

І.М. Коваль



**ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ
ОЦІНЮВАННЯ СОСНОВИХ І ДУБОВИХ
ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНИ**



Державне агентство лісових ресурсів України
Національна академія наук України
Український орден «Знак Пошани» науково-дослідний інститут
лісового господарства та агролісомеліорації
імені Г.М. Висоцького

І.М. КОВАЛЬ

**ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ
СОСНОВИХ І ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНИ**

Монографія

Харків – 2023

УДК 630*561.24: 551.583.4

*Рекомендовано до друку вченою радою
Українського науково-дослідного
інституту лісового господарства та
агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького
(протокол №2 від 1 лютого 2023 р.)*

Рецензенти:

Лавний Василь Володимирович, д-р с.-г. професор, професор Державного вищого навчального закладу «Національний лісотехнічний університет України», проректор з наукової роботи.

Іванюк Ігор Дмитрович, д-р с.-г. наук, директор Малинського фахового коледжу.

Мєшкова Валентина Львівна, д-р с.-г. наук, професор, академік Лісівничої академії наук України, головний науковий співробітник відділу ентомології, фітопатології та фізіології Українського науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького.

Коваль І.М.

Дендрохронологічні засади оцінювання соснових і дубових деревостанів України: монографія / Х.: Мачулін, 2023,- 252 с.

ISBN 978-617-8195-25-0

Наведено результати досліджень щодо теоретичних узагальнень та особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного на зміни клімату та антропогенні фактори в лісових екосистемах у різних природних зонах України. На підставі зразків із живих дерев розвинено нові регіональні деревно-кільцеві хронології для сосни звичайної та дуба звичайного у деревостанах Полісся та Лівобережного Лісостепу. Побудовано дві локальні деревно-кільцеві хронології для сосни кримської для деревостанів південного схилу Кримських гір.

Теоретично і практично обґрунтовано і доведено ефективність поєднання дендрохронологічних, лісівничих, таксаційних та методів порівняльної екології, які дозволяють виявляти потенційну можливість адаптації деревних порід до зміни клімату, виявити особливості реакції радіального приросту сосни звичайної та дуба звичайного на зміни клімату в умовах антропогенного навантаження.

Розраховано на фахівців лісового господарства, захисту лісу, науковців, аспірантів і студентів лісгосподарських та біологічних факультетів ВНЗ.

УДК 630*561.24: 551.583.4

ISBN 978-617-8195-25-0

© Коваль І.М., 2023

© УкрНДЛГА ім. Г. М. Висоцького, 2023

ВСТУП

Вивчення механізмів стійкості лісових екосистем до зміни клімату та адаптації до неї є надзвичайно актуальним питанням сьогодення. Дендрохронологічний аналіз дає змогу отримати відповіді на великий спектр питань, пов'язаних із динамікою лісу, оцінкою стану насаджень, реконструкцією клімату та прогнозуванням природно-кліматичних і антропогенних змін [13, 118, 141, 236, 239, 250, 259, 265, 293, 297, 322, 352, 392–394]. До негативних наслідків глобальних змін клімату належать зміни структури деревостанів у зв'язку зі зсуненням границь ареалів лісових видів, збільшення тривалості пожежонебезпечного періоду, покращення умов для спалахів шкідників, збільшення ймовірності пізніх весінніх приморозків, погіршення умов місцезростання внаслідок зниження рівня ґрунтових вод, погіршення умов перебування дерев у стані зимового спокою внаслідок нестійкого снігового покриву. Підвищення температур, зміна режиму, інтенсивності та частоти опадів спричиняють погіршення санітарного стану лісів, ослаблення та масове всихання деревостанів. Посилення негативного впливу абіотичних, біотичних та антропогенних факторів призводить до порушення їх природного розвитку, всихання та зменшення біорізноманіття [160, 165–167, 331, 365].

Згідно з євроінтеграційною спрямованістю політики України, яка підтримала міжнародні дії, спрямовані на боротьбу зі зміною клімату, Верховна Рада ратифікувала Рамкову конвенцію ООН про зміну клімату. Відповідно до Паризької угоди, де зазначено, що багатофункціональне та стійке лісове господарство є надважливою складовою у стабілізації змін клімату, надзвичайно важливим, є вивчення питання щодо впровадження принципів сталого розвитку у практику, у тому числі адаптації лісових екосистем до змін клімату [135, 138, 180, 187, 324].

Унаслідок застосування методів дендрохронологічного та дендро-кліматичного аналізу для виявлення та оцінки зовнішніх впливів на лісові екосистеми, сформувався науковий напрямок – дендроіндикація природної та антропогенної динаміки стану екосистем. В умовах зміни клімату деревостани, пошкоджені промисловим забрудненням та рекреацією, стають надзвичайно вразливими до впливу стрес-факторів. Побудова регіональних дендро-кліматичних шкал природної мінливості радіального приросту дерев у різних лісорослинних умовах створює основу екологічного

моніторингу стану лісових екосистем [14, 121, 181, 251, 259, 255, 271, 351, 400–402, 405].

В Україні є наявний досвід дендрохронологічних досліджень [22, 42, 62, 72, 119, 140, 143, 191, 216, 219, 350]. Погіршення стану деревостанів, їх усихання під впливом несприятливих абіотичних, біотичних та антропогенних факторів в умовах зміни клімату потребує подальших методичних розробок в області дендрохронології для подальшого вивчення адаптації лісових екосистем до нових умов.

Дослідження присвячені виявленню особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного на зміну клімату та антропогенне навантаження в деревостанах Полісся, Лісостепу та південних схилів Кримських гір. Згідно із цим було приділено увагу: розвитку нових регіональних деревно-кільцевих хронологій для сосни звичайної, дуба звичайного у деревостанах Полісся та Лівобережного Лісостепу та створенню локальних деревно-кільцевих хронологій для сосни кримської для деревостанів південного схилу Кримських гір; встановленню комплексу факторів, які впливають на формування річного кільця сосни та дуба в умовах зміни клімату та антропогенного навантаження (антропогенного забруднення та рекреації); виявленню особливостей впливу на стан дубових деревостанів коливань рівня ґрунтових вод у Поліській частині Новоград-Волинського фізико-географічного району в умовах зміни клімату

Автор висловлює щирі подяки доктору с.-г. наук, професору, чл.-кор. НААН України П. І. Лакиді за всебічну підтримку, високо кваліфіковану допомогу упродовж досліджень; доктору с.-г. наук, професору, академіку ЛАНУ В. Л. Мешковій за надзвичайно цінні поради та підтримку; керівництву Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького; моїм колегам – співробітникам лабораторії екології лісу; керівництву і колективам Державного підприємства «Новоград-Волинське ДЛМГ», Харківської лісової науково-дослідної станції УкрНДІЛГА, Кримської гірсько-лісової науково-дослідної станції УкрНДІЛГА та співробітникам Житомирської гідрогеолого-меліоративної експедиції. А також моїй родині за віру та підтримку.

РОЗДІЛ 1

ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РЕТРОСПЕКТИВНОГО ТА ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ

1.1. Теоретичні та методологічні засади дендрохронологічного аналізу

Дендрохронологія – це набір концептуальних і практичних інструментів, які використовують запис кілець дерев як інструмент для кращого розуміння мережі землі, океану, атмосфери, життя та людського суспільства. Основні методи та основне обґрунтування для аналізу деревних кілець встановлені та продовжують удосконалюватися [250, 251, 270, 373, 374]. Інформація, яка міститься в багаторічній динаміці приросту деревних порід, широко використовується під час вирішення фундаментальних і прикладних завдань лісознавства, лісівництва, екології та інших областях природничих наук [145, 146]. Дендрохронологія, зокрема дендрокліматологія, отримали інтенсивний розвиток у зв'язку з використанням результатів та методів цих наук у системі екологічного моніторингу, у тому числі моніторингу лісових екосистем [65, 83, 84, 145].

Дерева, які ростуть у межах однорідного за кліматичними умовами регіону, однаково реагують на зміни зовнішніх умов і виявляють подібні закономірності коливання величин річного приросту [77, 85, 86, 88, 108, 114, 300, 303, 316]. Більшість дерев мають синхронні зміни величин річних кілець. На думку Б. Губера [288], крива динаміки приросту подібна до англійського замка, до якого існує тільки один ключ, а саме – визначений час. Процес перехресного датування проходить легше, коли виявляються негативні реперні роки, упродовж яких формуються вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою починає лімітуватися тим чи іншим зовнішнім фактором.

Концепція дендрохронології. Деревне кільце як річний шар приросту дерев є центральним для дендрохронології [13, 118, 119, 140, 250, 374]. Дендрохронологія є міждисциплінарною наукою, і її теорія та методики можуть застосовуватися в багатьох галузях. Вона необхідна для кращого розуміння сучасних екологічних процесів та умов і покращення розуміння можливих майбутніх екологічних проблем [84, 96, 97, 136, 223]. Дендрохронологія – наука про датування річних кілець, які протягом росту дерева акумулюють інформацію про

явища у природному середовищі (кліматичні зміни, коливання рівню ґрунтових вод, затоплення, зсуви, техногенне забруднення, рекреація, пожежі, спалахи комах тощо) і зберігають їх протягом необмеженого часу [1, 2, 6, 10, 20, 24, 27, 28, 30, 33–36, 38, 39, 41, 42, 46, 49, 50, 52, 55, 75, 76, 83, 86, 88, 89, 90, 116, 119, 122, 124, 126, 127, 131, 132, 134, 321]. Вона вивчає вплив екологічних чинників на величину приросту деревини, анатомічну структуру річних шарів та їхній хімічний склад; аналізує інформацію в річних кільцях з метою реконструкції умов природного середовища [13, 50, 218, 250, 386].

У контексті глобальної зміни клімату на особливу увагу заслуговують дослідження кількісних змін потоків і пулів вуглецю в лісових екосистемах, що знаходить відображення в наукових працях українських і закордонних учених [25, 76, 112, 118, 127, 128, 130–146, 219, 226, 245, 256]. Зміна концентрації вуглекислого газу в атмосфері свідчить про необхідність дослідження ролі лісів як найбільш потужного резервуару акумуляції атмосферного вуглецю в надземній фітомасі деревостанів [282, 295, 337, 344, 381, 382]. Радіальний приріст дерев часто використовують у дослідженнях щодо динаміки вуглецю в стовбурах дерев [55, 75, 89].

Термін «дендроіндикація» введено М. В. Ловеліусом у 1970 році як спосіб оцінювання мінливості природних умов і антропогенних впливів за радіальним приростом дерев. Зміст поняття «дендроіндикація» збігається з терміном «дендрохронологія» [52, 141].

Отже, дендрохронологія дає змогу вирішувати подвійні завдання – довгострокового моніторингу природного середовища та абсолютного датування. Дендрохронологічні методи дають змогу за порівняно стислий термін оцінити реакцію радіального приросту дерев на екологічні зміни в лісових екосистемах як у часовому, так і у просторовому аспектах [197, 232, 234, 242, 244, 247, 250, 259, 262, 268].

Послідовність і структура річних кілець деревини відображають міжрічну і внутрішньорічну динаміку продуктивного процесу, обумовлену автохтонними (генетичні особливості, вік) і алохтонними (конкурентні відносини, кліматичні, геоморфологічні, гідрологічні та ін.) факторами, які діють у широкому діапазоні просторово-часових масштабів [229, 273, 277, 279, 280, 288, 291, 295, 301, 303].

Основний обсяг дендрохронологічних досліджень у світовій і вітчизняній науці виконано на матеріалі річних кілець хвойних і кільцево-судинних порід [6, 14, 102, 119, 192, 193, 219, 365, 381]. Це обумовлено порівняною простотою розпізнавання шарів ранньої та

пізньої деревини. Розсіяно-судинні деревні породи (береза, вільха, осика тощо) досліджені недостатньо, тому що вони мають річні шари, в яких рівномірно розміщені слабко помітні дрібні судини. У цій групі листяних порід помітна лише межа між річними шарами деревини й відсутнє розмежування на ранню й пізню зони на відміну від хвойних і листяних кільцево-судинних порід [70, 116, 125, 200].

Деревно-кільцева хронологія є дискретним часовим рядом тривалістю від декількох років до багатьох тисячоліть. Дискретність хронології обумовлена сезонністю росту дерев у помірних і деяких тропічних широтах. Залежно від цілей дослідження використовують: 1) індивідуальні хронології, отримані по одному дереву; 2) узагальнені хронології, побудовані за великою кількістю дерев, що належать до одного або декількох видів і які ростуть в одному або декількох типах лісорослинних умов. Залежно від масштабу аналізу виділяють локальні, регіональні та глобальні хронології. Хронологія може бути безперервною, що охоплює цілісний відрізок часу, й переривчастою, яка характеризує певні календарні роки або окремі інтервали часу [250].

Під час датування історичної та археологічної деревини, і навіть різноманітних катастрофічних подій у лісі (пожежі, вітровали, спалахи масового розмноження комах-шкідників тощо) переважно використовують індивідуальні хронології, тобто хронології, отримані з одного дерева чи чагарника. Для реконструкції кліматичних і гідрологічних умов застосовують узагальнені та генералізовані хронології, тобто побудовані шляхом використання доволі великої кількості дерев, що належать до одного або кількох видів і що ростуть в одному або кількох ТЛУ [250, 251].

У дендрохронології прийнята лінійно-агрегована модель, що відображає формування ширини річного кільця:

$$R_t = A_t + C_t + D_1 t + D_2 t + E_t, \quad (1.1),$$

де A – тенденція росту, викликана процесом старіння;

C – вплив кліматичних факторів;

D_1 – ендегенні впливи, наприклад, плодоношення;

D_2 – екзогенні впливи, наприклад, з боку шкідників, забруднення тощо,

E – випадкова складова [25].

Формула ілюструє, що загальний сигнал кожного року t може бути розділений на вплив декількох природних і антропогенних факторів, що впливають на дерево. Всі вони можуть впливати на приріст як позитивно, так і негативно. З аналізу цієї формули стає

зрозумілим основне завдання проведення екологічних досліджень – виділити «слід», залишений фактором, який нас цікавить, за допомогою поділу внесків компонент радіального приросту у вимірних величинах річних кілець R_t . Відповідно до цієї моделі індекс приросту відповідає сумі компонент [205, 251].

Рання і пізня деревина. За даними Т. Т. Козловськи [319], під час щорічної камбіальної активності в зоні між деревиною та корою відбуваються процеси поділу клітин, їхнє розширення та диференціювання на флоему та ксилему. Ксилема формується у напрямку до центра дерева і стає деревиною, а флоема – у напрямку до зовнішньої сторони дерева і стає корою. На початок вегетаційного періоду клітини ксилеми є більшими і тонкостінними і визначаються як рання деревина, тоді як клітини, сформовані наприкінці вегетаційного періоду, невеликі, товстостінні та щільні і визначаються як пізня деревина. Ці дві частини деревини становлять річне кільце. Кільця різних років відрізняються через помітну та різку зміну розміру клітини на межі між пізньою деревиною одного року та ранньою деревиною наступного року в поперечному перерізі стовбура. Як правило, більшість голонасінних і деревних дводольних покритонасінних рослин у сезонному кліматі формують одне кільце на рік [253, 321, 382, 383].

Принципи дендрохронології. Основні принципи дендрохронології запозичені із загальної екології. Основними з них є уніформізм, закон лімітуючих факторів, відбір регіонів і місць виростання, перехресне датування, повторність [250, 260, 269].

Принцип уніформізму стосовно дендрохронології стверджує, що фізичні та біологічні процеси, які зумовлюють зміни у рості дерева під впливом факторів природного середовища нині, викликали подібні зміни в минулому. Цей принцип є обґрунтуванням широкого використання деревно-кільцевих хронологій для реконструкції минулих умов навколишнього середовища. У 1785 р. Джеймс Хаттон заявив, що «сьогодення – це ключ до минулого». Це твердження, в основному, означає, що процеси, які пов'язали біологічні процеси з умовами навколишнього середовища, були ідентичними і в минулому. Водночас дендрохронологія додає цьому принципу новий «поворот»: «минуле – це ключ до майбутнього».

Сутність *принципу лімітуючих факторів* полягає в тому, що біологічні процеси, зокрема ріст деревних рослин, не можуть проходити швидше, ніж це дозволяє зовнішній або внутрішній фактор,

який знаходиться в мінімумі. У разі, якщо цей фактор в силу будь-яких причин переходить у розряд оптимальних, швидкість росту збільшується до тих пір, поки інший фактор (або фактори) не стануть лімітуючими. Наприклад, волога часто є лімітуючим ресурсом, особливо в посушливих районах, тоді як температура може бути лімітуючим фактором у районах висотної поясності.

Принцип сукупності складових росту дерев стверджує, що будь-які індивідуальні серії приросту можуть бути розкладені в сукупність факторів довкілля. Обидві групи факторів як природні, так і антропогенні впливають на приріст дерев упродовж усього їхнього життя. Наприклад, ріст кільця в будь-який рік є функцією сукупних факторів: а) вікового тренду, який обумовлений процесом старіння дерев; б) погодних умов і явищ, які сталися в рік виникнення якогось явища (наприклад, вітровалу, льодолому тощо) в межах лісового масиву, що вплинули на явища, які виникли всередині масиву; в) виникнення зовнішніх явищ стосовно лісового масиву (наприклад, спалах комах, що спричиняє дефоліацію та зменшення приросту дерев); г) випадкові (помилкові) процеси, які не враховані іншими процесами, тому, щоб максимізувати бажаний екологічний сигнал, який вивчається, інші фактори слід звести до мінімуму. Наприклад, для максимізації кліматичного сигналу слід усунути віковий тренд, а дерева та ділянки обрати таким чином, щоб мінімізувати вплив внутрішніх і зовнішніх екологічних процесів, які впливають на ріст дерев.

Принцип екологічної амплітуди стверджує, що види можуть рости, розмножуватися та поширюватися в широких, вузьких чи обмежених ареалах. Цей принцип важливий, оскільки види дерев, корисні для дендрохронології, часто ростуть біля меж їхнього природного ареалу, наприклад, ялина біла (*Picea glauca*) – поблизу верхньої широти.

Принцип відбору регіонів і місць виростання дерев. Цей принцип стверджує, що для одержання корисних для дендрохронології даних слід вибирати ділянки, де дерева формують кільця, які відображають досліджувані екологічні умови. Наприклад, під час вивчення умов посухи в минулому необхідно відбирати зразки з дерев, що ростуть у посушливих умовах. У сприятливих для росту дерев місцезростаннях формуються широкі річні кільця. При цьому у таких дерев добре виражені зміни приросту з віком, а величина приросту між сусідніми роками коливається в незначних межах. Подібна послідовність

мінливості ширини річних кілець отримала назву «благодушної». У несприятливих для росту дерев умовах кільця приросту вузькі, їхня ширина значно варіює рік від року, а вікова крива росту виражена слабо. Часто відбувається випадання кілець. Такі серії кілець називають «чутливими». Чим сильніша річна мінливість величини приросту дерев, тим надійнішим індикатором змін умов середовища вона є.

Принцип перехресного датування є найважливішим у дендрохронології і розроблений із метою абсолютного і відносного датування часу формування деревних кілець з точністю до року. Деревні рослини, які ростуть у межах однорідного в кліматичному відношенні регіону, величиною приросту подібним чином реагують на зміни лімітуючих кліматичних факторів. У сприятливі за кліматичними умовами роки у більшості дерев формуються широкі кільця, а у несприятливі – вузькі. У зв'язку із цим прирост таких дерев синхронно змінюється в часі. Особливо показовими є вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою лімітується тим чи іншим кліматичним фактором (наприклад, за гострого дефіциту вологи в посушливі роки). Чергування вузьких, середніх за величиною і широких кілець є неповторним у часі. У зв'язку із цим максимально можлива синхронність у прирості різних дерев виявляється лише в тому випадку, якщо графіки зміни приросту суміщені строго хронологічно.

Принцип повторності, тобто використання інформації не з одного, а з певної кількості модельних дерев, є неодмінною умовою точного датування кілець, побудови надійних деревно-кільцевих хронологій і створення якомога більш точної реконструкції умов середовища нині та в минулому.

Дослідженнями чутливості до клімату кількох популяцій *Pinus pinea* (кам'яної сосни) у Південній і Центральній Іспанії та Португалії визначено деякі реакції на кліматичні зміни. Радіальний приріст дерев збільшувався після випадання достатньої кількості опадів від попередньої осені й поточної весни та зменшувався внаслідок дефіциту вологи упродовж цього періоду. За останні десятиліття посушливість зростає в досліджуваному регіоні, а чутливість річних кілець дерев до наявності води збільшилася на всіх досліджуваних ділянках. Виявлено посилення синхронізації приросту серед хронологій, а також підвищення варіабельності ширини кільця упродовж останніх десятиліть. Кліматичний сигнал у хронологіях

деревних кілець вказував на пластичну реакцію приросту на клімат, хоча посилені синхронність і мінливість в останні роки свідчать про наявність умов, що обмежують ріст дерев [346–348].

1.2. Вплив зміни клімату на радіальний приріст дерев.

