а також осені попереднього року мають вагомий вплив на приріст дерев. Пряму кореляцію між приростом та осінніми температурами попереднього року можна пояснити сприятливими умовами для запасання метаболітів у разі теплої осені. У таких умовах дерева мають більше можливостей нагромадити необхідні ресурси для подальшого росту (Коваль, 2023). Однак, з іншого боку, підвищені осінні температури можуть мати негативний вплив на приріст дерева у наступному році. Послаблення приросту може статися через подовження періоду функціонування листового апарату, що призводить до збільшених витрат метаболітів на дихання та обмежує формування метаболічних резервів, необхідних для активного росту дерева під час настання нового періоду вегетації (Levanic, & Eggertsson, 2008). Також позитивний вплив сприятливих кліматичних умов на радіальний приріст, зокрема, загальної кількості опадів та опадів впродовж сезону вегетації за попередній рік, пов'язаний з утворенням бруньок протягом попереднього року, що сильно впливає на обсяг листового апарату та приріст деревини у наступному році (Kozłowski, & Pallardy, 1997). Теплі весняні місяці зумовлюють більш ранній початок вегетаційного періоду, однак вони можуть збільшити ймовірність водно-

го стресу впродовж вегетаційного періоду та призвести до передчасного припинення активності камбію (Tardif, & Conciatori, 2006). Роки найвищих і найнижчих величин радіального приросту слабо відрізняються за середньомісячними температурами повітря. У той же час встановлено наявність тісного зв'язку індексу ширини річного кільця з показниками гідротермічного коефіцієнта (Іванюк, Фучило, 2020)

Горіх грецький відомий своїм відносно повільним ростом порівняно з іншими деревними видами. Проте нагромадження деревної маси залежить від багатьох чинників, які також включають і фізіологічні процеси, зокрема їхню адаптивність до чинників зовнішнього середовища (Cosmulescu et al., 2019). Аналізуючи взаємозв'язок між урожайністю горіха грецького та річним приростом, виявлено достовірну позитивну кореляцію між урожайністю поточного року та шириною кільця попереднього року (Winter et al., 2009).

Існує певна невизначеність щодо величини потенційного впливу зміни клімату на ріст горіха грецького. Деякі результати досліджень вказують на те, що зміна клімату може негативно вплинути на ріст дерев, проте є й протилежні результати. Ймовірно, горіх грецький може опинитися в невідповідному становищі через його сприйнятливості до

посухи та морозів у регіонах вирощування, враховуючи прогнозоване підвищення температури та екстремальні кліматичні явища. В регіонах, які наразі вважаються холодними для росту грецького горіха, можна спостерігати посилення приживлюваності та росту залежно від швидкості підвищення температури та частоти прояву екстремальних кліматичних явищ (Craig et al., 2010; Améglio et al., 2001; Améglio et al., 2002; Črepinšek et al., 2009).

Висновки (Conclusions). Радіальний приріст горіха грецького при плантаційному вирощуванні та в лісових умовах позитивно реагує на загальну зволоженість території як за попередній рік, так і у поточному році. Особливо це стосується деревостанів у лісових умовах, які більшою мірою реагують на зміни кліматичних чинників. При цьому радіальний приріст горіха грецького при плантаційному вирощуванні показав слабкий прямий зв'язок з ГТК. І навпаки, опади мали помітніший вплив на формування приросту за діаметром у дерев, які ростуть у лісових умовах.

У періоді росту 2004-2023 рр. зі збільшенням інтенсивності і частоти екстремальних погодних умов впродовж вегетативного періоду (насамперед, високі температури повітря та дефіцит вологи), спостерігали негативний вплив цих явищ на ріст горіха грецького, зокрема спричиняють суттєві зміни в темпах росту дерев. Такий результат може бути додатковою ознакою того, що високі температури збільшують ймовірність водного стресу впродовж вегетативного періоду, що може призвести до дефіциту вуглеводів, необхідних для підтримки оптимального радіального приросту. Різна реакція горіха грецького на кліматичні зміни, вирощеного у плантаційних та лісових умовах, дає змогу застосовувати технологічні заходи для нівелювання або послаблення впливу негативних стресових чинників, включаючи вибір відповідних сортів та корекцію режимів поливу і догляду за насадженнями.