Глобальна зміна клімату стала однією з найнагальніших екологічних проблем, до вирішення якої прикута увага людства. Встановлено, що основним рухомим механізмом глобального потепління клімату є збільшення у повітряному басейні концентрації двоокису вуглецю (CO_2), метану (CH_4), закису азоту (N_2O) та інших парникових газів. Наслідками є небезпечні погодні катаклізми, різкі зміни погоди, паводки, повені, сильні вітри, зливи і дощі, град, посухи, що призводять до значних екологічних та економічних збитків у всьому світі. Стабілізація та збереження кліматичної системи планети сьогодні розглядається як одна з найважливіх проблем людства. Згідно з доповіддю Міжурядової групи експертів зі зміни клімату наукові дослідження свідчать, що зміна клімату в результаті антропогенного впливу з кінця XIX століття лише приблизно на третину пов'язана з природними змінами, а на дві третини обумовлена діяльністю людини, зокрема збільшенням концентрації парникових газів в атмосфері [127–137].

За даними Всесвітньої метеорологічної організації 2018–2020^орр. стали найтеплішими роками в історії спостереження. Адаптація до глобальної зміни клімату є процесом пристосування у природних чи соціальних системах у відповідь на фактичні або очікувані кліматичні впливи, що дозволить знизити їх негативні наслідки та скористатися сприятливими можливостями. У 2015 році в Парижі лідери держав домовилися обмежити підняття глобальної температури до кінця століття значно нижче 2^оС та вжити заходів, щоб обмежити підвищення температури до 1,5^оС [55, 58].

В Україні за даними Міністерства захисту довкілля та природних ресурсів України середня річна температура з початку XX століття зросла більш ніж на 2^оС, зокрема на 1,2^оС – за останні 30 років: За останні роки майже вдвічі зросла повторюваність днів із максимальними температурами влітку понад 35 і 40^оС, що належить до екстремальних погодних явищ. На більшій частині України вже виявлено тенденцію до посилення посух, збільшення кількості та тривалості спекотних періодів і збільшення пожежної небезпеки,

зросла повторюваність та інтенсивність гроз, сильних злив, граду, шквалів [55, 58].

Причиною кліматичних змін є порушення енергетичного балансу біосфери та її складників у екосистемах під впливом дії потужного антропогенного фактора. Функціонування екосистем спрямоване на зв'язування енергії, збереження внутрішньої організації її структури. За наявності великого градієнта між енергозапасами окремих блоків біосфери виникає дисбаланс: збільшується ентропія, знижується впорядкованість. Природні екосистеми вже неспроможні забезпечити необхідну стабілізацію, тож зовнішні чинники реагують відповідно, переміщуючи енергію в горизонтальному і вертикальному вимірах. Саме це призводить до появи злив, буревіїв, смерчів, підвищення середньорічних температур, збільшення амплітуди коливань кліматичних показників та інших катаклізмів. Коли показник ентропії перевищує показник внутрішнього стану організації системи, нездатної протидіяти зовнішньому впливу, руйнуються структурні зв'язки, і система розпадається. Міжурядова асамблея зі зміни клімату 2007 р. підготувала звіт, що відображає найновіші і найсучасніші знання з цього питання. Він базується на численних дослідженнях, проведених найвідомішими вченими різних регіонів світу [15]. У звіті, зокрема, зроблено три основні висновки:

1. Антропогенно спричинені зміни клімату – це реальність. Можливо, вони накладаються на природні зміни, що, поєднуючись, здійснюють такий резонансний вплив. Метеорологи [6, 10] встановили, що середня температура в Україні за останні десять років підвищилася на 0,3–0,6 °C (за останні 100 років – на 0,7 °C). Це призвело до того, що за 150 років на всіх рівнях організації біорізноманіття доведено збідніння, причому темпи втрат зростають.

2. Якщо зміни клімату відбуватимуться з таким градієнтом, то катастрофа неминуча. За розрахунками вчених, підвищення температури на 2 °C призведе до незворотних змін.

3. Стримати зміни клімату (особливо запобігти їхнім наслідкам) технічно і економічно поки ще можливо. Передбачивши і спрогнозувавши на основі сучасних наукових досягнень зміни клімату, потрібно розробити план заходів і послідовно їх реалізовувати. Якщо раніше увагу акцентували здебільшого на підвищенні температури, то нині розглядають й інші можливі сценарії (GISS, UKMO, CCCM, GFDL), що за будь-яких обставин ведуть до суттєвих змін екосистем. Наприклад: підвищення температури на 1 °C спричинює зсув

природних зон на 160 км, тоді як за прогнозами вчених, температура може зрости на 3 °С; зникнуть екотопи, зокрема ті, що перебувають в екстремальних умовах: арктичних чи антарктичних (стації білого ведмеда, моржів, пінгвінів), альпійських стацій у низьких горах (наприклад, у Карпатах), багатьох пустельних типів, а також біотопів Середземномор'я, тропічних дощових лісів тощо. Усього названо 34 світові гарячі точки; підвищення середньозимових температур (в Україні середня температура січня вже зросла на 1,5–2,5 °С, лютого – на 1–2°С [6]; подовження періоду вегетації, зміна кількості опадів вплине на гідротермічні цикли, які визначають розвиток біоценозів (у середніх широтах спостережено мезофітизацію екосистем). Низькі екстремальні зимові температури, що стримували поширення багатьох видів бур'янів (у т. ч. інвазійних), трапляються дедалі рідше (в Україні останньою екстремальною зимою вважають зиму 1978–1979^{рр.}), що сприятиме поширенню інвазійних видів [54, 55].

На міжнародному рівні ліси та лісове господарство визнані важливою складовою кліматичної політики, що знайшло відображення у міжнародних угодах, які нині визначають фундаментальні принципи розвитку людства, зокрема – в Рамковій конвенції ООН про зміну клімату (РКЗК ООН), Кіотському протоколі, Паризькій угоді тощо. У Рамковій конвенції ООН про зміну клімату визначено кількісні зобов'язання сторін щодо обмеження викидів шкідливих викидів та механізми пом'якшення змін. Верховна Рада України 4 лютого 2004 року ратифікувала Кіотський протокол до Рамкової конвенції ООН про зміну клімату, а 23 лютого 2004^{року} Президент України підписав цей закон. Країни-учасниці цієї конвенції поряд із іншим, зобов'язані розробляти нормативну базу та вести національні кадастри викидів і поглинання парникових газів [138, 185, 186, 191, 198].

Потепління, зміна режиму, інтенсивності та частоти опадів є негативними факторами впливу на лісові екосистеми, що спричиняє погіршення санітарного стану лісів, послаблення та масове всихання деревостанів і підвищення пожежної небезпеки [24, 25, 44, 45, 86, 96, 113, 156, 164, 304, 312]. Зростання температур, особливо зимових, може спричинити пом'якшення клімату і розширення ареалу існування окремих видів шкідників (зокрема верхівкового короїда, що спричиняє масову загибель соснових лісів) та збудників рослинних захворювань, що можуть становити значну загрозу для рослин [160, 162–168, 169–175, 255, 257].

Для дуба звичайного та сосни звичайної найбільш критичним (лімітуючим) кліматичним фактором є вологість клімату. Згідно з прогнозом, у період 2080–2100 рр. відбуватиметься значне звуження зони оптимального росту за цим показником для згаданих порід. Внаслідок зміни клімату до кінця ХХІ століття очікується поява доволі значних площ із несприятливими умовами для росту досліджених деревних порід і зміна зональних типів рослинності плакорів. У місцях із несприятливими кліматичними умовами прогнозується істотне зменшення продуктивності лісоутворювальних порід, поступова втрата репродуктивної здатності та можливості природного відновлення, порушення циклу сезонного розвитку та навіть онтогенезу, зменшення стійкості щодо шкідників і хвороб та збільшення загрози виникнення лісових пожеж. Менші зміни у площі території, сприятливої для росту й розвитку лісів, відзначені для дуба звичайного, а більші – для сосни звичайної, що зумовлюється з одного боку – очікуваними трендами у зміні клімату, а з іншого – еколого-фізіологічними особливостями цих лісових порід, які визначають їхню чутливість до проявів зміни клімату [18, 19].

Загалом в Україні вплив зміни клімату може бути різноманітним і виявлятиметься в наступному: географічних і ландшафтних змінах територій, придатних для вирощування тих чи інших деревних порід (зсув меж природних зон, зникнення деяких деревних порід або ж поява чужих для території видів рослин); зміни в рівні уразливості лісів – збільшення чи зменшення стійкості, життєвості і продуктивності лісових екосистем; виникнення водного чи теплового стресів, особливо під час екстремальних проявів зміни клімату; зміні екосистемних функцій (зокрема – впливу на кількість і якість продукування деревини, біогеохімічні цикли, біорізноманіття та інше); процесах збільшення чи зменшення в утриманні і кругообігу елементів живлення рослин; змінах репродуктивного циклу порід, закономірностей сукцесійної динаміки, а також змінах екологічних і соціальних послуг (наприклад, зміна рекреаційної цінності екосистем як елемента туризму; змінах в гідрологічному режимі, особливо на арідних територіях тощо [19, 95, 209].

У місцях із несприятливими кліматичними умовами прогноуються: істотне зменшення продуктивності досліджених деревних порід, поступова втрата репродуктивної здатності та можливості природного відновлення, порушення циклу сезонного розвитку і навіть онтогенезу, зменшення стійкості до шкідників і

хвороб та збільшення загрози виникнення лісових пожеж. Серед досліджених деревних порід менші зміни площі очікуються для дуба звичайного, а дещо більші – для сосни звичайної [17].

Є підстави вважати, що темпи зміни клімату випереджуватимуть можливості багатьох біологічних видів адаптуватися до трансформованих умов природного середовища, що може вплинути на видовий склад, віталітетність і збереження насаджень. Отже, причиною збіднення біорізноманіття можуть бути не лише техногенне забруднення навколишнього середовища, але й глобальна зміна клімату. Внаслідок глобального потепління можуть змінитися фенологічні ритми рослин, які сформувалися впродовж їхньої еволюції, а також їхні репродуктивні цикли, які залежать від кліматичного режиму. Зміна клімату впливатиме на хід природних сукцесій рослинних формацій, а згодом на зміщення природно-географічних зон. Із рослинними формаціями топічно й трофічно пов'язані види хребетних і безхребетних тварин, мікобіота, мікробіота. Тому зміна ценотичної структури лісових формацій впливатиме і на видовий склад цих організмів.

Екологічні наслідки зміни клімату виявлятимуться по-різному в окремих регіонах залежно від їхніх географічного положення, специфіки кліматичних і ґрунтових умов, біологічних особливостей рослин, їхніх ценотичних взаємозв'язків, напрямків сукцесійних процесів. Це стосується й України, на території якої у післяльодовиковий період сформувалися різні в екологічному аспекті ландшафтні зони – степова, лісостепова, широколистяно-лісова, а в Криму та Карпатах – пояси широколистяних і хвойних лісів, субальпійських і альпійських лук. Існують певні труднощі методичного характеру під час дослідження зміни кліматичного режиму на природний стан лісів, оскільки впродовж агрокультурного періоду в них відбулися істотні ценотичні й територіальні зміни, зумовлені антропогенним впливом. На теренах України лісівники й ботаніки лише в останньому десятилітті розпочали дослідження динамічних тенденцій лісових формацій унаслідок зміни клімату [200].

Загалом реакцію рослин на зміни клімату зводять до трьох типів. Виділяють види, що зможуть мігрувати, адаптуватися чи зникнути узагалі. У разі стрімкого потепління міграція видів має перевищувати швидкість їхнього розселення після останнього зледеніння, темпи якого були еволюційно відпрацьовані й екологічно врівноважені. Темпи сучасної зміни клімату (градієнт) перевищують історичні. До

них рослини не адаптовані. Існує багато антропогенних перешкод міграції, так званих «екологічних дірок», зокрема, висока розораність територій, де відсутні відповідні екотопи, порушення мікоризи. Інвазійні види витісняють аборигенів і займають їхні еконіші, у результаті чого розриваються коеволюційні зв'язки. Відповідно найчастіше мігрують зовсім не ті види, які б ми хотіли бачити в нашій природі. Адаптація – еволюційно дуже тривалий процес пристосування видів до навколишнього середовища, але клімат змінюється швидше, ніж темпи еволюційних реакцій. Успіх адаптації залежить від мінливості генетично зумовленої варіації ознак, яка забезпечує пристосування до нових умов середовища, силу відбору тощо. Тож найбільше потерпатимуть види з тривалим циклом розвитку (багаторічники), а їхнє місце посядуть рослини з коротким циклом, зокрема однорічні бур'яни. Процеси підсилюються не лише впливом антропогенного фактора, але й специфікою ведення господарства, коли значні території розорано (в Україні цей показник – один із найвищих у Європі – 56 %) [207, 211, 2016].

Як підрозділ дендрохронології, дендрокліматологія оцінює клімат у минулому і для оцінювання кліматичних змін у майбутньому використовує шари деревини та метеорологічні дані, переважно опади та температуру [270]. Дендрокліматологія відіграє значну роль у міждисциплінарних дослідженнях зміни клімату [118, 140, 168, 170, 239, 249, 365, 399, 250].

Дендрокліматичний аналіз, тобто метод аналізу часових рядів, або серій календарно здатованих річних шарів дерев, щільності деревини та реперних років [250], дає змогу отримати відповідь на великий спектр питань, пов'язаних із динамікою лісу, реконструкцією і прогнозуванням природно-кліматичних змін та забезпечує інформацію щодо стану дерева упродовж онтогенезу [14, 182, 332].

Ще із стародавніх часів греки виявили, що кільця дерев утворюються здебільшого щорічно, а їхні ширина та інші характеристики змінюються рік від року. Леонардо да Вінчі асоціював варіацію кільця дерева зі зміною умов середовища в момент утворення деревного кільця. Такі спостереження та міркування можна вважати ранньою дендрохронологією [389].

Упродовж тривалого часу вважалося, що американський астроном А. І. Дуглас є першим вченим, який почав вивчення радіального приросту дерев з метою дослідження клімату. Але дати публікування робіт вказують на те, що професор Одеського

університету Ф. Н. Шведов раніше використав дерева як індикатори змін природного середовища на прикладі робінії звичайної. Про це свідчить його робота «Дерево как летопись засух», що була опублікована у 1892 р. [215].

У штаті Арізона (США) А. Е. Дуглас у 1901 р. помітив не лише різницю в ширині кілець дерева, але й її подібність у різних дерев. А. Е. Дуглас припустив, що особливим екологічним чинником, який є причиною такої мінливості річних кілець дерев цієї місцевості, є клімат [389]. Він розробив методи та принципи, які лежать в основі дендрохронологічних досліджень, що застосовуються сьогодні. Результати його досліджень висвітлені в 75 працях з дендрохронології, багато з яких стосуються дендрокліматології [343, 344, 389, 396, 402].

Дендрохронологічні дослідження також були розпочаті в інших регіонах, зокрема у Європі [287], Північній Азії [376], Австралії [354], Південній Америці [366], Південно-Східній Азії [402] та Африці [232]. Деревні кільця є рідкісними у більшості дерев у тропіках, які є межею для дендрохронологічних досліджень [387].

У різні роки на території України дендрокліматичні дослідження розвивали: Ф. Н. Шведов [215], В. Е. Рудаков [191], В. Г. Коліщук [118], А. Д. Шовган [219], П. В. Ковальов [62], В. І. Важов [22], М. В. Ловелиус та Ю. І. Грицан [140], І. М. Коваль [14], О. В. Зборовська [60], М. В. Нецветов та Ю. С. Прокопюк [183].

Значна кількість робіт присвячені впливу пожеж, забруднення, рекреації, шкідників і меліорації на радіальний приріст із урахуванням кліматичних чинників [31, 35, 38, 39, 164, 165, 44].

Швидкість появи праць із дендрокліматології була невисокою протягом першої половини ХХ століття, але зросла експоненціально після 1960 року. Понад 3000 із 12000 наукових публікацій, перелічених в інтернет-бібліографії дендрохронології [275], містять слово «клімат». Дендрокліматологія зробила великий внесок у вивчення минулого клімату та його зміни [61, 158, 212, 237, 238, 254, 271, 359, 364, 377, 385].

Загалом дослідження з дендрокліматології сфокусовані переважно в регіонах на межі розповсюдження лісу [21, 119]. Це пов'язано з тим, що відповідно до закону лімітуючих факторів [119, 174], зв'язок приросту з кліматом найбільш тісний в умовах, які екстремальні для приросту дерев.

Зміни клімату і радіальний приріст дерев. Майже в усіх частинах Європи кліматичні сценарії Міжурядової групи з питань зміни клімату

(IPCC) передбачають підвищення рівня опадів узимку та зниження рівня опадів улітку, а також підвищення температури повітря [267, 320, 328].

Нині прогнозовано тенденцію до підвищення середньої температури планети на $+4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Паризька кліматична угода 2015 року визначила безпечний максимум підвищення температури до $+2\text{ }^{\circ}\text{C}$ [353, 355, 358, 378]. Згідно з прогнозами, на території України варто очікувати несприятливі зміни погодних умов і, як наслідок, зростання рівня пожежної небезпеки, підвищення температури повітря, зміщення дат початку і закінчення сезонів, подовження тривалості пожежонебезпечного періоду, збільшення частоти й інтенсивності хвиль тепла і стихійних гідрометеорологічних явищ, зміну обсягу водних ресурсів місцевого стоку [10].

Спостереження за кліматом в Україні тривають із XIII-го століття. За період інструментальних спостережень зібрано значний матеріал і сформовано ряди кліматичних чинників. Встановлено, що за останні 100 років відбувається потепління клімату, причому темпи збільшення температури швидко збільшуються. Середня температура повітря на території України збільшилася на $0,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ за останні 100 років. Це може призвести до втрати стійкості низки деревних видів [54, 55]. Найбільш інтенсивне збільшення температури відбувалося взимку ($1,2\text{ }^{\circ}\text{C}$) та навесні, а влітку становило $0,2\text{--}0,3\text{ }^{\circ}\text{C}$. Кліматологи дійшли висновку, що зими на території України стали теплішими та з меншою кількістю опадів у вигляді снігу [18, 55, 56].

Останнім часом відбувається погіршення стану та всихання лісів Європи, причини яких ще недостатньо вивчені [404]. Тому надзвичайно важливим є завдання щодо виявлення причин цього явища. Окремі автори називають різні причини погіршення стану лісів та їхнього всихання: зміна клімату та гідрологічного режиму ґрунтів, спрощення стану і будови деревостанів тощо [55, 81, 94, 121, 125, 161, 162, 164–166, 175, 239, 278, 327, 339, 361].

Стійкість лісів – це збереження ними спроможності реагувати на мінливість кліматичних чинників, реалізуючи при цьому біопродуктивний потенціал, який полягає в нарощуванні стовбурової маси дерева (радіального приросту). Проблема стійкості лісів на тлі зміни клімату поглиблюється антропогенними чинниками, зокрема осушенням. Втрата стійкості лісів за нестабільної екологічної ситуації може відображатися в мінливості радіального приросту дерев та його постійній пригніченості [68, 75, 76, 108, 114, 123, 124, 189, 304, 317].

Основою лісу є дерева, життєвий цикл яких становить десятки і навіть сотні років. Вони сформовані в «старій кліматичній обстановці» і часом не можуть протягом декількох років подібно трав'яним рослинам луків адаптуватися до нових умов. Доступність ґрунтових вод може кардинально впливати як на видовий склад, так і на продуктивність лісів [76, 108, 126, 304, 317]. Важливу роль у зміні стану насаджень відіграють рівень залягання ґрунтових вод, амплітуда його змін, тривалість періодів його підйому та спаду. Радіальний приріст дерев – об'єктивний індикатор змін, які відбуваються в природному середовищі. Його мінливість маркує не тільки стан лісових екосистем, але і природного середовища загалом [13, 14, 21, 22, 63, 139, 145, 146, 147, 258, 328, 362, 368].

Дендрохронологічний аналіз дає змогу враховувати фази сонячної активності під час осереднення кліматичних чинників, моделювання їхньої динаміки та прогнозування мінливості приросту дерев [1, 116, 124, 149, 213]. Результати цих досліджень надають інформацію про необхідність проведення лісовідновних робіт, рубок догляду за лісом та інших видів лісогосподарської діяльності [206].

Припущення, що найбільш загальною причиною масового всихання лісів є глобальна зміна клімату, є майже безальтернативною гіпотезою, але надзвичайно актуальним є виявлення конкретних механізмів розвитку масових всихань [12, 160, 391].

Потепління клімату призвело до необхідності адаптації лісових екосистем до нових умов. Надзвичайно важливим є вивчення зміни реакції лісових екосистем до зміни клімату. В зв'язку з тим, що шари річної деревини записують не тільки інформацію про зміни в довкіллі, а також реакцію дерев на ці зміни, вони можуть поставати біоіндикаторами як інтегральні показники стану лісових екосистем [13, 19, 254, 255, 281].

Значна частина Європи розташована в помірному кліматі, де взаємозв'язки між кліматом і приростом виявити доволі важко, оскільки лімітуючі фактори змінюють один одного протягом вегетаційного періоду. Кореляції індексів приросту з кліматичними показниками в помірній зоні, як правило, невисокі, якщо дерева не підпадають під вплив стресу [50].

Територія України розташована в різних природних зонах і характеризується великим різноманіттям екосистем. Зміни клімату на глобальному рівні можуть по-різному виявитися на регіональному (локальному) рівні, оскільки клімат опосередковано впливає на інші,

пов'язані між собою, чинники екосистеми. Наприклад, на піщаних ґрунтах Полісся підвищення температури й вологості може призвести до збіднення екосистем, оскільки за підвищення температури пришвидшується випаровування вологи з поверхні ґрунту, а вода в нижніх його шарах, не затримуючись, стрімко опускається в нижні шари, що може призвести до ксерофітизації [55].

В умовах середнього багатства ґрунтів і достатнього забезпечення вологою приріст слабо корелює з кліматичними показниками, оскільки ґрунтовий комплекс виконує роль буфера, пом'якшує негативний вплив різких коливань клімату [188, 311].

Дещо різні результати дендрокліматичного аналізу виявлені у північній і південній частинах Східної Європи [381, 189]. Позитивні кореляції між річним радіальним приростом і літніми опадами [56, 58, 61, 283, 322, 334, 349, 350, 382, 383] або позитивні кореляції з опадами впродовж усього вегетаційного періоду [23, 65, 75, 143] виявлені в усій Східній Європі. Для південної частини Східної Європи обчислено додатні кореляційні зв'язки між шириною річного кільця та літніми опадами попереднього року формування річного кільця [65, 348, 349]. Встановлено позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст дерев у північній частині Східної Європи [56, 335, 382, 383], тоді як у південній частині виявлено додатні кореляційні зв'язки для весняних місяців [350]. Від'ємну кореляцію виявлено лише між шириною радіального приросту і температурою в період з попереднього літа до поточного [23, 107, 113, 322, 334, 335, 348–350]. Більшість досліджень у країнах Східної Європи базуються на аналізі впливу кліматичних факторів на ширину кільця дерев. Серед них є декілька робіт про різну чутливість анатомічних вимірів деревини та ширину кільця дерев до мінливості клімату. В усіх дослідженнях [335, 350, 360] виявлено значно сильніші кореляційні зв'язки кліматичних факторів із площею судин ранньої деревини, ніж шару річної деревини. Крім того, М. Нецветов з колегами встановив [349], що ширина шару ранньої деревини дуба звичайного більш чутлива до клімату, ніж ширина річного шару.

Згідно з літературними даними, температури осені попереднього року формування річного кільця по-різному впливає на приріст. Додатна кореляція приросту з осінніми температурами попереднього року може пояснюватися сприятливими умовами для запасання метаболітів у разі теплої осені [404]. З іншого боку, підвищені осінні температури можуть подовжити період функціонування листового

апарату, збільшуючи витрати метаболітів на дихання і обмежуючи формування метаболічних резервів а, отже, приріст дерева в наступному році [255, 325].

В Європі відомі дослідження щодо реакції дерев на клімат, що висвітлюють специфічні дендрокліматичні закономірності [253]. Основні результати цих досліджень свідчать, що ясен і дуб дуже чутливі до кількості опадів, і це є основним фактором обмеження росту. Загалом деревно-кільцеві хронології дуба позитивно корелюють із опадами вегетаційного періоду, тоді як літній температурний відгук нестабільний за місяцями, а кореляція може бути від'ємною чи додатною [75].

Ключовим фактором, що впливає на ширину річних кілець сосни, є вміст доступної ґрунтової вологи. Як її надлишок (в умовах боліт), так і дефіцит негативно позначаються на ширині річного кільця. У перезволожених ТЛУ визначено додатну кореляцію між радіальним приростом сосни і температурою та від'ємну – з опадами осені попереднього року. Для сосни із посушливих ТЛУ є типовою додатна кореляція приросту з опадами осені, травня і з температурою зими. Від'ємний зв'язок радіального приросту болотних сосен із кількістю опадів і стоком може виявлятися з лагом 1–4 роки [57].

Дослідження динаміки радіального приросту сосни кримської на південному схилі Кримських гір дають змогу виявити особливості реакції насаджень на кліматичні зміни. О. М. Соломіна та ін. [384] розробили хронологію *Pinus hamata* (1620–2002 pp.) з Ай-Петрі (Крим) для створення першої дендрокліматичної реконструкції для цього регіону. Ця хронологія виявила найсильніший зв'язок із опадами квітня–липня в лісостанах Ай-Петрі упродовж 1896–1988 років. Виявлено від'ємні кореляції з температурами вегетаційного періоду, особливо з липня по вересень. На відміну від цього, додатні зимові кореляції температури вказують на те, що теплі зими та весни сприятливі для утворення широких кілець дерев.

1.3. Антропогенний вплив на радіальний приріст дерев

1.3.1. Вплив промислового забруднення та клімату на радіальний приріст дерев. Викиди SO₂, NO_x та інших фітотоксичних сполук призводять до серйозних порушень у фізіології та обміні речовин дерев [265, 331], що спричиняє зменшення ширини річних кілець. Зменшення радіального приросту дерев унаслідок забруднення

атмосфери датується другою половиною XIX століття [309, 388]. Багато досліджень проведено у другій половині XX століття, коли посилення інтенсивності забруднення повітря призвело до деградації дедалі більших площ лісів, особливо в 1970-х роках. Дослідження проводили поблизу різних джерел забруднення [231, 395]. Виявлено, що залежність між шириною кільця дерев і кліматом відрізнялася у дерев, що ростуть поблизу джерел забруднення [292, 293, 345]. Низкою досліджень виявлено залежність радіального росту дерев від відстані до джерела забруднення та обсягів забруднювачів атмосфери [32, 37, 80, 141, 142, 263, 293, 297, 352, 393, 395].

Під час застосування методу, що базується на аналізі реперних років і різкого сплеску радіального приросту дерев (release in tree radial growth), визначено як погіршення, так і поліпшення екологічних умов під час аналізу радіального приросту дерева за декілька років до того, як ці умови можна виявити шляхом оцінювання стану крони [372].

Щорічний радіальний приріст *Pinus sylvestris* досліджували в околицях одного з найбільших джерел забруднення в Литві – Йонавського заводу азотних добрив [292]. Основною метою дослідження було виявлення антропогенних трансформацій деревно-кільцевих хронологій у забрудненому середовищі: зміни інтенсивності приросту дерев; зміни дисперсії в рядах деревно-кільцевих хронологій; зміни у відносинах із природними факторами довкілля. Виокремлено три різні періоди реакції дерев на забруднення середовища: період підвищення радіального приросту дерев, його депресії та відновлення, оскільки обсяг щорічних викидів істотно зменшився. Дисперсія серій деревно-кільцевих хронологій зросла в кілька разів у забрудненому середовищі. Реакція дерев на вплив кліматичних факторів (температура, опади) суттєво змінилася в забрудненому середовищі, а також підвищилася чутливість приросту [292].

П'ять деревостанів *Pinus monophylla* (сосни однохвойної) із східно-центральної Невади (США) були відібрані та проаналізовані за допомогою дендрохронологічних методів для виявлення впливу клімату та викидів мідноплавильного комбінату на радіальний приріст дерев. Хронології деревних кілець розроблені для двох ділянок біля комбінату та для трьох контрольних деревостанів. Всі хронології мали високу пряму кореляцію до початку виплавлення міді в 1908 р., але після цього року відбулося суттєве зменшення коефіцієнта кореляції між індивідуальними деревно-кільцевими хронологіями для насадження, яке росте найближче до джерела забруднення, у порівнянні з

іншими деревостанами. Результати аналізу функції відгуку дають змогу зробити висновок, що приріст дерев у деревостані, що знаходиться найближче до плавильного цеху, обмежений як кліматом, так і забрудненням повітря. Збільшення величини низькочастотної дисперсії в хронології приросту цих дерев пояснюється зменшенням ширини кільця у 1910–1930 рр., а потім її збільшенням у подальшому. Це могли спричинити зміни умов довкілля внаслідок впливу викидів мідноплавильного комбінату [393].

В епоху розвитку виробництва повітряне забруднення є значним фактором, який впливає на стан і розвиток лісових екосистем. Цей вплив може бути синергічним, тобто негативні фактори, такі, як несприятливі кліматичні явища й суворі умови місцевиростання можуть посилювати вплив забруднення, сумарним, коли негативні впливи доповнюють один одного, та позитивним, коли забруднення може діяти (зазвичай це відбувається протягом короткого періоду) як добриво. Деревні кільця – це унікальний інструмент для виявлення чинників довкілля, які впливають на розвиток насаджень упродовж життя. Кожний фактор знаходить відображення у своєрідному малюнку деревних кілець, ширина яких залежить від умов поточного періоду (погодні умови, антропогенне навантаження тощо) та типу умов місцевиростання. Ці зв'язки є криволінійними. Чітко виділити складову впливу атмосферного забруднення в річному кільці неможливо. За статистичними характеристиками (коефіцієнтом чутливості, авторегресії тощо) деревно-кільцевих хронологій можливо оцінити стан насадження та його реакцію на кліматичні варіації в лісових екосистемах, які потерпають від промислового забруднення [13, 47, 140, 155, 245, 248, 250, 345].

Польські дослідники стверджують, що дані щодо обсягу промислових викидів, які були десятки років тому, навряд чи доступні; отже, дерева можна розглядати як архів змін і використовувати для відновлення дат несприятливих подій, що мали місце в минулому. Дослідження щодо впливу забруднення повітря на ширину річних кілець дерев сосни звичайної, що росте в районі Щецина (Польща) дали змогу визначити період і спектр впливу викидів забруднювачів на лісові екосистеми [233, 391]. Несприятливі зміни у фізіологічних і біохімічних процесах дерев через забруднення можуть виявитися через багато років і призвести до деградації лісових екосистем у поєднанні з наслідками зміни клімату та шкідливими організмами (комахами та патогенними грибами). Найбільші зменшення ширини

деревних кілець пов'язані з періодом найбільшого виробництва добрив на заводі із застосуванням застарілих технологій (1970-ті–початок 1990-х). У цей період, особливо у 1980-х роках, негативно вплинули на приріст викиди заводу добрив і посухи. Дендрокліматичний аналіз виявив позитивний вплив температур у період переходу від зими до весни, тобто вищі за середні температури в лютому, березні та квітні, які призводять до формування широких річних кілець сосни звичайної. Водночас стрімке підвищення зимових температур негативно впливає на радіальний приріст дерев [245].

1.3.2. Вплив рекреації та клімату на радіальний приріст дерев. Рекреаційна порушеність лісу визначається комплексом ознак, зокрема видовим складом і структурою рослинності, витопаністю ґрунту, темпами радіального приросту дерев тощо. Слід також мати на увазі засміченість насадження і санітарний стан деревостану. Під час проведення комплексного оцінювання лісів рекреаційного призначення необхідно враховувати не тільки їхню якість нині, але й динаміку розвитку насаджень [33, 148, 152, 195]. Рекреаційний вплив більшою чи меншою мірою зачіпає всі структурні елементи фітоценозів, і для оцінювання глибини цих змін необхідно використання як лісівничого, так і дендрокліматичного методів аналізу [13, 204].

Під час оцінювання впливу різних факторів на лісові екосистеми найбільш достовірним інформативним показником змін, що відбуваються в стані деревостанів, є радіальний приріст дерев, а режим його коливання є визначальною ознакою для виявлення циклічності коливань природних процесів, масштабів антропогенних впливів і ступенів стійкості деревних рослин [394].

Вивчення радіального приросту як одного з методів фітоіндикації антропогенного впливу на лісові екосистеми стали використовувати порівняно нещодавно [141, 202, 204]. Негативний вплив рекреаційного лісокористування на ріст дерев найбільш виражено в порушенні циклічності радіального приросту. За інтенсивності навантаження, характерної для IV стадії рекреаційної дигресії, відбувається деяке зниження приросту та порушення циклічності. За максимального навантаження (V стадія дигресії) різко підвищується амплітуда коливань і значно порушується циклічність приросту [150, 195].

Одним із наслідків рекреаційного використання насаджень є ущільнення ґрунту, що призводить до погіршення умов його водного, повітряного режимів і мінерального живлення рослин. Радіальний приріст у міру посилення рекреаційного навантаження зменшується.

Найбільшою величиною середнього річного радіального приросту, обчисленого за період дії рекреації, вирізнялися сосняки II стадії дигресії (0,67 мм), меншим був приріст сосняків III стадії рекреаційної дигресії (0,57 мм) і найнижчим – приріст найбільш порушених сосняків V стадії дигресії (0,52 мм). Під час більш детального вивчення приросту дерев з'ясувалося, що в насадженнях III і V стадій дигресії дерева, які ростуть на ділянках із відсутністю підстилки, мають нижчий радіальний приріст у порівнянні з деревами, навколо яких підстилка зберіглася. Так у насадженнях III стадії дигресії середній за період дії рекреації радіальний приріст у разі присутності навколо дерев підстилки становив 0,60 мм, а за її відсутності – 0,54 мм. У насадженнях V стадії дигресії аналогічний показник становив 0,88 мм і 0,64 мм відповідно. Аномальний приріст у найбільш пошкодженому насадженні на цьому етапі можна пояснити інтенсивним відпадом тонкомірних дерев і водночас збільшенням «світлового приросту» і площі живлення для пошкоджених дерев [20].

Чітко простежується вплив рекреації на коефіцієнт мінливості радіального приросту. Якщо у контролі його відмінність між деревами різних категорій санітарного стану незначна (перевищення становить 117 %), то у дерев під рекреаційним впливом така відмінність сягає 190 %.

Аналіз розподілу кількості стовбурів за ступенями товщини в деревостанах, схильних до різного ступеня рекреаційного впливу (контрольна, до 30 чол.га⁻¹ і до 50 чол.га⁻¹), свідчить про істотну відмінність між ними. У насадженні, що не піддається рекреації, розподіл кількості стовбурів за ступенями товщини характеризується одновершинною кривою з позитивною асиметрією. У насадженнях із навантаженням до 30 чол.га⁻¹ і до 50 чол.га⁻¹ різко зменшується частка тонкомірних дерев у порівнянні з контрольною вибіркою (на 60 % і 90 % відповідно). У середніх щаблях товщини відмінність значно менша (близько 30 і 50 %), а в грубомірних – практично відсутня [20].

Отже, стійкість дерев до несприятливого впливу підвищується від нижчих ступенів товщини до вищих. Дерева середніх ступенів товщини характеризують стійкість деревостану загалом. У зв'язку із цим під час вивчення впливу будь-яких чинників на стан насаджень доцільно використовувати показники дерев середніх ступенів товщини. Аналізуючи зміну стану досліджуваних насаджень за іншими ознаками (динамікою підросту, станом природного відновлення, надґрунтового покриву та ін.) виявлено цілком достовірну

відповідність їхніх показників даним радіального приросту за стадіями дигресії. Однак радіальний приріст має менший коефіцієнт варіації середніх значень у порівнянні з іншими ознаками. Це також підтверджує, що радіальний приріст є найбільш достовірною ознакою стану насаджень, що легко визначаються [60].

Кількість дерев великого діаметра (грубомірних) зростає у міру збільшення рекреаційних навантажень. Так, частка дерев ступені товщини 24 см у насадженні 2-ї стадії дигресії становить 7 %, тоді як у насадженнях 3-ої та 5-ої стадій – 23 і 24 % відповідно. Кількість дерев, що належать до ступені товщини 28 см, в насадженні 5-ої стадії на 6 % більша, ніж у насадженні 3-ої стадії, і на 12 % більша, ніж у насадженні 2-ої стадії дигресії. Кількість дерев, що належать до ступені товщини 32 см, у насадженні 5-ої стадії на 6 % більша, ніж у насадженні 3-ої стадії, і на 8 % більша, ніж у насадженні 2-ої стадії рекреаційної дигресії. Отже, в насадженнях під впливом рекреації збільшується також середній діаметр дерев. Подібні закономірності відзначені в літературі для дубових і грабових насаджень у гірських лісах [201]. У разі посилення рекреаційного навантаження кількість пошкоджених і хворих дерев збільшується, а здорових – зменшується. За збільшення рекреаційного навантаження від 2-ї до 5-ї стадій дигресії частка дерев категорії «здорові» зменшується від 69 до 29 % від загальної кількості, а категорій «ослаблені» і «сильно ослаблені» – збільшується [204].

Ліс в умовах антропогенного впливу, виконуючи різні екологічні функції та поліпшуючи якість природного середовища, сам підпадає під вплив несприятливих факторів, зокрема пожеж. В результаті цього він може частково або повністю втратити свої корисні властивості, зокрема продукування кисню та депонування вуглецю в атмосферу. Динаміка деревного запасу тісно пов'язана зі зміною депонування вуглецю та продукування кисню [127–138]. Високоповнотні старовікові деревостани здатні депонувати близько 4–6 тга^{рік}⁻¹ вуглецю. Просторово-часова оцінка біомаси вуглецю дає цінну інформацію для розрахунку вилученого вуглецю та наукового управління лісами. Дендрохронологічні методи дають змогу дослідити динаміку вуглецю в стовбуровій деревині [26, 73, 87, 130, 135, 137, 154, 173, 183, 209, 214, 220, 241, 257, 291, 336, 358, 363].

Висновки до розділу 1

1. Дендрохронологія досліджує шари ранньої, пізньої та річної деревини, які протягом росту дерева акумулюють інформацію про явища у природному середовищі (кліматичні зміни, затоплення, зсуви, забруднення, рекреація, пожежі, спалахи комах тощо) і зберігають їх протягом необмеженого часу. Дендрохронологічні методи дають змогу за порівняно стислий термін оцінити реакцію радіального приросту дерев на екологічні зміни в лісових екосистемах як у часовому, так і у просторовому аспектах.

2. Зазвичай у дендрохронології використовують хвойні та кільцесудинні породи, які мають чіткі границі між шарами ранньої та пізньої деревини.

3. Зміна клімату призвела до необхідності адаптації лісових екосистем до нових умов. Оскільки шари річної деревини записують інформацію як про зміни в довкіллі, так і про реакцію дерев на ці зміни, вони можуть бути біоіндикаторами – інтегральними показниками стану лісових екосистем.

4. Викиди SO_2 , NO_x та інших фітотоксичних сполук спричиняють серйозні порушення фізіології та обміну дерев, що, призводить до зменшення ширини річних кілець. Виявлено, що залежність між шириною кільця приросту та показниками клімату є різною у дерев, що ростуть поблизу джерел забруднення. Зафіксовано різну інтенсивність зменшення радіального росту дерев залежно від відстані до джерела забруднення та обсягу забруднювачів, що викидаються в атмосферу.

5. Одним із наслідків рекреаційного використання насаджень є ущільнення ґрунту, що призводить до погіршення умов водного, повітряного режимів ґрунту та мінерального живлення рослин. Радіальний приріст у міру посилення рекреаційного навантаження зменшується. Чітко простежується вплив рекреації на коефіцієнт мінливості радіального приросту.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методологія досліджень включає аналіз багаторічних рядів шарів приросту дерев дендрохронологічними методами разом із багаторічними рядами кліматичних показників на тлі характеристик природних зон, лісорослинних умов, чинників пошкодження та ураження насаджень тощо.

Робоча гіпотеза полягала у тому, що радіальний приріст дерев інтегрує зміни у навколишньому середовищі, причому ця реакція залежить від умов виростання насаджень.

Методи дендрохронології базуються на зборі інформації про ширину шарів річної деревини, особливостях приросту та структури різних видів дерев. Ця інформація дає інтегральну біоекологічну інформацію про умови росту дерев [198, 203, 211, 215, 225].

Загалом використані методи включають загальноприйняті в лісівництві, лісовій таксації, порівняльній екології та дендрохронології [8, 13, 196, 197, 250].

2.1. Лісівничі методи

Постійні (ППП) та тимчасові пробні площі (ТПП) закладено за стандартними таксаційними методами [8, 159, 173] співробітниками лабораторії екології лісу УкрНДІЛГА. Санітарний стан насаджень визначено згідно із настановами «Санітарні правила в лісах України» та рекомендаціями УкрНДІЛГА (табл. 2.1) [29, 196, 197].

Таблиця 2.1

Шкала індексів стану для виділення зон пошкодження насаджень

Індекс стану	Стан насаджень	Ступінь пошкодження	Зона пошкодження
1,0–1,5	здорові	відсутня	—
1,6–2,5	ослаблені	слабка	III
2,6–3,5	сильно ослаблені	середня	II
3,6–4,5	всихаючи	сильна	I
4,6–5,0	загиблі	дуже сильна	I ^a

Під час визначення стану обстежених деревостанів враховували морфологічні зміни дерев. Важливими біоіндикаційними ознаками пошкодження насаджень є дефоліація (втрата хвої чи листя) і дехромація (зміна кольору хвої чи листя) дерев. У контексті загальноєвропейської методики лісового моніторингу дефоліацію визначають як передчасну втрату (або недостатній розвиток) хвої або листя. Під час візуального оцінювання враховували також пошкодження гілок, стовбурів, кореневих лап (загалом та їхніх частин), зміни форми крон. Для визначення стану дерев сосни звичайної у разі аеротехногенного та рекреаційного пошкодження використано шкалу, показники якої лежать в основі визначення ступеня пошкодження деревостанів. Він характеризується індексом стану (I_c) – середньозваженим значенням кількості дерев різних категорій санітарного стану [196]. Для насаджень, що знаходяться під антропогенним впливом, використано шкалу індексів стану для виділення зон пошкодження насаджень [53].

2.2. Дендрохронологічні методи

2.2.1. Відбір дендрохронологічних зразків. Застосовано стандартні дендрохронологічні методики [13, 251, 248, 249, 250, 252, 373]. Для відбору зразків деревини, особливо з живих дерев, використано вікові бури Пресслера (Haglof, Suunto), за допомогою яких висвердлювали радіальні керни деревини діаметром 4–5 мм і завдовжки 50 см. (рис. 2.1).



Рис. 2.1. Відбирання зразків дуба звичайного в насадженні Південного лісництва ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (116 кв., вид. 9) у 2017 р.

Зразки деревини відбирали перпендикулярно поздовжній осі стовбура дерева на висоті 0,5–1,3 м від поверхні землі. У порівнянні зі взяттям спилів, відбір кернів дав змогу мінімізувати шкоду, що завдається деревам і відібрати максимально необхідну кількість зразків (для оцінювання загального сигналу у вибірці) за невеликий інтервал часу. Керни відібрано по 15–25 штук з кожної біогрупи. Зразки транспортували в паперових контейнерах.