Список літератури (References)

- Іванюк, І. Д., Фучило, Я. Д. (2020) Вплив метеорологічних чинників на радіальний приріст дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудів Полісся України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 20, 57-63. [Ivanyuk, I., Fuchylo, Y. (2020). Influence of meteorological factors on the radial increase of English oak trees in the fresh and moist fairly fertile forest types conditions of the Ukrainian Polissya. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 20, 57-63. <https://doi.org/10.15421/412005>] (in Ukrainian)
- Коваль, І. М. (2023). *Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України*. Харків: Мачулін. [Koval, I. M., (2023). *Dendrochronological principles of assessment of pine and oak stands in Ukraine*. Kharkiv: Machulin. Retrieved from

- https://www.researchgate.net/publication/369825923_Dendrochronologichni_zasadi_ocinuvanna_sosnovih_i_dubovih_derevostaniv_Ukraini] (in Ukrainian)
- Магуран, В. К., Осадчук, Л. С. (2023). Особливості сезонного розвитку *Juglans regia* L. у Правобережному Лісостепу України. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*, 25, 113-121. [Mahuran, V., & Osadchuk, L. (2023). Features of the seasonal development of *Juglans regia* L. in the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine. *Proceedings of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine*, 25, 113-121. <https://doi.org/10.15421/412308>] (in Ukrainian)
- Améglio, T., Cochard, H., Lacoite, A., Vandame, M., Bodet, C., Cruiziat, P., ... Martignac, M. (2001). Adaptation to cold temperature and response to freezing in walnut tree. *Acta Hort.* 544, 247-254. <https://doi.org/10.17660/ActaHortic.2001.544.33>
- Améglio, T., Bodet, C., Lacoite, A., & Cochard, H. (2002). Winter embolism, mechanisms of xylem hydraulic conductivity recovery and springtime growth patterns in walnut and peach trees. *Tree Physiology*, 22(17), 1211-1220. <https://doi.org/10.1093/treephys/22.17.1211>
- Bradley, R. S., & Jones, P. D. (1992). *Climate since A.D. 1500*. London: Routledge. <https://doi.org/10.4324/9780203430996>
- Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability* (2023). Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. <https://doi.org/10.1017/9781009325844>
- Cook, E. R., & Kairiukstis, L. A. (1990). Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences. *Kluwer Academic Publishers*.
- Cosmulescu, S. N., Bîrsanu Ionescu, M., & Netoiu, C. (2019). Impact of Climatic Factors on Radial Growth in Walnut (*Juglans regia* L.). *Notulae Scientia Biologicae*, 11(2), 304-308. <https://doi.org/10.15835/nsb11210492>
- Craig D. Allen, Alison K. Macalady, Haroun Chenchouni, Dominique Bachelet, Nate McDowell, Michel Vennetier, ... Neil Cobb (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>
- Črepinšek, Z., Solar, M., Štampar, F., & Solar, A. (2009). Shifts in walnut (*Juglans regia* L.) phenology due to increasing temperatures in Slovenia. *The Journal of Horticultural Science and Biotechnology*, 84(1), 59-64. <https://doi.org/10.1080/14620316.2009.11512480>
- Forest Service. (2020). Forest ecosystems of the Kyrgyz Republic – Message from the Forest Service to UNECE (United Nations Economic Commission for Europe). Retrieved from https://unece.org/sites/default/files/202012/FR_Kyrgyz%20Republic-FLR-Seideeva-Yrsaliev.workshop%209%20December%202020.pdf