Достовірними вважають такі результати вибіркового дослідження, які відповідають генеральній вибірці. Середню арифметичну ширину річного шару деревини за кожен рік, яка достовірно відображає середню ширину річного шару деревини всього досліджуваного деревостану, обчислювали за кількістю зразків N . Необхідну кількість зразків для достовірного встановлення середньої ширини річного шару деревини в деревостані розраховували за формулою [154]:

$$N = \frac{tn^2 \times CV^2}{P^2} \quad 2(1),$$

де N – необхідна кількість зразків (спилів, кернів);

CV – коефіцієнт варіювання ширини річних кілець у деревостані;

P – задана точність дослідження (для практичних цілей – 10 %);

t_{st} – показник надійності (критерій Ст'юдента).

Показник надійності визначали залежно від встановленого критерію ймовірності (табл. 2.2).

Таблиця 2.2

**Необхідна кількість зразків відповідно до коефіцієнта
варіювання, штук**

За ймовірності 0,95						
CV	25	30	35	40	45	50
N	25	35	49	64	81	100
За ймовірності 0,68						
CV	25	30	35	4	45	50
N	6	9	12	16	20	25

Мінімальною кількістю, необхідною для забезпечення достовірності дендрохронологічних досліджень, дослідники вважають 10 зразків [154].

2.2.2. Обробка дендрохронологічних зразків. Після повітряного висушування зразків поверхню кернів підготовлено за допомогою

гострого леза, а контраст між межами річних кілець підвищено змочуванням водою та обробкою крейдою у разі складних випадків. Керни з гнилими частинами, поламані в декількох місцях і зразки, які не підлягали перехресному датуванню, вилучено з подальшої обробки. Не підлягали подальшій обробці також керни зі слабким перехресним датуванням, на що вказали низькі кореляції з іншими зразками у вибірці, та керни, що мали очевидні рубцеві тканини або інші докази важкої травми, а також керни, які мали нечіткі межі між шарами деревини [14, 21, 250, 285].

Частину матеріалу оброблено за допомогою цифрового приладу для вимірювання деревних кілець LINTAB із використанням програми TSAP у дендрохронологічній лабораторії Інституту географії при Університеті ім. Фрідріха-Александра міст Ерлангена та Нюрнберга в Німеччині та в дендрохронологічній лабораторії університету м. Вагенінген в Нідерландах упродовж стажування. Також величини шарів ранньої, пізньої та річної деревини виміряно цифровим приладом HENSON із точністю до 0,01 мм в лабораторії екології лісу УкрНДІЛГА (рис. 2.2).



А) Дуб



Б) Сосна

Рис. 2.2. Керни дуба звичайного та сосни звичайної

Для вивчення загальних тенденцій зміни радіального приросту дерев у часі, аналізу циклічності досліджуваних рядів, режиму коливань, екстремумів приросту, зв'язків динаміки приросту з метеорологічними та геліофізичними умовами довкілля застосовували різні методи порівняльного аналізу та аналізу подібностей між індивідуальними деревно-кільцевими хронологіями [13, 250].

2.2.3. Перехресне датування. Реперні роки. В першу чергу проведено візуальний аналіз рядів. Досліджували, як правило, графіки ширини річних кілець залежно від віку в абсолютних одиницях (мм) і у відносних – індексах. Цей метод дав змогу оцінити загальний характер динаміки приросту, виявити дати екстремумів, простежити зміни амплітуди і частоти коливань, виявити циклічність коливань приросту [154].

Шляхом перехресного датування річних кілець (методом «скелетних графіків») встановлено точні дати формування кожного кільця порівнянням графіків річного радіального приросту кожного дерева. Процес перехресного датування полегшується, коли виявляються негативні реперні роки, упродовж яких формуються вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою починає лімітуватися тим чи іншим зовнішнім фактором, або позитивні реперні роки, які характеризуються високим приростом і сприятливими гідротермічними умовами [13, 191, 198, 207, 250, 403].

До вивчення екстремальних значень приросту застосовано поняття «реперні роки» [250, 272, 403]. Реперні роки визначені шляхом застосування подвійного критерію: по-перше, значення або індекси приросту у реперні роки мають перевершувати або поступатися більш ніж на 20 % середнім показникам попереднього року. По-друге, зважали на те, що в індексах приросту зменшення або збільшення одного чи декількох стандартних відхилень визначається щодо середнього деревно-кільцевої хронології. Обидва критерії застосовували послідовно. Насамперед проаналізовані індивідуальні серії приросту кожної пробної площі та визначено реперні роки для локальних деревно-кільцевих хронологій, зважаючи на те, що вони присутні як мінімум у 75 % індивідуальних деревно-кільцевих серій. Реперні роки регіональної хронології обчислено з використанням тих самих критеріїв. Таким чином, ідентифіковані роки, що свідчать про значні зміни у прирості після дії екстремальних факторів та роки аномального приросту після більш поступових змін. Цей метод дає змогу дуже детально проаналізувати місцеві та регіональні значення екстремальних показників приросту [228, 262].

Якість датування кілець перевірено за програмою COFESHA. Шляхом зіставлення кореляційних коефіцієнтів між деревно-кільцевими хронологіями та їхніми частинами виявлено часові відрізки із слабкими незначущими кореляціями, які можуть бути пов'язані з помилками під час вимірювання шарів деревини. У цьому випадку виникає необхідність переілюструвати ширину шарів деревини або вилучити зразки з вибірки [276, 284, 285, 374]. Чим дерево чутливіше до зовнішніх факторів, тим легше здійснити синхронізацію річного приросту та порівняти шкали його коливань у різних дерев.

2.2.4. Варіаційна статистика та перевірка надійності деревно-кільцевих хронологій. Виражений сигнал популяції (EPS) та міжсерійну кореляцію (R_{bar}) розраховували для оцінювання

внутрішньої сили сигналу. Загальну силу сигналу в серії визначено через межсерійний коефіцієнт кореляції (R_{bar}), який розраховано як середню кореляцію між усіма деревно-кільцевими хронологіями [240, 398]. Обчислено популяційний сигнал (EPS), який виражає надійність вимірювань у хронології і є функцією R_{bar} та кількості деревно-кільцевих хронологій згідно з формулою:

$$EPS(t) = \frac{tR_{bar}}{tR_{bar} + (1 - R_{bar})} \quad (2.2)$$

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 $EPS \geq 0,85$ [398].

Стандартне відхилення оцінює мінливість вимірювань величин шарів деревини. Коефіцієнт чутливості – це відносна величина міжрічної мінливості приросту в серіях річних кілець індивідуальних хронологій, який обчислюється шляхом знаходження абсолютної різниці сусідніх значень ширини кілець, поділеної на їхнє середнє значення, за формулою:

$$K = \frac{1}{n-1} \sum_{t=1}^{n-1} \frac{2(x_{t+1} - x_t)}{x_{t+1} + x_t}, \quad (2.3)$$

де x_t – ширина річного кільця, або індекс приросту в рік t ;

n – кількість років.

Чим вищим є значення коефіцієнта, тим сильнішим є кліматичний сигнал у деревно-кільцевих хронологіях. Серія кілець вважається чутливою, коли середній коефіцієнт чутливості перевищує 0,3 [250].

Середня чутливість є мірою середньої відносної зміни між сусідніми величинами кільця і обчислюється як абсолютна різниця між сусідніми індексами, поділена на середнє значення двох індексів. Вищі значення середньої чутливості та стандартні відхилення вказують на більшу придатність хронологій для дендрокліматичного аналізу [269].

Автокореляція першого порядку оцінює взаємозв'язки радіального приросту дерев поточного року із приростом попереднього року. Одним із найбільш корисних параметрів для оцінювання якості хронології є загальна дисперсія серед дерев, включених до хронології. Вища загальна дисперсія, яка припадає на перший основний компонент,

вказує на більший кліматичний вплив на ріст дерев [240, 269]. Якщо коефіцієнт чутливості деревно-кільцевої хронології перевищує 0,2, то це свідчить про доцільність її використання в дендрокліматичних дослідженнях. Використання коефіцієнта *EPS* та коефіцієнта чутливості вище названих чинників для визначення надійності дендрохронологічних серій доказано низкою досліджень [272, 398].

2.2.5. Індксація деревно-кільцевих хронологій. Методом стандартизації, тобто створенням деревно-кільцевих індексних хронологій за допомогою програми ARSTAN вилучено вікові тренди з індивідуальних деревно-кільцевих серій, що дало змогу порівняти дерева з насаджень різного віку та знайти відгук радіального приросту на умови довкілля. Ця процедура є фільтрацією низькочастотної складової в багаторічних коливаннях приросту [252].

Отримано три види хронологій. Під час обчислення STANDART-хронології використано негативну експоненту. Потім часові ряди абсолютних значень деревних кілець були згладжені прямою лінією з нульовим або зворотнім нахилом, яку успішно підібрано для досліджуваної деревно-кільцевої хронології:

$$Y(t) = a - bt \quad (2.5),$$

де коефіцієнти a і b описують перетин осі X і нахил кривої; $Y(t)$, – очікуваний річний приріст, визначений із ковзної кривої; t – поточний рік.

Наступним кроком було обчислення індексів радіального приросту:

$$Index(t) = R(t) / Y(t) \quad (2.6),$$

де $Y(t)$ – очікуваний річний приріст, визначений із апроксимованої кривої; $R(t)$ – величина кільця поточного року.

Без авторегресійного аналізу створюється тільки ця версія хронології.

Версія хронології RESIDUAL обчислюється таким самим способом, що і стандартна, але використовується одномірне авторегресійне моделювання. Хронологію ARSTAN обчислено на основі коефіцієнтів авторегресії, отриманих під час багатомірного авторегресійного моделювання. При цьому відбувається спроба «захопити» якомога більше кліматичних сигналів. Для цього спочатку використано лінійну апроксимацію, потім застосовано авторегресійне моделювання, щоб усунути вплив попередніх років на формування річного кільця поточного року.

Середнє значення хронологій обчислено із застосуванням середньозваженого показника [249, 283, 397]. Під час аналізу коротких рядів (менше 30 річних кілець) використано 3-річні ковзні для видалення вікового тренду в деревно-кільцевих хронологія [13].

2.2.6. Взаємозв'язки між радіальним приростом дерев і чинниками довкілля (кліматичними, забрудненням, рекреацією, рівнем ґрунтових вод). Стандартизація серій величин кілець дала змогу проаналізувати відгук радіального приросту дерев на дію кліматичних чинників за допомогою програм RESPO з пакету програм DPL та PRECON для отримання кліматичного функціонального відгуку. Як зазначено вище, під час стандартизації в деревно-кільцевих хронологіях у першу чергу вилучається вікової тренд, тим самим посилюється кліматичний сигнал. У результаті залишається прояв загальної реакції дерев на явища, які постійно змінювали умови навколишнього середовища. Під час проведення дендрохронологічних досліджень найбільш придатні узагальнені хронології другого порядку, коли використовують модельні дерева одного виду, які ростуть на близько розташованих ділянках (на відстані не більше, ніж 5 км), з однаковим типом умов. У цьому випадку нівелюються різного роду сигнали, у тому числі мікрокліматичні.

За допомогою програми RESPO, як зазначено вище, проведено аналіз відгуку та кореляційний аналіз між деревно-кільцевими хронологіями RESIDUAL та кліматичними чинниками (температурами та опадами) [332]. Аналіз функції відгуку – це форма множинної регресії. Для відбору кращих змінних для цієї регресійної моделі використано кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями дерев і середньомісячними температурами повітря (°C), сумами опадів на місяць (мм) від червня до грудня попереднього року та від січня до вересня поточного року з використанням кореляційного коефіцієнта Пірсона. Статистично достовірний вплив кліматичних чинників визначено на рівні значущості 0,95 %.

Кліматичний відгук узагальнених хронологій проаналізовано за допомогою розрахунку коефіцієнтів кореляцій (R) між індексами приросту і щомісячними значеннями опадів і температури повітря за період, упродовж якого можливий вплив кліматичних факторів на річний радіальний приріст деревини. Це особливо важливо в тих випадках, коли відсутні будь-які припущення про можливий вплив кліматичних факторів на приріст дерев у конкретних умовах. У

дендрокліматичному аналізі використано місячні значення кліматичних змінних від січня до серпня поточного року і від липня до грудня попереднього року з метеостанцій, які розташовані найближче до досліджуваних насаджень [250].

За допомогою програми RESPO проведено багатофакторний регресійний аналіз, в якому середня місячна температура повітря та місячна сума опадів є незалежними змінними. Застосовано покроковий регресійний аналіз із метою відбору найбільш впливових на радіальний приріст кліматичних чинників, а також метод головних компонент для вилучення кліматичних чинників, які тісно корелюють між собою із аналізу, та множинний регресійний аналіз для оцінювання впливу клімату на приріст. Програма RESPO обчислює коефіцієнти лінійної кореляції (k) та множинної регресії (r^2). Аналіз функції відгуку застосовували для відстеження впливу кліматичних чинників на радіальний приріст за 15-місячний період (від липня попереднього року до вересня поточного року) для різних періодів. Внаслідок цього виділено періоди, під час яких відбувалося обмеження приросту екологічними чинниками [284].

Проведено кореляційний аналіз між індексами приросту та кліматичними показниками (середньомісячними температурами та сумами місячних опадів) від червня попереднього року до серпня поточного року та чинниками за різні періоди року (квітень-серпень, березень, зиму, травень-червень, липень-серпень тощо), гідротермічним показником O_3 , гідротермічним коефіцієнтом Г. Т. Селянінова, а також показниками сонячної активності – числами Вольфа.

Т. Т. Бітвінським встановлено доцільність оцінювання впливу кліматичних факторів на приріст насаджень за чотири роки з використанням комплексного гідротермічного показника O_3 [13]:

$$O_3 = (V_3 + 2V_2 + 3V_1 + 4V_1 + 4V_0) \times t_0 / 10 \times 10 \times 100, \quad (2.7),$$

де V – опади за гідрологічний рік, t – середня річна температура за той самий період: індекси за 0, 1, 2, 3 – роки (поточний, попередній та інші).

Розраховано гідротермічний коефіцієнт зволоження Г. Т. Селянінова (ГТК) як співвідношення суми опадів за період, коли середньодобова температура повітря перевищувала $+ 10^\circ\text{C}$, та суми активних температур за той самий період [8].

$$ГТК = 10 \times \frac{\sum P}{\sum t}, \text{ де} \quad (2.8)$$

де $\sum P$ – опади за період із середньою місячною температурою повітря понад 10 °С, мм; $\sum t$ – сума добових температур повітря за такий самий період, °С.

Для аналізу стану атмосфери використано показники метеостанцій міст Києва, Житомира, Харкова.

З метою встановлення порушень у насадженнях під впливом стрес-факторів обчислено індекси зміни приросту (GC_t) для року пошкодження (t), які є універсальними для всіх порід та умов місцевиростання [236].

$$GGt = (Agr2 - Agr1) / (Agr1 \times 100) \quad (2.9)$$

де Agr_1 – середньорічний приріст для періоду $n1$ перед роком, для якого характерні стрес-фактори (t);

Agr_2 – середньорічний приріст для періоду $n2$ після дії стрес-фактора.

Вважається, що зміни приросту відбулися, коли індекс GC_t перевищив поріг 25 %. Значне порушення в насадженні відбувається у випадку $GC \geq 75$ %, середнє – в межах між 50 та 75 %, а незначне – між 25 та 50 % [236].

Проведено ковзний кореляційний аналіз із інтервалом 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL та кліматичними чинниками метеостанції міста Харків. В аналізі взаємозв'язків між показниками клімату і радіальним приростом використано поняття «норма» – це осереднені значення температур та опадів за період 1960–2017 рр. Відхилення від норми чинників опадів і температур для років із екстремальними кліматичними явищами (посухами, холодними зимами тощо) виражені у відсотках [328].

Використано методи порівняльної екології: зіставлено абсолютні та відносні величини деревних кілець і реакцію радіального приросту на зміни в природному середовищі в порушених промисловими викидами та рекреацією насадженнях екопрофілів та відповідними величинами на контролі [111, 115].

Висновки до розділу 2

1. Лісівничі, дендрохронологічні методики та метод порівняльної екології дають змогу підвищити точність результатів досліджень впливу умов довкілля на радіальний приріст дерев, який є інтегральним показником і відображає стан насаджень.

2. Важливим є проведення перехресного датування, тобто встановлення точної дати утворення кожного річного шару деревини. Воно полягає у візуальному порівнянні кривих індивідуальних деревно-кільцевих хронологій за допомогою реперних років і якість якого перевіряється комп'ютерною програмою COFESHA. На думку багатьох дослідників, перехресне датування може займати 80–90 % часу від усього дендрохронологічного дослідження.

3. Необхідною є перевірка надійності деревно-кільцевих хронологій, основним маркерами якої є сигнал популяції (EPS) та міжсерійна кореляція (R_{bar}), які розраховують для оцінювання внутрішньої сили сигналу вибірки. Придатність цих хронологій до дендрокліматичного аналізу визначає також коефіцієнт чутливості, який має перевищувати 0,3.

4. Для виявлення взаємозв'язків між радіальним приростом і кліматом необхідно, по-перше, методом стандартизації, тобто створенням деревно-кільцевих індексних хронологій за допомогою програми ARSTAN, або методом ковзних (3-річними, 5-річними, або 11-річними ковзними) вилучити вікові тренди з індивідуальних деревно-кільцевих серій, що дає змогу порівняти дерева з насаджень різного віку, знайти відгук радіального приросту на вплив умов довкілля та посилити кліматичний сигнал в деревно-кільцевих хронологіях. По-друге, за допомогою програм RESPO, PRECON, або кореляційним аналізом виявити вплив кліматичних чинників на приріст. Аналіз кліматичного відгуку узагальнених хронологій проводиться за допомогою розрахунку коефіцієнтів кореляцій (R) між індексами приросту і щомісячними значеннями опадів і температури повітря за період, упродовж якого можливий вплив кліматичних факторів на річний радіальний приріст деревини.

5. З метою встановлення порушень у насадженнях під впливом стрес-факторів обчислювали індекси змін приросту (GC_t) для року пошкодження (t), які є універсальними для всіх видів дерев та умов місцезростання.

6. З метою встановлення порушень в насадженнях під впливом стрес-факторів було використано обчислення індексів змін приросту (GC_t) для року пошкодження (t), які є універсальними для всіх видів порід та умов місцезростання.

РОЗДІЛ 3

ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДІЛЯНОК

3.1. Природні умови району досліджень

Наведено стислий опис фізико-географічного положення, рельєфу, кліматичних умов і ґрунтово-рослинного покриву районів досліджень, які проведено у зоні мішаних лісів (Поліська провінція, фізико-географічні області Волинського та Житомирського Полісся); у лісостеповій зоні (Західноукраїнська лісостепова провінція) та на південних схилах Кримських гір (Південноузбережна Кримська область) [49, 176, 213].

3.1.1. Фізико-географічне положення. Дослідження проведені у Поліссі, Лісостепу та гірському Криму. Українське Полісся є південно-західною частиною зони змішаних лісів, які доходять до 60 ° пн. ш. (Поліська провінція). Дослідження проведено в таких фізико-географічних областях як Волинське Полісся та Житомирське Полісся. Порівняно слабо південна границя Полісся виявляється в придніпровській частині, особливо на лівому березі Дніпра, де поліські ландшафти широкими терасами поступово переходять у лісостепові ландшафти Придніпровської низини [213].

Межа між Поліссям і лісостеповою зоною проходить поруч із такими населеними пунктами: Володимир-Волинський – Луцьк – Рівне – Корець – Берездів – Шепетівка – Полонне – Чуднов – Троянов – Житомир – Корнин – Київ – Нежин – Комаровка – Батурин – Кролевець – Лужки [49, 176, 213].

Лісостепова зона України простягається з південного заходу на північний схід від Карпат до західних відрогів Середньо-Руської височини. Південна границя зони проходить північною межею розповсюдження звичайних чорноземів від східної границі Молдови через Фрунзівку, Долинське, Ананьєв, північніше Кропивницького, на Знам'янку, південніше Кременчука, до гирла ріки Ворскли на Красноград, Зміїв і долиною Сіверського Дінця далі на схід [213].

Кримська гірська фізико-географічна країна розташована на півдні Кримського півострова. Простягається вона вздовж північного узбережжя Чорного моря на 180 км від мису Херсонес до міста Феодосія.

3.1.2. Рельєф. Характерною рисою природних умов Полісся є низинний рельєф з широкими заболоченими річковими долинами. Основною причиною мозаїчності природи Полісся є її походження та розвиток упродовж четвертинного періоду. Східніше Полісся на тих самих широтах домінують лісостепові ландшафти.

Геологічна історія територія Полісся різноманітна. Полісся займає різні геоструктурні області Руської платформи. Західна частина Українського Полісся розташована в північній частині Галицько-Волинської впадини і на Поліському масиві, середня частина – на північному заході Українського кристалічного щита та на його схилах, східна частина – в межах Дніпровсько-Донецької впадини і на Поліському масиві, а частково – на схилі Воронезького масиву. В сучасному рельєфі Українського Полісся найбільш характерними є річкові долини, зандрові, моренно-зандрові і моренні рівнини. В окремих районах розвинений моренно-горбистий, денудаційний рельєф корінних (докембрійських) порід, карстові та ерозійні утворення.