- Fritts, H.C. (1976). *Tree Rings and Climate*. London: Academic Press.
- Gauthier, M.M., & Jacobs, D.F. (2011). Walnut (*Juglans* spp.) ecophysiology in response to environmental stresses and potential acclimation to climate change. *Annals of Forest Science*, 68, 1277-1290. <https://doi.org/10.1007/s13595-011-0135-6>
- Hemery, G.E., & Popov, S.I. (1998). The walnut (*Juglans regia* L.) forests of Kyrgyzstan and their importance as a genetic resource. *Commonwealth Forestry Review*, 77, 272-276. Retrieved from <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/19990601134>
- Hemery, G.E., Clark, J.R., Aldinger, E., Claessens, H., Malvolti, M.E., O'Connor, E., ... Brus, R. (2010). Growing scattered broadleaved tree species in Europe in a changing climate: A review of risks and opportunities. *Forestry*, 83(1), 65-81. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpp034>
- Kienast, F., Wildi, O., & Brzeziecki, B. (1998). Potential impacts of climate change on species richness in mountain forests: An ecological risk assessment. *Biological Conservation*, 83, 291-305. [http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207\(97\)00085-2](http://dx.doi.org/10.1016/S0006-3207(97)00085-2)
- Kozłowski, T.T., & Pallardy, S.G. (1997). *Physiology of Woody Plants*. Academic Press. Retrieved from <https://www.sciencedirect.com/book/9780120887651/physiology-of-woody-plants>
- Levanic, T., & Eggertsson, O. (2008). Climatic effects on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fnjoskadalur valley, northern Iceland. *Dendrochronologia*, 25, 135-143. <https://10.1016/j.dendro.2006.12.001>
- Loskutov, I.G. (1999). *Vavilov and his institute: A history of the world collection of plant genetic resources in Russia*. International Plant Genetic Resources Institute <https://hdl.handle.net/10568/104272>
- Saxe, H., Cannell, M.G.R., Johnsen, O., Ryan, M.G. & Vourlitis, G. (2001). Tree and Forest Functioning in Response to Global Warming. *New Phytologist*, 149, 369-399. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1469-8137.2001.00057>
- Sitch, S., Smith, B., Prentice, I.C., Arneth, A., Bondeau, A., Cramer, W., ... Venevsky, S. (2003). Evaluation of Ecosystem Dynamic, Plant Geography and Terrestrial Carbon Cycling in the LPJ Dynamic Global Vegetation Model. *Global Change Biology*, 9, 161-185. <http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2486.2003.00569>
- Tardif, J.C., & Conciatori, F. (2006). Influence of Climate on Tree Rings and Vessel Features in Red Oak and White Oak Growing near Their Northern Distribution Limit, Southwestern Quebec, Canada. *Canadian Journal of Forest Research*, 36, 2317-2330. <http://dx.doi.org/10.1139/x06-133>
- Thuiller, W., Lavorel, S., Arujo, M.B., Sykes, M.T. & Prentice, I.C. (2005). Climate Change Threats to Plant Diversity in Europe. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 102, 8245-8250. <http://dx.doi.org/10.1073/pnas.0409902102/>
- Tyrgotov, A., Ernst van der Maaten, Gradel, A., & Marieke van der Maaten-Theunissen (2024). Growth responses of Persian walnut (*Juglans regia* L.) to climate variation along its full elevational range in Kyrgyzstan. *Dendrochronologia*, 85, 126203. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2024.126203>
- Venglovsky, B.I., Mamadjanov, D., Sorg, J.P., Reh-nus, M., Sarymsakov, Z., & Abdulkharov, B. (2010). Bioecological bases for forestry management in the walnut forests of Kyrgyzstan and their multifunctional uses. Bishkek, *National Academy of Sciences the Kyrgyz Republic. South. Branch, Inst. Walnut Fruit. Cult*, 220. Retrieved from <https://www.research-collection.ethz.ch/handle/20.500.11850/159942>
- Winter, M.-B., Wolff, B., Gottschling, H., & Cherubini, P. (2009). The impact of climate on radial growth and production of Persian walnut (*Juglans regia* L.) in Southern Kyrgyzstan. *European Journal of Forest Research*, 128, 531-542. <https://doi.org/10.1007/s10342-009-0295-1>