У лісостеповій зоні різноманітність природних умов обумовлюється будовою рельєфу. На правому березі Дніпра розташовані Волинська височина, Західно-Подільське плато, східне Поділля і Придніпровська височина. Рівнинність цієї денудаційної рівнини характеризують правий берег Дніпра. Лівобережна частина зони розташовується на Дніпровській низовинній рівнині, яка відповідає Дніпровсько-Донецькій впадині. Низова терасова рівнина містить систему великих терас Дніпра. На сході Лісостеп займає відроги Середньо-Руської височини [213].

Кримські гори є складчасто-бриловою системою альпійської геосинклінальної зони. Кримські гори складаються з трьох паралельних пасм: Головного, Внутрішнього і Зовнішнього, що поступово знижуються з півдня на північ і простягаються з південного заходу на північний схід [213].

3.1.3. Клімат та гідрографія. Клімат Полісся помірно-континентальний із теплим і вологим літом і м'якою зимою. Літо тепле та вологе, зима м'яка. Сумарна сонячна радіація сягає $98\text{--}100 \text{ ккал}(\text{см}^2)^{-1}$, а величина радіаційного балансу на рік – $44\text{--}46 \text{ ккал}(\text{см}^2)^{-1}$, що значною мірою визначає тепловий режим Полісся. Середньорічна температура зменшується у тому ж напрямку від 7 до 5 °С, а середня температура найхолоднішого місяця – січня – від $-4,5$

до -7 , -8 °С. Січніві ізотерми проходять у субмеридіанальному напрямку.

Середня температура найбільш теплого місяця липня становить від 17 до 19 °С, річна кількість атмосферних опадів – 550 – 650 мм, а найбільша їхня кількість випадає в червні та липні [181]. У процесі досліджень використано дані Житомирської ($50^{\circ}15'53''$ пн. ш., $28^{\circ}40'36''$ сх. д.) (рис. 3.1–3.3).

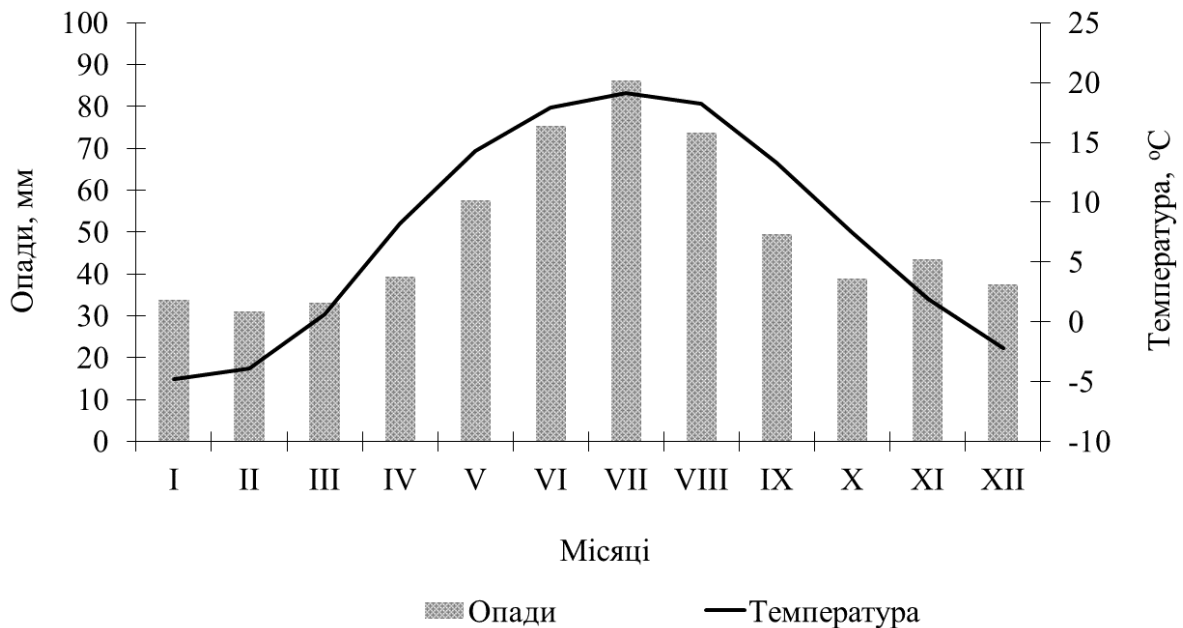


Рис. 3.1. Кліматограма метеостанції м. Житомир за 1945–2020 рр.

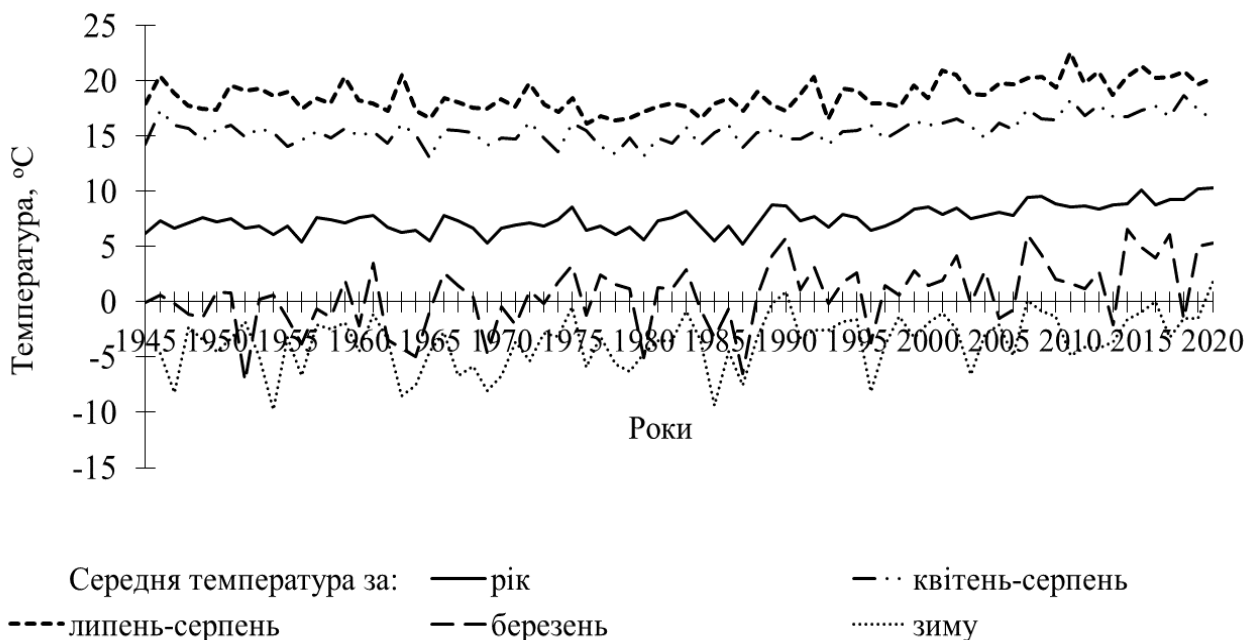


Рис. 3.2. Динаміка температур за даними метеостанції м. Житомир

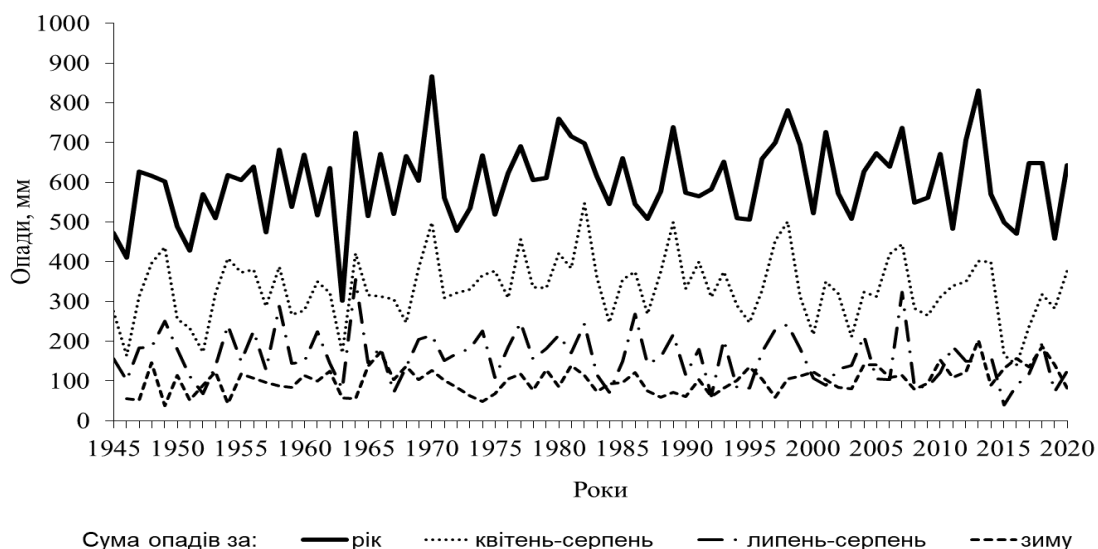


Рис. 3.3. Динаміка опадів за даними метеостанції м. Житомир

Найменшою кількістю опадів характеризується березень (33,1 мм). Середня річна температура становить 7,5 °С, а річна сума опадів – 600 мм. Вегетаційний період на Поліссі триває від другої декади квітня до третьої декади жовтня. Сума середніх добових температур від весняного до осіннього переходу через 10°С сягає 2620–2960°С.

На формування клімату впливають вологі повітряні маси з Атлантики у вигляді циклонів, що викликає збільшену кількість атмосферних опадів, прохолодну погоду влітку та потепління взимку. Окрім цього в Полісся приходять арктичні повітряні маси і в незначній кількості тропічні повітряні маси. За кількістю опадів Полісся посідає перше місце серед рівнинних територій України. В середньому на рік випадає 550–650 мм. В окремі роки в деяких районах Полісся випадало від 300 до 1000 мм на рік.

Стійкий сніговий покрив встановлюється в середньому у другій половині грудня і триває 90–100 днів. Висота снігового покриву становить від 13–15°см на заході до 30–35 см на сході. Середня глибина промерзання ґрунтів сягає 40–50 см.

Водний режим річок Полісся (Дніпра, Прип'яті, Десни, Горині, Стира, Тетеріва, Ужа, Случа тощо) характеризується тривалою весняною повінню, що супроводжується широкими розливами, літньо-осінньою меженню. Весняний максимум реєструють наприкінці березня або на початку квітня. Трапляються долинні карстові та

льодовикові озера. Найбільшими озерами Українського Полісся є Свитязь, Пулеметське, Турське. Утворення боліт у Поліссі обумовлено характером рельєфу, кліматичними умовами, гідрографічними та гідрологічними особливостями, близьким заляганням ґрунтових вод. Найширше розвинені низинні болота, яка живляться річковими водами.

Клімат Лісостепу помірно-континентальний. Показник континентальності клімату збільшується від заходу на схід від 22 °С до 27 °С. Влітку температури підвищуються з північного заходу на південний схід. Сумарна радіація за рік змінюється від 107 ккал·(см²)⁻¹ на сході до 102 на заході, а радіаційний баланс – від 50 до 47 ккал·(см²)⁻¹ відповідно. Середня температура липня становить від +18 до +22 °С. Середня температура січня змінюється в межах від –5 до –8 °С. Опадів випадає в середньому близько 550–700 мм [181]. За даними Харківської метеостанції (49°55'28" пн. ш., 36°17'24" сх. д.) найтеплішим (19,1 °С) і найвологішим (86°мм) місяцем є липень, а найхолоднішим – січень (–4,8 °С). Найменшою кількістю опадів характеризується березень (33,1 мм). Середня температура за рік становить 7,5 °С, а річна сума опадів – 600 мм (рис. 3.4–3.6).

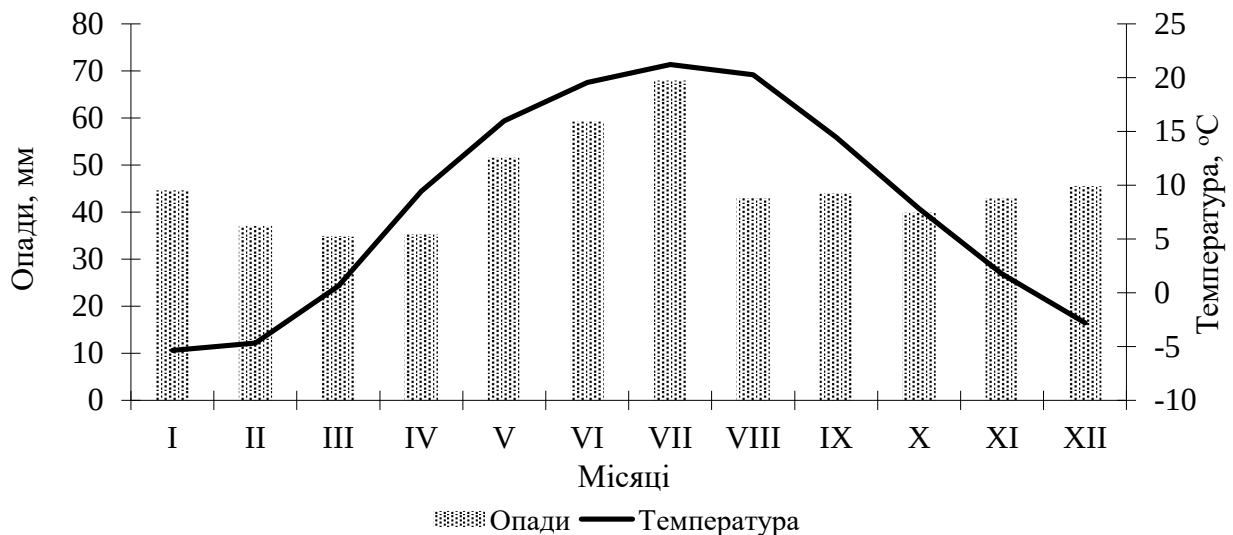


Рис. 3.4. Кліматограма метеостанції м. Харків за 1959–2020 рр.

Період інтенсивної вегетації становить від 100 до 120 днів. Кількість опадів варіює від 550 до 700 мм на рік на заході, в центральній частині – 500–550 мм, а на південному сході – до 450 мм. Тобто показники вологості Західного лісостепу є типовими для зони

змішаних лісів. Лівобережний Лісостеп характеризується найменшою кількістю опадів.

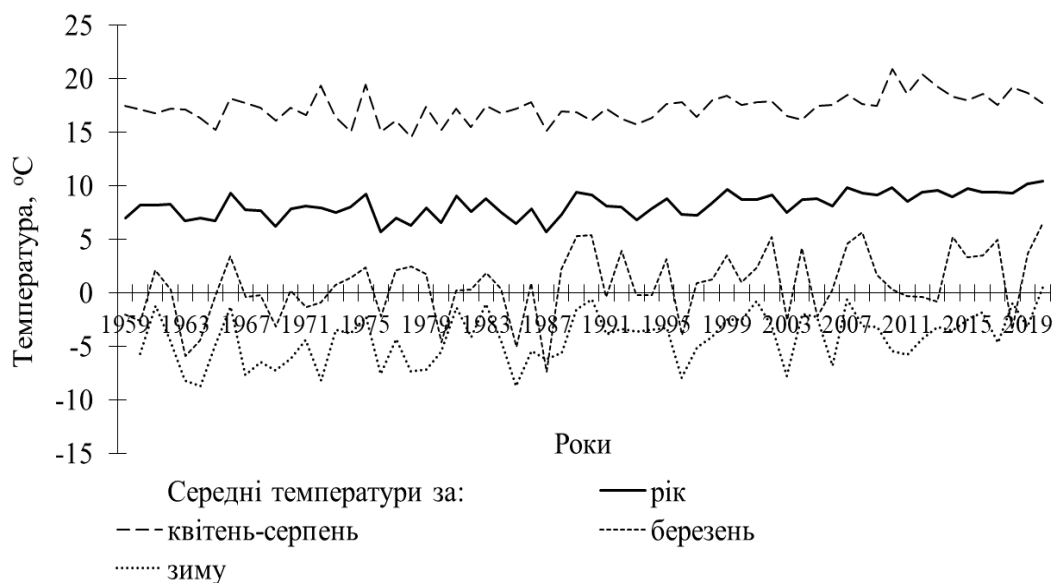
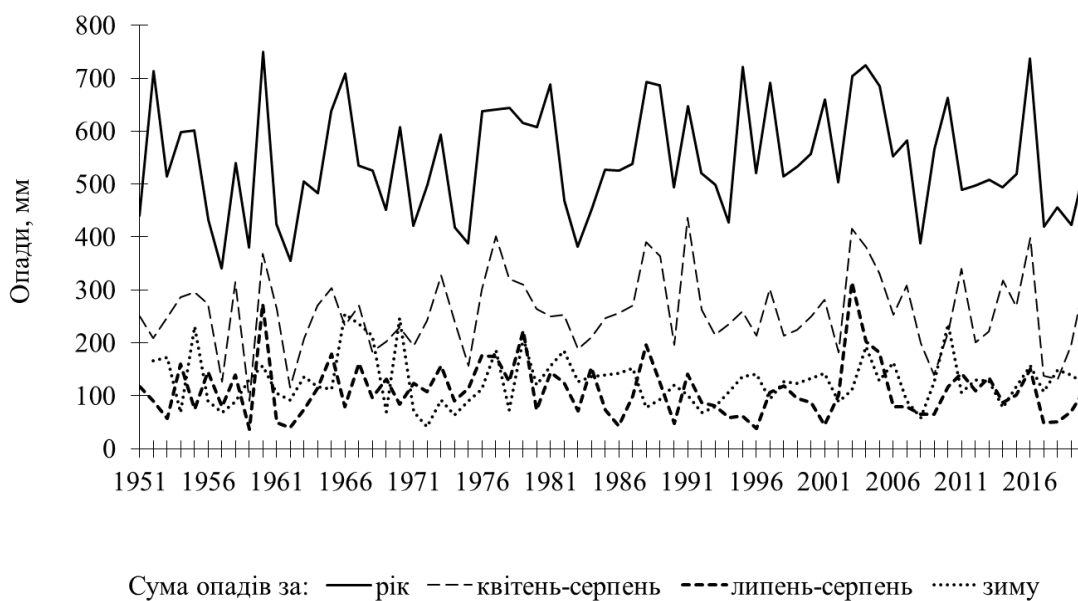


Рис. 3.5. Динаміка температур за даними метеостанції м. Харків



3

Рис. 3.6. Динаміка опадів за даними метеостанції м. Харків

На заході річки належать до басейнів Західного Бугу, Дністра та Південного Бугу. Центральна частина знаходиться в басейні Дніпра. Для Лівобережжя характерні притоки річок Дніпра та Сіверського Дінця [49, 172].

Клімат на південному узбережжі Криму середземноморський субтропічний (так звані «північні субтропіки»). Циклони взимку й підвищений атмосферний тиск улітку. Південне узбережжя Криму – найтепліша ділянка як кримського узбережжя, так і всієї України. Літо

сухе, майже бездощове, довге і спекотне. Опади, які приносять середземноморські циклони, випадають восени і взимку. Зима дуже тепла, тому сніг відразу тане. Середня температура липня й серпня близько $+24^{\circ}\text{C}$; середня температура січня близько $+4^{\circ}\text{C}$. Опадів випадає до 600 мм на рік (рис. 3.7–3.10).

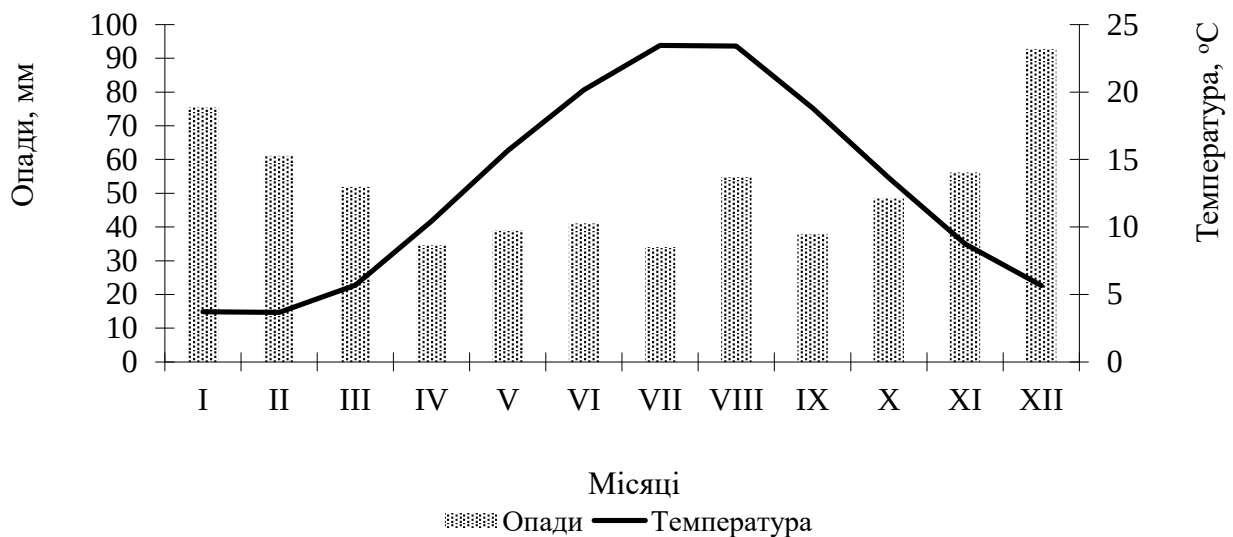


Рис.°3.7. Кліматограма за даними метеостанції Нікітського ботанічного саду за 1973–2011 рр.

Сприятливими для росту дерев видалися 1974, 1981, 1992, 1996 та 2009 рр., коли середня температура упродовж березня-вересня становила менше 15°C , а річних опадів випало 800–1000°мм. Посушливі роки: 1975, 1981, 1990, 2003 та 2008 рр., коли річних опадів випало менше 500°мм.

Відносна вологість у посушливі роки упродовж вегетаційного періоду була менше 55 %, тоді як у сприятливі для радіального приросту дерев відносна вологість сягала більше 70 % (рис.°3.8–3.10).

На погоду значною мірою впливають Кримські гори і Чорне море. Гори влітку захищають узбережжя від сухого перегрітого повітря степу, а взимку від холодних північних вітрів. Виявлено з 90-х років збільшення температури та кількості опадів [174, 176].

Район досліджень — пологогорбиста поверхня, складена глинистими сланцями й вапняками, обмежена із півночі уступом яйли, що круто обривається до моря на ділянці від мису Айя до Алушти.

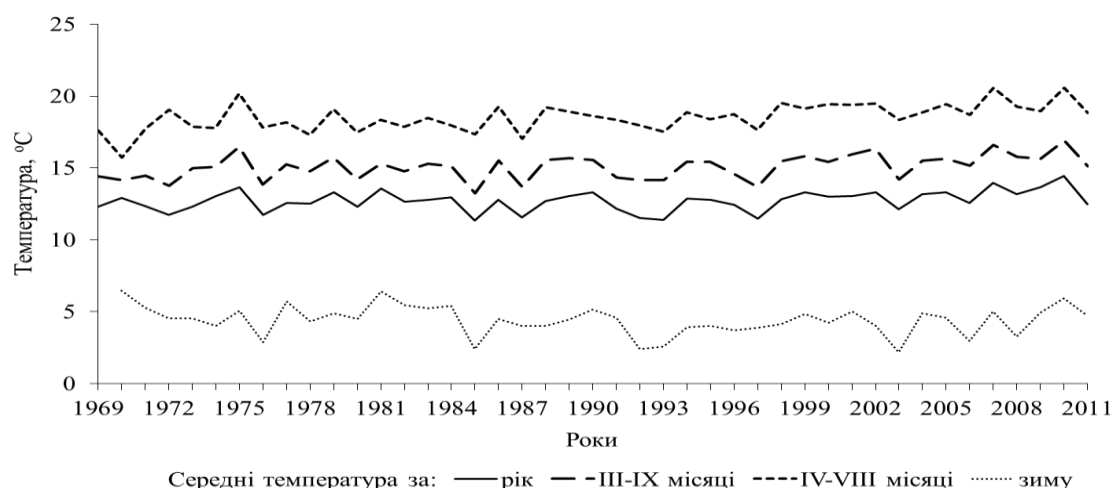


Рис.°3.8. Динаміка температур за даними метеостанції Нікітського ботанічного саду

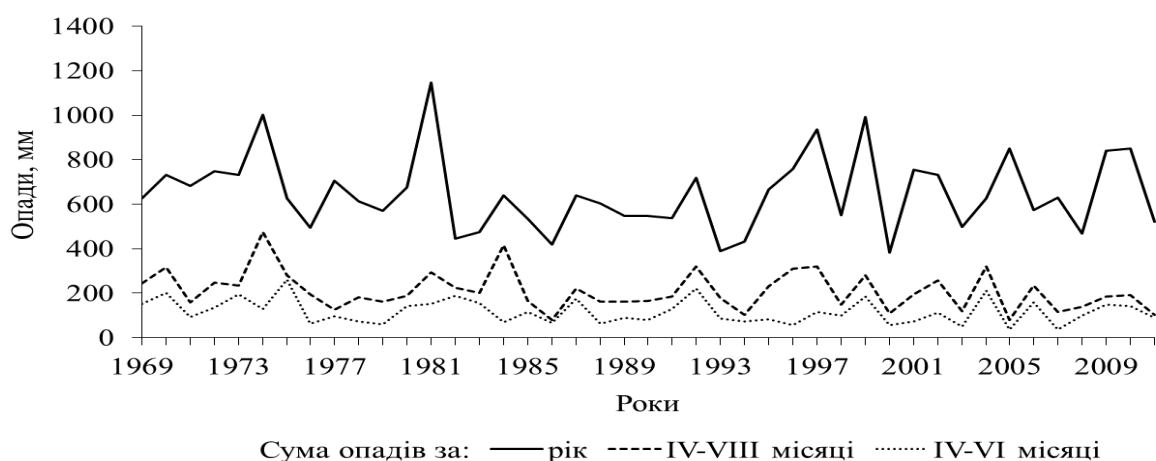


Рис. 3.9. Динаміка опадів за даними метеостанції Нікітського ботанічного саду

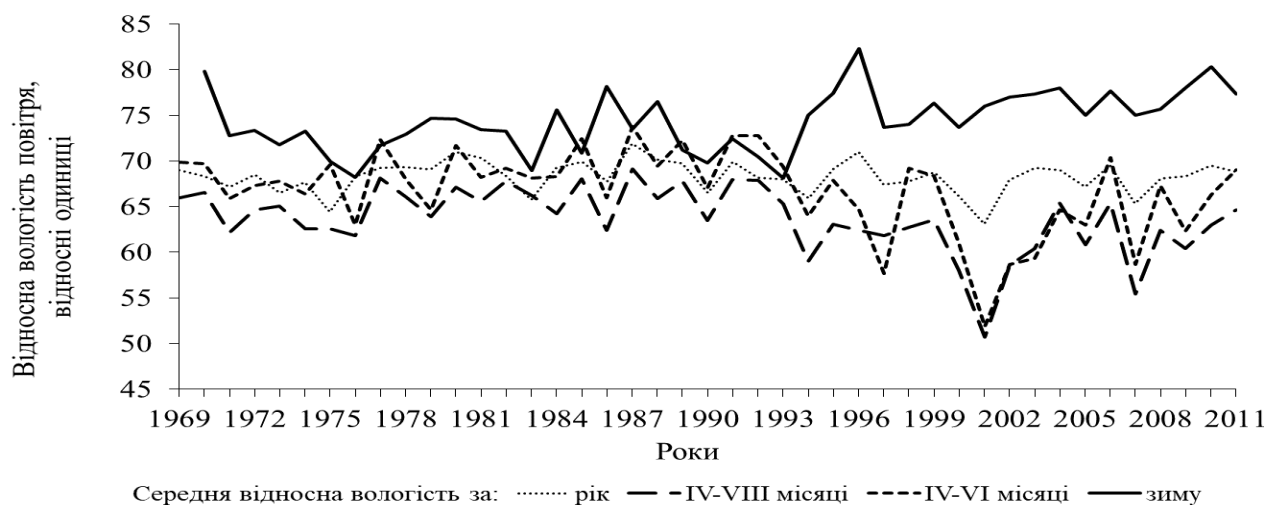


Рис. 3.10. Динаміка відносної вологості за даними метеостанції Нікітського ботанічного саду

Загалом це прибережно-схилів височини (до висоти 400 м), окремі вулканічні низькогір'я та міжгірні улоговини. Висотна пояси́сть рослинності доволі яскраво виражена на південному схилі гір. Від морського узбережжя і до висоти 500 м н.р.м. ростуть сухолюбні дубово-ялівцеві ліси. Пояс кримської сосни і дуба розташований на висоті від 500 до 900 м. Ще вище, до 1300 м, – ліси з кримського бука й червоностовбурової сосни. На яйлах вони змінюються поясом гірських лук і ялівцевого стелюха. Ґрунти у гірсько-лісовій зоні – буроземи [383].

Досліджено зміни клімату. Підвищення температур в Поліссі та Лісостепу відбулося таким чином: у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. річні температури підвищилися в Поліссі на 1,5 °С (17 %), а у Лісостепу – на 1,2 °С (13 %), температури за квітень–серпень – на 1,2 °С (7 %) та 1,3 °С (7 %), березневі – на 1,8 °С (70 %) та 1,4 (68 %) і зимові на 1,5 °С (107 %) та 0,7 °С (18 %) відповідно.

Потепління швидшими темпами відбувається в Поліссі, ніж у Лісостепу. Так зимові температури упродовж 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. в лісовій зоні підвищилися майже вдвічі, тобто на 1,5 °С, в Лісостепу – на 0,7 °С (22 %). Водночас в обох природних зонах річні температури збільшилися на 1,2–1,5 °С (13–17 %), середні температури за квітень–серпень – на 1,2–1,3 °С (7 %), березневі температури – на 1,4–1,8 °С (68–70 %).

У Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. відбулося зменшення кількості опадів упродовж квітня–серпня на 46,1°мм (13 %), тоді як річна кількість опадів збільшилася на 267°мм (30 %) і зимові опади збільшилися на 124 м (57 %).

У Лісостепу відбулося незначне збільшення кількості опадів. Так у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. річна кількість опадів збільшилася на 1,0°мм (0,18 %), за квітень–серпень – на 0,54 мм (0,21 %) та зимові – на 6,4 мм (5,0 %).

У Криму упродовж 2002–2011 рр. у порівнянні з попередніми 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 0,74 °С (6 %), упродовж квітня–серпня – на 0,66 °С (3,4 %), березневі на 0,45 °С, зимові температури – на 0,45 °С (7,8°%).

Відбулося збільшення кількості річних опадів у другому періоді у порівнянні з першим на 0,75 мм (27 %), при цьому упродовж квітня–серпня це збільшення відбулося на 59,2 мм (8,8 %), а упродовж зими навпаки – кількість опадів зменшилася на 54 мм (25 %).

3.1.4. Ґрунти. У Поліссі ґрунти утворилися переважно на безкарбонатних піщаних і супіщаних відкладеннях в умовах значного зволоження під змішаними лісами з трав'янистим покривом. Зональними типами ґрунтів є дерново-підзолисті та болотні, які займають 75 % усього Українського Полісся. Крім того тут трапляються перегнійно-карбонатні, сірі лісові ґрунти та зрідка опідзолені чорноземи. Серед дерново-підзолистих ґрунтів найбільше розповсюдження мають дерново-слабопідзолисті та дерново-середньо підзолисті. Болотні ґрунти займають переважно сучасні та стародавні річні долини і улоговини, а також мікро- і мезопониження серед водорозділів.

У Лісостепу ґрунтовий покрив утворений чорноземами опідзоленими і типовими, світло-сірими ґрунтами різного ступеня вилуженості, карбонатності і засоленості, а також комплексом алювіальних ґрунтів. На лівому березі переважають нормальні різновиди чорноземів, а на впадинах – суфоїзного походження. На Правобережжі поширені переважно опідзолені чорноземи та темно-сірі ґрунти. Як опідзолені чорноземи, так і темно-сірі лісові ґрунти утворились в результаті опідзолювання чорноземних ґрунтів у процесі завоювання лісовою рослинністю степових просторів [49, 213].

Ґрунтовий покрив Кримських гір дуже строкатий і змінюється з висотою. У передгір'ї поширені дерново-карбонатні гірсько-лісостепові, а на Південному березі Криму – коричневі ґрунти. Південний схил Головного Кримського пасма не має суцільного ґрунтового покриття – він переривається тут скельними породами, кам'яними осипами [49, 213].

Особливості зміни клімату у районах досліджень. Річні температури повітря в Лісостепу та Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. підвищилися на 1,2–1,5 °C (13–17 %), середні температури за квітень–серпень – на 1,2–1,3 °C (7 %). У Поліссі потепління відбувається більш швидкими темпами, ніж у Лісостепу: зимові температури за цей період підвищилися майже вдвічі (на 1,5 °C), а в Лісостепу – на 0,7 °C (на 22 %). У Поліссі річна кількість опадів у другому періоді збільшилася на 30 %, а у Лісостепу – на 0,18 %, причому розподіл опадів за сезонами в цих зонах суттєво відрізняється [49, 213, 383].

У Криму у 2002–2011 рр. у порівнянні з 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 0,74°C (6 %); кількість річних опадів зросла на 75,4 мм (27 %), зокрема у квітні–серпні на 59,2 мм (8,8 %), а

в зимові місяці зменшилася на 54 мм (25 %). Реакція радіального приросту дерев на зміну клімату залежить від її напрямку, інтенсивності та розподілу цих змін упродовж року.

3.2. Опис експериментальної бази

3.2.1. Полісся. Лісистість території сильно варіює (від 10 до 50 %) і в середньому становить 29 %. Серед лісів Поліссі провідну роль відіграють соснові, сосново-дубові, дубово-грабові ліси та вільшаники. Досліджено вісім соснових деревостанів віком від 55 до 90 років, які ростуть в умовах свіжого бору (А₂) та свіжого субору (В₂) на дернових супіщаних ґрунтах, на флювіогляціальних пісках, що підстиляються моренними супісками та суглинками. Вік деревостанів становить від 55 до 80 років, повнота – 0,7–0,8, середній діаметр дерев – 16–33 см, висота – 15–29 м, бонітет – І–ІІ, запас – 200–390. (табл. 3.1).

Таблиця 3.1

Характеристика досліджуваних соснових деревостанів у Поліссі

№ ПП	Географічні координати		Н.р. м., м	ТЛУ	Скл.	Вік , років	В.п.	D _{сер.} см	H _{сер.} м	Бонітет	Запас, м ³ /га ₁
	широта, пн. ш.	довгота, сх.д.									
1	51°13'40"	27°38'53"	183	В ₂	10Сз	55	0,8	20	20	Ia	300
2	51°13'38"	27°38'51"	183	В ₂	10Сз	60	0,8	20	19	II	330
3	51°13'36"	27°38'54"	183	А ₂	10Сз	55	0,8	16	15	II	200
4	51°13'39"	27°38'52"	183	В ₂	10Сз	65	0,8	20	19	II	330
5	51°13'37"	27°38'50"	183	А ₂	10Сз	55	0,7	16	15	II	200
6	51°13'43"	27°38'51"	183	А ₂	10Сз	64	0,7	22	24	II	330
7	51°13'42"	27°38'52"	183	А ₂	10Сз	>80	0,7	30	29	II	380
8	50°18'54"	29°05'35"	180	В ₂	10Сз	70	0,7	33	28	I	390

Примітка. Скл. – склад насадження; в.п. – відносна повнота; 1 – ДП «Жужельське ЛГ» Смільчинське лісництво (17 кв., 17 вид.); 2 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (37 кв., 3 вид.); 3 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (115 кв., 37 вид.); 4 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (51 кв., 6 вид.); 5 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (92 кв., 8 вид.); 6 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (82 кв., 6 вид.); 7 – ДП «Малинське ЛГ» Іршанське лісництво (36 кв., 16 вид.); 8 – ДП «Коростишевське ЛГ» Коростишеське лісництво (22 кв., вид. 5).

Дослідження проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях віком від 50 до 155 років, повнота яких становить від 0,4 до 0,6, середній діаметр дерев 26–48 см, середня висота дерев – від 11 до 28 м. Насадження ростуть в умовах свіжого, сирого та мокрого сугруду (табл. 3.2).

Таблиця 3.2

Характеристика досліджуваних дубових деревостанів у Поліссі

№ П П	Географічні координати		Н (н.р. м.), м	ТЛУ	Вік, ро- ків	Відносна повнота	D, см	Н, м	Боні- тет
	широта пн. ш.	довгота сх.д.							
1	50°35'00"	27°37'13"	218	D ₂₋₃	155	0,5	44	28	II
2	51°13'40"	27°38'53"	183	C ₄₋₅	>10 0	0,5	48	26	II
3	51°13'40"	27°38'53"	183	C ₄	>10 0	0,6	45	27	II
4	51°23'40"	26°50'50"	150	C ₄₋₅	>50	0,4	26	11	V

Примітка. ПП – пробні площі; 1 – ДП «Новоград-Волинське ЛГ», Пилиповецьке лісництво, кв. 2, виділ 5; 2 – ДП «Олевське ЛГ», Олевське лісництво (кв. 5, вид. 2); 3 – ДП «Олевське ЛГ», Олевське лісництво (кв. 3, вид. 4); 4 – Рівненський природний заповідник; Н (н.р.м.) – висота над рівнем моря.

3.2.2. Лісостеп. Закладено шість ППП в соснових деревостанах. Вік насаджень від 59 до 100 років, які ростуть, головним чином, в умовах В₂ за винятком насадження на ППП №9, яке росте в умовах А₂. Повнота деревостанів коливається в межах 0,60–0,82, середній діаметр дерев – 0,22–0,42 см, середня висота дерев – 0,20–0,24 м, бонітет – I–II, запас – 0,310–435 м³·га⁻¹ (табл. 3.3).

Дослідження проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях IV та V класів віку, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого груду (табл. 3.4).

Досліджено вплив рекреації на соснові деревостани Лівобережного Лісостепу. Об'єктами досліджень були середньовікові чисті соснові деревостани в гідропарку м. Харкова (4–5-ої та 5-ої стадій рекреаційної дигресії) та в Бабаївському лісництві (контроль), розташовані на борових терасах річок Харків та Уди. В насажденні 5-ої стадії дигресії відзначено подвійний антропогенний вплив: рекреаційний і вплив автомобільного транспорту.

Таблиця. 3.3

Характеристика досліджуваних соснових деревостанів у Лісостепу

№ ПП	Географічні координати		Н (н.р. м.), м	Т Л У	Скл.	Вік, років	Пов- нота	D _{сер.} , см	H _{сер.} , м	Бо- ні- тет	Запас, м ³ . га ⁻¹
	широта, пн. ш.	довгота, сх.д.									
1	49° 58' 48"	36° 15' 36"	111	A ₂	10сз	59	0,75	24	20	I	328
2	49°27'40".	36°51'34	80	B ₂	10сз	85	0,80	23	22	I	404
3	49°27'45"	36°51'34"	80	B ₂	10сз	90	0,80	22	21	I	404
4	49°27'45"	36°51'34"	80	B ₂	10сз	90	0,76	25	21	I	406
5	49°49'36 "	36°19'38"	109	B ₂	10сз	74	0,82	38	23	I	435
6	50°02'45 "	36°19'42"	109	B ₂	10сз	100	0,60	42	24	II	310

Примітка. Скл. – склад насаджень; 1 – ДП «Жовтневе ЛГ», Бабаївське лісництво, 32 кв., 5 вид.; 2 – ДП «Балаклійське ЛГ», Високобірське лісництво, кв. 66, вид. 65; 3 – ДП «Балаклійське ЛГ», Високобірське лісництво, кв. 65, вид. 4; 4 – ДП «Балаклійське ЛГ», Високобірське лісництво, кв. 61, вид. 5; 5 – ДП «Жовтневе ЛГ», Васищівське лісництво, кв. 104, вид. 4; 6 – ДП «Харківська науково-дослідна станція» (Південне лісництво), кв. 159, вид. 7.

Таблиця 3.4

Характеристика досліджуваних соснових деревостанів Лісостепу

№ ПП	Географічні координати		Н (н.р. м.), м	Т Л У	Вік, ро- ки	Пов- нота	D _{сер.} , см	H _{сер.} , м	Боні- тет
	широта пн. ш.	довгота сх.д.							
4	50°06'41"	36°07'18"	122	D ₂	65	0,8	26,1	22,4	II
5	50°05'31	36°17'40"	122	D ₂	100	0,6	40,0	25,0	II
6	49°58'50"	36°15'09"	113	C ₂	100	0,9	37,3	22,9	I–II
7	49°54'42"	36°27'22"	152	D ₂	70	0,7	24,0	23,0	II

Примітка. ПП – пробні площі; 4 – ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (Данилівський ДДЛГ), Дергачівське лісництво, 320 кв., вид. 3; 5. – ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (ДП «Харківська ЛНДС»), Південне лісництво, кв. 116, вид. 9; 6 – Харківський Центральний парк культури і відпочинку ім. М. Горького; 7 – ННВЦ («Дослідне поле» ХНАУ ім. В. В. Докучаєва).

Вивчено вплив рекреації на соснові деревостани зеленої зони м. Зміїв Харківської області. Досліджено реакцію радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату в насадженнях із різним ступенем рекреаційного навантаження. Об'єкти досліджень – чисті соснові середньовічні насадження на чотирьох ППП з різним рівнем

рекреаційної дигресії. Тип лісорослинних умов A_1 та A_2 .

Досліджено вплив рекреації на дубові деревостани зеленої зони м. Харків. Об'єкти досліджень – порослеві стиглі насадження дуба звичайного (дубняки яглицевих із осокою волосистою свіжої ясеневоліпової діброви) 100-річного віку III–IV генерації у Лісопарковому господарстві м. Харкова на трьох постійних пробних площах, які формують екологічний ряд за рівнем рекреаційного навантаження: 2-ої, 3-ої та 4-ої стадії дигресії. Середній діаметр дуба в насадженні 2-ої стадії дигресії в першому ярусі складає 30,3 см, у другому – 19,6 см, а середня висота відповідно – 25,3 та 16,4 м; в насадженні 3-ої стадії – в першому ярусі середній діаметр є 38,6 та у другому ярусі – 27 см, середні висоти відповідно: в першому ярусі – 27,1 м та в другому – 27,0 м; в четвертому середній діаметр дерев в першому ярусі – 44,4 см (дуб в другому ярусі відсутній), середня висота – 26,3 м. На ППП 3-ї та 4 стадії дигресії бонітет – II, на ППП 2-ої стадії – I–II. Повнота деревостанів – 0,9. Тип умов місцезростання – C_2 .