Influence of climate factors on the formation of radial increment of walnut wood

L. Osadchuk¹, V. Mahuran², L. Kondratiuk³

It has been studied that the climatic conditions of the Right-bank Forest-Steppe of Ukraine, in particular the amount of precipitation and average monthly temperatures, affect the growth and development of walnut, a characteristic species of this region. The importance of studying the influence of climatic factors on the growth of forest plantations was noted, and the need to take into account these factors when growing walnuts in the climatic conditions of the Right-Bank Forest Steppe, characterized by a high level of precipitation in the first half of the growing season, was emphasized. This factor plays an essential role in ensuring a favorable soil moisture regime. In the second

¹ Leonid Osadchuk – Full Member of the Forestry Academy of Sciences of Ukraine, Doctor of Agricultural Sciences, Professor, Head of the Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: l.osadchuk@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8719-8125>

² Volodymyr Mahuran – PhD, Assistant at the Department of Botany, Wood Science and Non-Wood Forest Products. Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. +38-068-040-80-82. E-mail: vol.mahuran20@ntu.lviv.ua ORCID: <https://orcid.org/0009-0007-7786-3874>

³ Liubov Kondratiuk – Senior Lecturer at the Department of Silviculture, Ukrainian National Forestry University, 103 General Chuprynka st., Lviv, 79057, Ukraine. E-mail: l.kondratiuk@ntu.edu.ua ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-4760-2127>

half of the growing season (July-August), on the contrary, a decrease in precipitation was observed, which has an ambiguous effect on the productive reserves of moisture in the soil. In particular, it was found that in May, only during a short period of the years studied (1995-2001), the level of precipitation was optimal – 40-50 mm, over the course of four years (2003, 2004, 2009 and 2013), it decreased slightly – 30-40 mm.

The statistical analysis of annual increments shows their suitability for further analysis since these series have an inter-series correlation coefficient of 0.59 for the plantation forest and 0.55 for the natural forest stand. The sensitivity of the tree-ring chronology of the plantation forest slightly exceeds the average value and is 0.32, while for the natural forest stand on the contrary, it is 0.17 and is lower than the average value. Thus, walnuts under plantation cultivation are more sensitive to variations in environmental conditions compared to natural forest stands.

Based on the analysis of the values of radial increment, standard deviation, coefficients of variation, and sensitivity, the walnut growth and development periods are distinguished, characterized by certain features and conditions for plant growth. Based on the value of the sensitivity coefficient, it was found that walnut stands growing in natural forest conditions are more steady-state.

It was found that the radial increment of walnuts under plantation cultivation showed a significant negative relationship with precipitation. Conversely, precipitation did not significantly affect the formation of diameter growth in trees growing in natural forest conditions.

The correlation analysis for two periods of plant growth (the first period 1994-2003 and the second period 2004-2023) showed that due to climate changes, namely, an increase in air temperature and a decrease in the amount of precipitation (which was irregular and intense) changed growth response both in forest ecosystems and plantations. In the growing season of 2004-2023, with an increase in the intensity and frequency of extreme weather conditions during the vegetative development of plants, such as high air temperatures and moisture deficit, the negative impact of these phenomena on the growth of walnuts was observed. The different response of walnuts grown in plantation and natural forest conditions to climatic changes makes it possible to apply technological measures to mitigate or reduce the manifestation of negative stressful climatic effects.

Key words: average annual temperatures; amount of annual precipitation; climatogram; tree-ring chronologies; correlation coefficients; Selyaninov hydrothermal coefficient.