Досліджено вплив аеротехногенного забруднення підприємства ВАТ «Балцем» на соснові деревостани. Об'єкти досліджень – чисті соснові деревостани борової тераси р. Сіверський Донець, які ростуть на різній відстані (0,8; 1,5; 2,2 та 20,6 км) від підприємства ВАТ «Балцем» на Харківщині (Високобірське лісництво ДП «Балаклійське ЛГ» на чотирьох ППП. Досліджувані чисті соснові деревостани ростуть в умовах B_2 (вік 85–90 рр.). Середній діаметр сосни складає 26–33 см; середня висота – 24–30 м; бонітет – I–I^a; повнота – 0,8; запас – 473–602 м³·га⁻¹.

Вивчено вплив аеротехногенного забруднення викидами ЗТЕС на соснові деревостани. Об'єкти досліджень – чисті соснові середньовічні насадження, що ростуть на дерново-підзолистих середньо розвинутих ґрунтах. Тип лісорослинних умов B_2 . Три постійні пробні площі (ППП), розташовані на відстані 5,5, 8,5 та 13 км (умовний контроль) від ЗТЕС.

3.2.3. Гірський Крим. Закладено три ПП віком від 50 до 150 років. Вік деревостанів коливається в межах 50–155 років, повнота – 0,4–0,5, діаметр дерев – 26–44 см, а висота в межах – 11–28 мм. Бонітет – II та V (табл. 3.5).

Таблиця. 3.5

**Характеристика досліджуваних лісостанів сосни кримської в
деревостанах південного схилу Кримських гір**

Пункт дослідду	Географічні координати		Н (н.р. м.), м	ТЛУ	Вік, ро- ків	Пов- но- та	D _{сер.} , см	D _{сер.} , см	Бо- ні- тет
	широта пн. ш.	довгота сх.д.							
Гурзуф	50°35'00"	27°37'13"	218	D ₂₋₃	155	0,5	44	28	II
Алупка	51°13'40"	27°38'53"	183	C ₄₋₅	>10 0	0,5	48	26	II
Алушта	51°23'40"	26°50'50"	150	C ₄₋₅	>50	0,4	26	11	V

3.3. Обсяг виконаних робіт

На 15 ППП та 13 ТПП обстежено 2800 дерев сосни звичайної, на 6 ППП та 5 ТПП обстежено 1050 дерев дуба звичайного, на 3 ТПП – 75 дерев сосни кримської. Відібрано 540 кернів сосни звичайної та 220 кернів дуба звичайного.

Проаналізовано ряди метеопказників метеостанції м. Харків за 1959–2020 рр., м. Житомир за 1945–2020 рр., метеостанції Нікітського ботанічного саду за 1969–2011 рр.

Проаналізовано коливання РГВ в постійних спостережних свердловинах Сусли-2, Сусли-3, Пилиповичі, Церемської осушувальної системи (с. Велика Горбаша), на Починській осушувальній системі (с. Пищів) за 2002–2014 рр.

Висновки до розділу 3

1. Річні температури повітря в Лісостепу та Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. підвищилися на 13–17 %, середні температури за квітень–серпень – на 7 %. У Поліссі потепління відбувається більш швидкими темпами, ніж у Лісостепу: зимові температури за цей період підвищилися майже вдвічі, а в Лісостепу – на 22 %.

2. У Поліссі річна кількість опадів у другому періоді збільшилася на 30 %, а у Лісостепу – на 0,18 %, причому розподіл опадів за сезонами в цих зонах суттєво відрізняється.

3. У Криму у 2002–2011 рр. у порівнянні з 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 6 %; кількість річних опадів зросла на

27 %, зокрема у квітні-серпні 8,8 %, а в зимові місяці зменшилася на 25 %.

4. На 27 ППП та 1 ТПП обстежено 2800 дерев сосни звичайної, на 6 ППП та 5 ТПП обстежено 1050 дерев дуба звичайного, на 3 ТПП – 75 дерев сосни кримської. Відібрано 540 кернів сосни звичайної, 220 дуба звичайного, 50 кернів ясена звичайного.

5. Проаналізовано ряди метеопоказників метеостанції м. Харків за 1959–2020 рр., м. Житомир за 1945–2020 рр., метеостанції Нікітського ботанічного саду за 1969–2011 рр.

6. Проаналізовано коливання РГВ в постійних спостережних свердловинах (Сусли-2, Сусли-3, Пилиповичі, Церемської осушувальної системи (с. Велика Горбаша), на Починській осушувальній системі (с. Пищів) за 2002–2014 рр.

РОЗДІЛ 4

ДИНАМІКА РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ, СОСНИ КРИМСЬКОЇ ТА ДУБА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ

4.1. Вплив клімату на радіальний приріст сосни звичайної в Поліссі

Соснові ліси в Європі займають понад 28 млн га, що становить близько 12 % світового поширення *Pinus sylvestris* [333]. Сосна звичайна є однією з основних лісоутворювальних порід в Україні. Вона поширена на Поліссі, в північній частині Лісостепу, іноді на піщаних терасах річок північної частини Степу. В Україні сосна займає близько 2,5 млн га, або близько 34 % всієї лісової площі [15].

Сосна кримська є найпоширенішим видом сосни, що росте в усій Європі від Іспанії до Криму. Також поширена в Малій Азії, на Кіпрі та в Атлаських горах. Зростає на висотах від рівня моря до 2000 м [384].

Протягом останніх років відбувалося масове всихання сосни звичайної в Україні і світі. Це насамперед пов'язано із кліматичними змінами: підвищенням температури повітря та зниженням кількості опадів влітку і підвищенням їхньої кількості взимку майже в усіх частинах Європи [267]. Середня температура в Україні за останні десять років підвищилася на 0,3–0,6 °C (за останні 100 років – на 0,7 °C) [55, 380]. Це призводить до ослаблення захисних функцій дерев та сприяє розмноженню стовбурових комах, які прискорюють відмирання сосняків [338, 339].

Для розуміння впливу клімату на радіальний приріст у дендро-кліматології та дендроіндикації широко досліджують сосну звичайну, яка надзвичайно чутлива до змін умов довкілля [342]. Стратегії адаптації, спрямовані на пом'якшення наслідків глобального потепління для лісових екосистем, таких як посилення стресової посухи, є предметом гострої дискусії [356]. У цьому контексті дослідження радіального приросту дерев сосни звичайної є надзвичайно актуальними і цікавлять як науковців, так практиків.

4.1.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної в Поліссі. Досліджено вісім соснових деревостанів віком від 55 до 90 років, які ростуть в умовах свіжого бору (А₂) та свіжого субору (В₂) на дернових супіщаних ґрунтах на флювіогляціальних

пісках, що підстилаються моренними супісями і суглинками (див. табл. 3.1).

Створено регіональну деревно-кільцеву хронологію сосни звичайної для Полісся. Вона складається із 68 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на 8 локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 3995 шарів річної деревини (рис. 4.1).

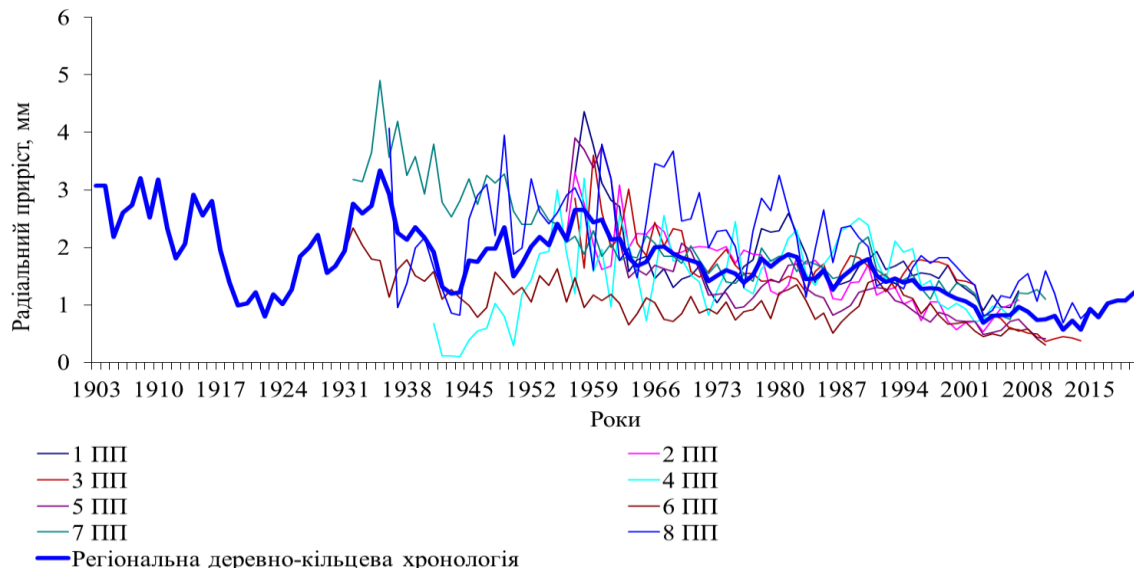


Рис. 4.1. Динаміка локальних і регіональної деревно-кільцевих хронологій сосни в Поліссі

На основі цих серій побудовано локальні та регіональну індексну серію RESIDUAL для сосни звичайної, з яких було вилючено віковий тренд, що дало змогу провести дендрокліматичний аналіз. Регіональна деревно-кільцева хронологія сосни охоплює 119 років (рис. 4.2).

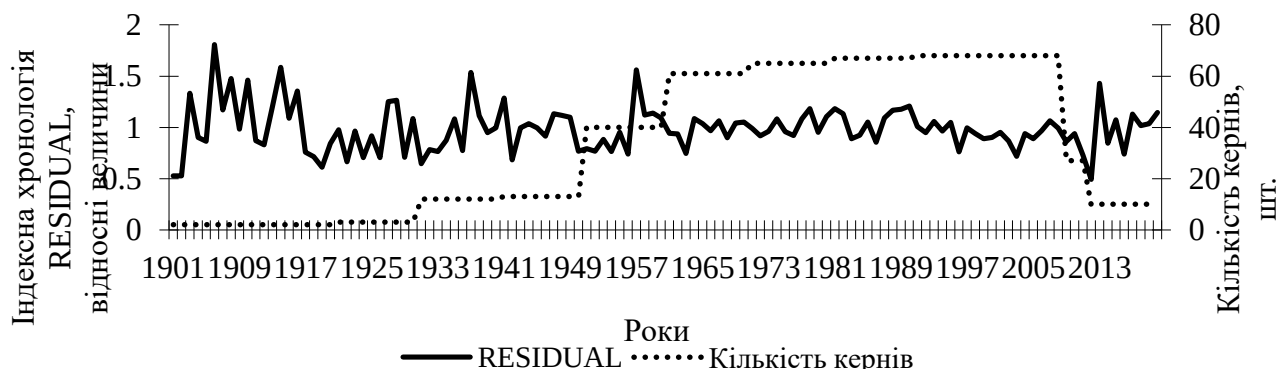


Рис. 4.2. Динаміка регіональної індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL сосни в Поліссі

Коефіцієнт чутливості перевищує 0,2, що дає змогу цю деревно-кільцеву хронологію використовувати в дендрокліматичному аналізі

Коефіцієнт EPS, обчислений для регіональної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL стосовно сосняків Полісся сягає 0,97, тобто перевищує поріг 0,85, що свідчить про надійність хронології і є показником подібності дисперсії хронології вибірки та генеральної сукупності [397].

Якість усіх деревно-кільцевих хронологій перевірено програмою COFESHA. Визначено тісну залежність величини річного кільця поточного року від річного кільця попереднього року, про що свідчать високі значення автокореляції першого порядку (0,253–0,705).

Вищою чутливістю (0,278–0,332) до варіацій чинників довкілля характеризуються лісостани, які ростуть у бідніших умовах А₂ (ПП 3, 5, 6 та 7) на відміну від деревостанів, що ростуть у багатших умовах В₂ (ПП 1, 2, 4, 8), де коефіцієнт чутливості становить 0,253–0,326 (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

**Статистична характеристика локальних і регіональної серій
деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної у Поліссі
за програмами COFESHA та ARSTAN**

№ ПП	Період, рр.	m, мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x	M	MS_x	$S_{td.dev}$
1	1950–2007	1,42	0,334	0,791	0,705	0,253	1,01	0,190	0,229
2	1950–2007	1,33	0,375	0,784	0,582	0,326	1,0	0,188	0,202
3	1950–2007	1,33	0,325	0,818	0,686	0,306	1,00	0,188	0,205
4	1941–2007	1,59	0,337	0,901	0,674	0,323	0,99	0,226	0,213
5	1950–2010	1,24	0,304	1,110	0,680	0,332	0,99	0,200	0,315
6	1900–2010	1,10	0,336	0,682	0,691	0,305	0,99	0,249	0,235
7	1930–2010	1,82	0,336	1,100	0,645	0,278	0,99	0,194	0,184
8	1940–2020	1,81	0,285	1,128	0,647	0,331	0,978	0,186	0,187
Р.д- к.с.	1901–2020	1,40	0,301	0,888	0,664	0,311	0,987	0,213	0,222

4.1.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної в Поліссі. Для виявлення зв'язків між радіальним приростом сосни звичайної та кліматом використано дані метеостанції Житомир. Для виявлення впливу екстремальних чинників на радіальний приріст сосни звичайної використано реперні роки. Упродовж реперних років мінімального приросту (1904, 1907, 1911, 1915, 1922, 1931, 1936, 1942, 1950, 1956, 1958, 1963, 1979, 1996, 2012, 2014 та 2016) виявлено, що радіальний приріст обмежують опади вегетаційного періоду (відхилення від норми станолять від 30 до

70 %), надзвичайно холодні (–56 %) та надзвичайно теплі (перевищення норми більше ніж втричі) та високі температури (відхилення норми до 18 %). В роки мінімального приросту його зменшення у порівнянні з попереднім роком становило 20–56 %, а у роки максимального приросту перевищення відповідних величин становило 24–60 %. Реперні роки максимального приросту (1903, 1907, 1914, 1927, 1937, 1947, 1957, 1964, 1997 та 2013) характеризувалися сприятливим співвідношенням тепла та вологи. Перевищення кількості опадів у порівнянні з нормою сягало понад 32 % у квітні-серпні, а упродовж вологих зим сягало 50 %. До 1979 року у мінімальні реперні роки радіальний приріст обмежували посухи вегетаційного періоду та низькі температури взимку, а після 1979 року – посухи та теплі зими (табл. 4.2).

Таблиця 4.2

Реперні роки регіональної деревно-кільцевої хронології сосни звичайної в насадженнях Полісся та кліматичні характеристики, виражені через відхилення (Δ) від норми (багаторічного середнього)

Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у порівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у порівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
1904	32,3	Не відомо	1903	60	Не відомо
1907	35,3	Не відомо	1907	26	Не відомо
1911	59,7	Не відомо	1914	32	Не відомо
1915	31,3	Не відомо	1927	43	Перевищення річної суми опадів $\Delta +140$ мм (25 %)
1922	31,8	Не відомо	1937	50	Не відомо
1931	59,6	Не відомо	1941	29	Не відомо

Продовж. табл. 4.2

Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
1936	28,6	Не відомо	1947	24	У квітні- червні $\Delta +45$ мм (26 %)
1942	46,8	Не відомо	1957	53	За рік $\Delta +125$ мм (21 %)
1942	46,8	Не відомо	1957	53	За рік $\Delta +125$ мм (21 %)
1950	30,1	Дефіцит опадів у квітні- серпні $\Delta -104$ мм (–31 %)	1964	31	За березень– вересень $\Delta +121$ мм (23 %)
1956	22,2	Холодна зима $\Delta - 3,1$ °C (–85 %), дефіцит зимових опадів $\Delta -$ 57 мм (– 56 %)	1997	23	За квітень– серпень $\Delta +163$ мм (32 %)
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники

Продовж. табл. 4.2

Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
1958	28,2	Дефіцит опадів упродовж Квітня-серпня $\Delta - 21$ мм (70 %)	2013	65	За березень– вересень $\Delta +200$ мм (32 %), зимові опад $\Delta +99$ мм (49 %),
1963	20,2	Дефіцит опадів упродовж року $\Delta - 299$ мм (50%)	—	—	—
1979	20	Дефіцит опадів взимку $\Delta -20$ мм (20 %) Холодна зима $\Delta +2,7$ (74 %)	—	—	—
1996	27	Дефіцит опадів у березні склав $\Delta -9$ мм та квітні $\Delta - 9$ мм (28 та 23% відповідно) Надвичайно холодна зима $\Delta -4,5$ °C (125 %)	—	—	—
2012	32,6	Дефіцит опадів за квітень–серпень $\Delta - 2$ °C (14 %) Мало опадів за жовтень–листопад місяці попереднього року $\Delta -50$ мм (39 %)	—	—	—

Продовж. табл. 4.2

Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
2014	40,8	Дефіцит опадів квітень–серпень Δ – 171 мм (50%) Висока річна температура Δ +1,4 °C (18 %) та надзвичайно тепла зима Δ +2,0 °C (45 %)	—	—	—
2016	31,3	Тепла зима Δ +3,6 °C (відхилення від норми більші ніж втричі) Дефіцит опадів упродовж березня– жовтня Δ –241 мм (59 %)	—	—	—

Подібні результати отримано у Литві, де виявлено, що негативні реперні роки для сосни звичайної з однаковою частотою пов'язані з низькими температурами та посухами, але вже з 1970 року – тільки з високими температурами та дефіцитом вологи [395].

Американськими дендрохронологами доведено [266], що радіальному приросту сосни жовтої (*Pinus ponderosa*) сприяла сезонна наявність весняної вологи упродовж поточного року приросту, а висока температура навесні та на початку літа призводила до гальмування приросту.

Проведено порівняння взаємозв'язків між регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної та кліматичними чинниками за періоди 1947–2020, 1959–1989 та 1990–2020 рр. У другому періоді у порівнянні з першим перевищення температур становило 18 % (Δ +1,5°C), упродовж березня–серпня – 11 % (Δ +1,5 °C), упродовж зими

– 82 % ($\Delta+2,0$ °C), а упродовж березня – середня температура збільшилася більше, ніж удвічі ($\Delta+2,5$ °C).

Аналіз метеоданих за гідрологічний рік виявив збільшення температури на 18 %, тобто на 1,5 °C, а опадів – лише менше ніж на 1 % (0,15 мм). Реакцію сосни звичайної на зміну клімату виявлено за допомогою програми RESPONSE [284].

Дендрокліматичний аналіз регіональної деревно-кільцевої серії проведено для всього періоду наявності метеорологічних даних, тобто для 1947–2020 рр. (табл. В.1 Дод. В), а також для двох вище названих періодів – 1959–1989 та 1990–2020 рр. Множинний коефіцієнт регресії індексів радіального приросту, температури та опадів становив $R=0,42$ при рівні значущості 0,31. Кореляційний аналіз та функція відгуку свідчать про значущі від’ємні зв’язки між радіальним приростом і температурою 1947–2020 рр. для вересня та грудня попереднього року і квітня і серпня поточного року (рис. 4.3).

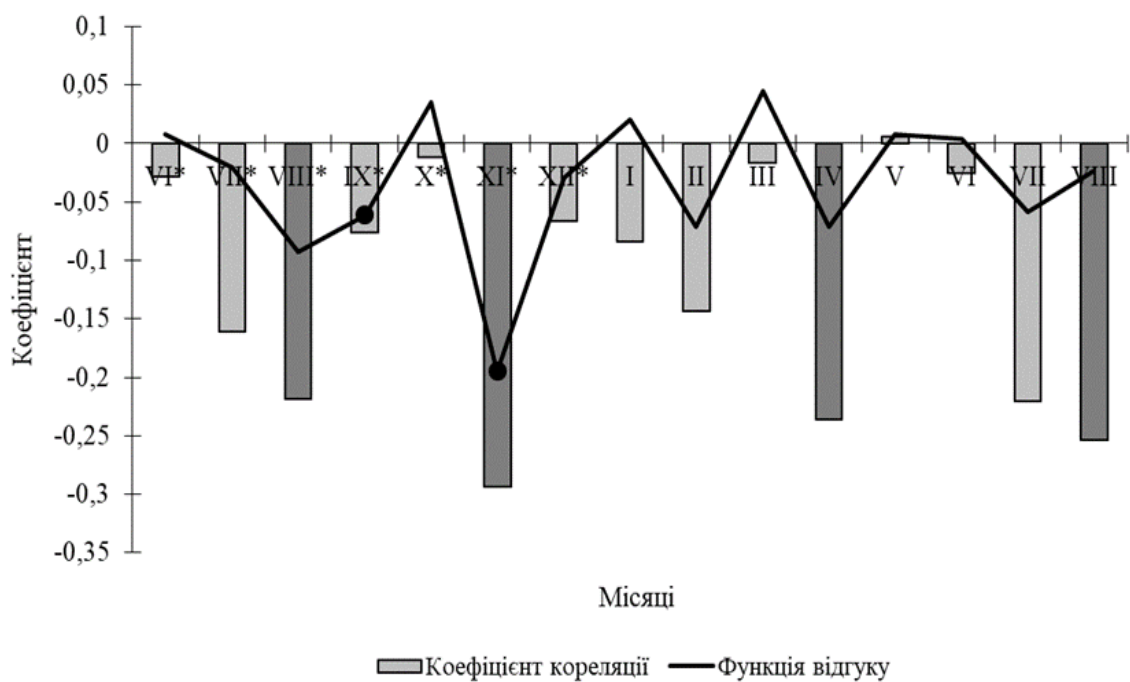


Рис. 4.3. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної в лісостанах Полісся за 1947–2020 рр. (темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (*) – на місяці попереднього року).

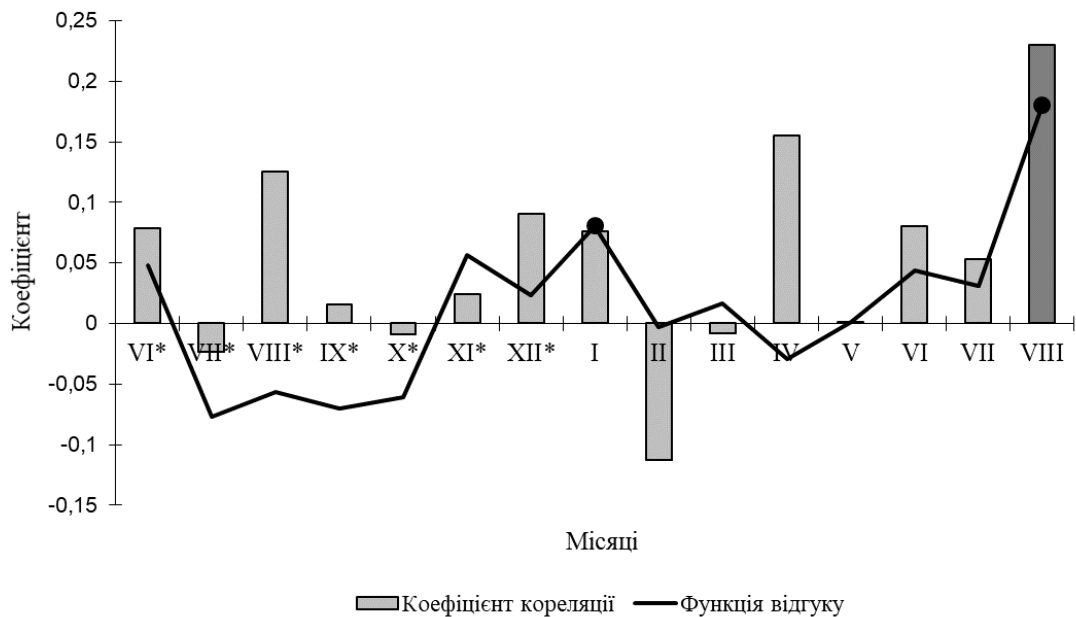
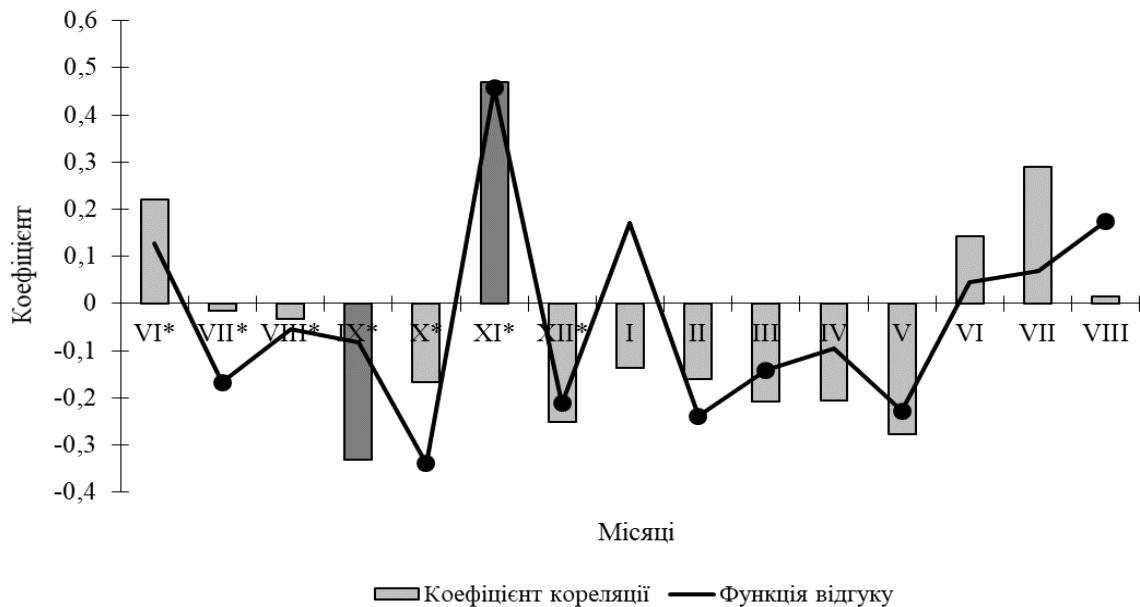


Рис. 4.4. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між сумами місячних опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної в лісостанах Полісся за 1947–2020 рр. (темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (*) – на місяці попереднього року).

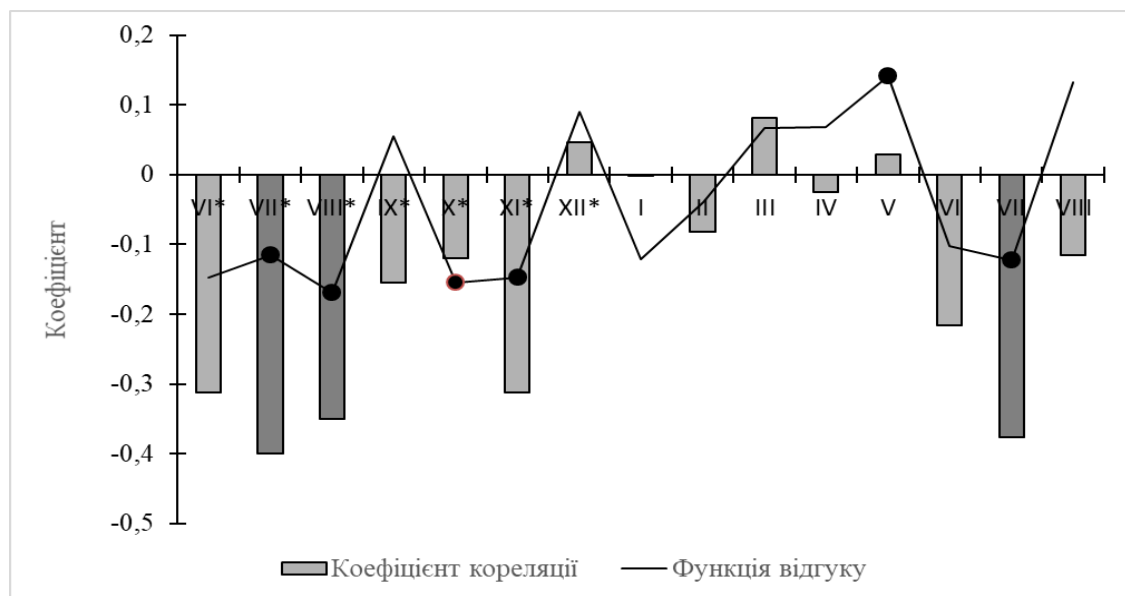
Засобами дендрокліматичного аналізу для 1959–1989 рр. обчислено множинний регресійний коефіцієнт (R) між радіальним приростом, температурами і опадами, який сягав 0,91 при рівні значущості 0,0004. Варіації індексів приросту пояснюються множинним регресійним аналізом на 82,7 %. Для 1990–2020 рр. відповідний множинний регресійний коефіцієнт (R) становив 0,63 при рівні значущості 0,03. Загальна варіабельність радіального приросту пояснена на 40,2 %.

Під час порівняння двох періодів 1959–1989 та 1990–2020 рр. виявлено, що в першому періоді температури липня, вересня, жовтня та грудня попереднього року негативно вплинули на радіальний приріст сосни поточного року. Винятком є листопад попереднього року, в якому визначено позитивний вплив на формування річних кілець.

У другому періоді вплив температур попереднього року посилюється, і виявлено негативний вплив температур з липня по грудень у попередньому році (рис. 4.5).



А)



Б)

Рис. 4.5. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної (RESIDUAL) в лісостанах Полісся 1959–1989 та 1990–2020 рр.: А) 1959–1990 рр.; Б) 1990–2020 рр. (темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (*) – на місяці попереднього року.

У другому періоді посилювався негативний вплив температур попереднього року на приріст і дещо пом'якшився вплив температур упродовж січня – травня. Літні температури стали негативно впливати на приріст сосни у другому періоді у порівнянні з першим, коли їхній вплив був позитивним (виявлено у першому періоді позитивні значущі кореляції у серпні, а у другому – значущі негативні кореляції у липні).

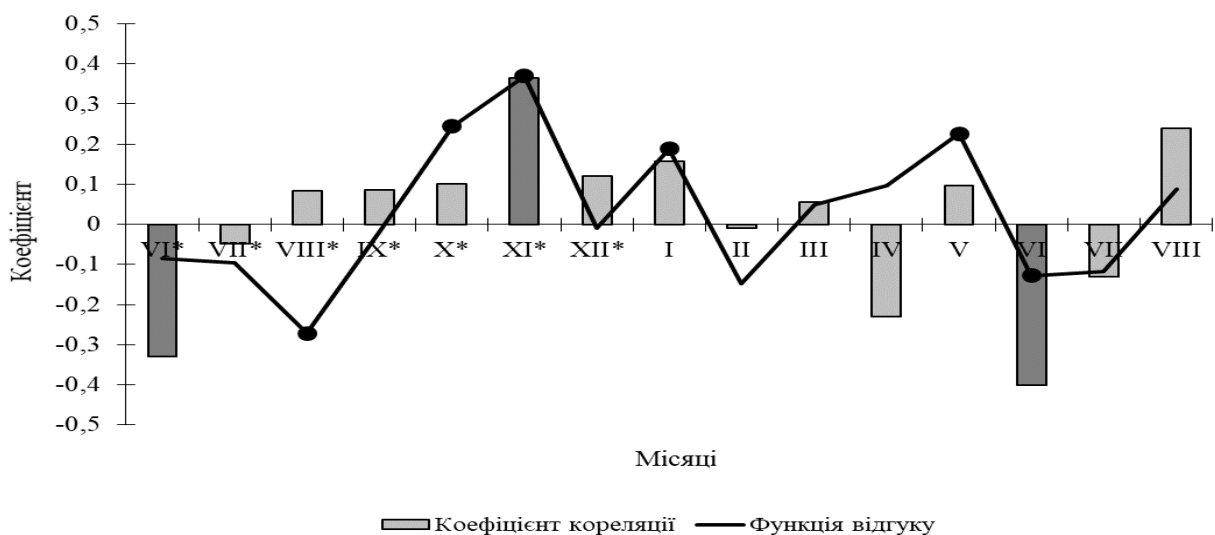
Під час порівняння реакції радіального приросту сосни на опади 1959–1989 та 1990–2020 рр. виявлено зменшення позитивного впливу опадів на радіальний приріст у другому періоді. Так, значущий позитивний вплив для першого періоду виявлено стосовно жовтня та листопада попереднього року та січня поточного року, коли відбувається інтенсивне накопичення вологи у ґрунті та на його поверхні, а також для травня. Негативний вплив опадів на приріст виявлено лише для червня та вересня попереднього року та червня поточного року (рис. 4.6).

Додатний значущий вплив опадів на радіальний приріст виявлено для січня та серпня поточного року (див. рис. 4.4).

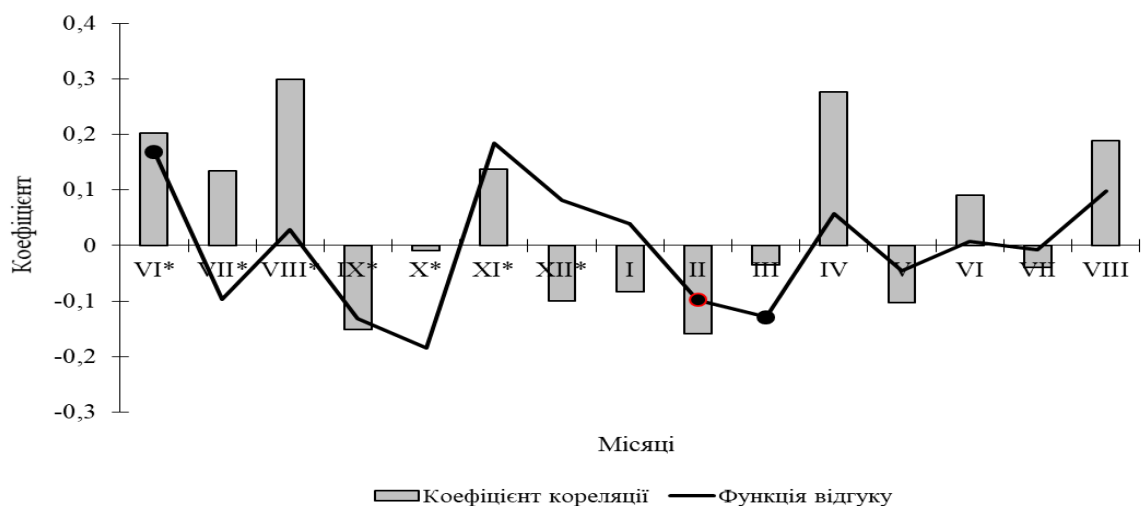
Таким чином, для регіональної деревно-кільцевої хронології Полісся є характерним посилення негативного впливу літніх температур на формування річного кільця у другому періоді у порівнянні з першим упродовж літнього періоду. Відбулося також посилення негативного впливу температур попереднього року на приріст та зменшення негативного впливу температур холодного періоду на формування річного кільця.

У першому періоді знайдено більше значущих зв'язків між кліматом і радіальним приростом для місяців попереднього року. У другому періоді вплив зимових та ранньовесняних (березневих) опадів на приріст став негативним. Літні опади негативно впливали на приріст у першому періоді, а другому періоді зв'язків не виявлено.

4.1.3. Відгук радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженнях із різними умовами місцезростання у Поліссі. У зв'язку з тим, що територія України розташована в різних природних зонах і характеризується великим різноманіттям екосистем, зміна клімату на глобальному рівні (навіть якщо йдеться про потепління і збільшення кількості опадів, що, на перший погляд, є позитивним явищем), можуть по-різному виявитися на регіональному (локальному) рівні, оскільки клімат опосередковано впливає на інші, пов'язані між собою фактори екосистеми.



А)



Б)

Рис. 4.6. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між сумами місячних опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної (RESIDUAL) в лісостанах Полісся за два періоди: А) 1959–1989; Б) 1990–2020 рр. (чорні кола вказують на значущі коефіцієнти функції відгуку, зірочки (*) – на місяці попереднього року, ($P < 0.05$)).

Наприклад, на піщаних ґрунтах Полісся у разі зміни гідротермічного режиму (підвищення температури й вологості) може відбуватися збіднення екосистем, оскільки підвищення температури пришвидшить випаровування вологи з поверхні ґрунту, а вода в нижніх його шарах, не затримуючись, стрімко проникати в нижні шари, що може призвести до ксерофітизації [55].

Нами досліджено реакцію радіального приросту сосни звичайної на кліматичні зміни в насадженнях, які ростуть в умовах свіжого бору

(A₂) та свіжого субору (B₂), в чистих соснових середньовікових деревостанах (табл. 4.3).

Таблиця 4.3

Таксаційна характеристика насаджень

№ кварталу	№ ви-ділу	Склад деревостану	Вік, років	$D_{сер.}$, см	$H_{сер.}$, м	Бонітет	ТЛУ	Повнота	Запас, м ³ ·га ⁻¹
ДП «Смільчиньке ЛГ», Жужельське лісництво									
17	17	10СзБ	55	20	20	Ia	B ₂	0,8	330
ДП «Малинське ЛГ», Іршанське лісництво									
51	6	10Сз	55	16	15	II	A ₂	0,7	200
115	37	10Сз	55	16	15	II	A ₂	0,7	200

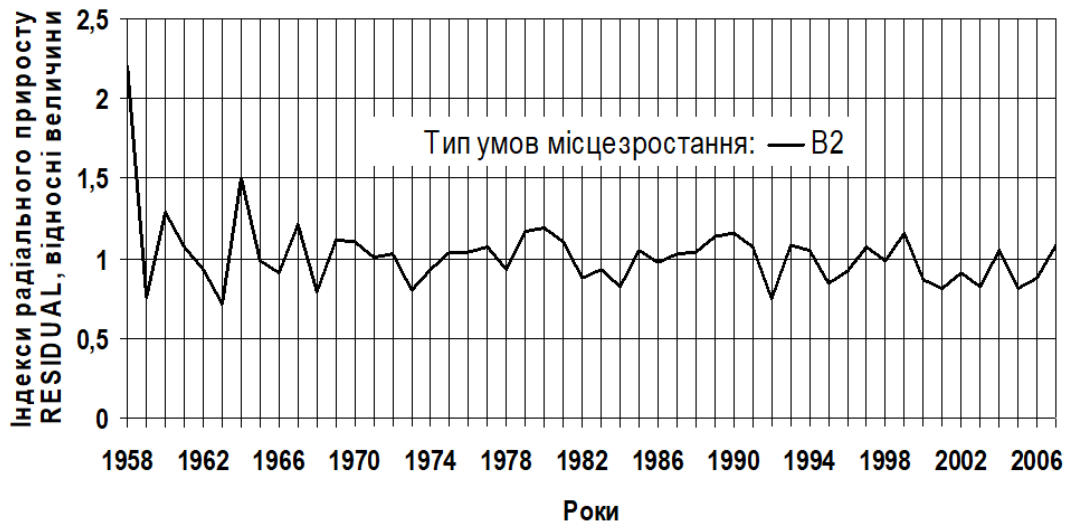
Для аналізу впливу клімату на формування деревних кілець використано дані метеостанції Житомир. Статистичними методами виявлено, що кліматичний сигнал у деревно-кільцевих серіях сосни сильніше простежується в деревостані з біднішими умовами місцезростання (A₂), на що вказують більше стандартне відхилення та більший коефіцієнт чутливості в цьому насадженні в порівнянні з деревостаном, який росте в багатших умовах для росту дерев (B₂). Це пов'язано з тим, що ґрунти в насадженні в умовах свіжого субору дещо краще затримують вологу в ґрунті у порівнянні з насадженням в умовах свіжого бору, тому вони пом'якшують вплив несприятливих чинників на приріст. Післядія стрес-факторів може простежуватися протягом декількох років. Отже, на формування річних кілець дерев, які ростуть в умовах A₂, впливають більшою мірою погодні умови поточного року, а для дерев, які ростуть в умовах B₂, – також погодні умови попередніх років. Про це свідчить також коефіцієнт автокореляції першого порядку (іншими словами, не фільтрований коефіцієнт автокореляції, який вимірює вплив радіального приросту попереднього року на приріст поточного року), що є вищим стосовно деревостану, що росте в умовах B₂ (табл. 4.4).

Таблиця 4.4

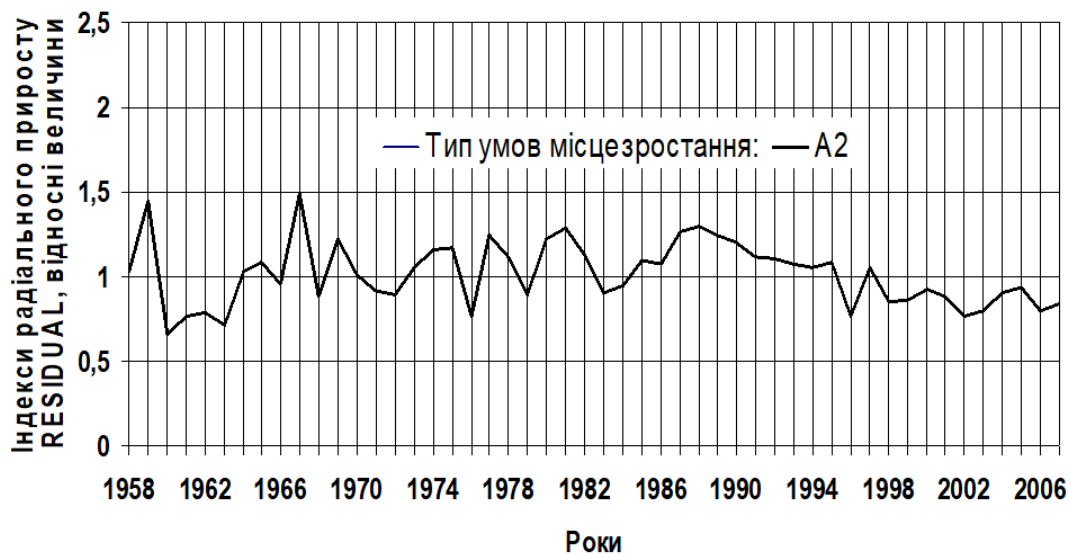
Статистична характеристика індексів радіального приросту сосни за 1958–2007 рр.

ТЛУ	m , мм	R_{bar}	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x
B ₂	1,42	0,334	0,791	0,705	0,253
A ₂	1,33	0,325	0,818	0,686	0,306

Визначено спільні для всіх деревно-кільцевих хронологій реперні роки, тобто роки мінімального та максимального приросту дерев. Спільні роки мінімального приросту радіального приросту сосни обумовлені низькими температурами протягом холодного періоду та посухами (рис. 4.7).



А)



Б)

Рис. 4.7. Динаміка індексів радіального приросту RESIDUAL в насадженнях із різними типами умов місцезростання.

Проаналізовано відхилення індексів радіального приросту дерев, опадів і температур від норми для обох ТУМ за десятиліттями. За норму взяті середні значення індексів радіального приросту сосни, сум

опадів і середніх температур за 1958–2007 рр. Відхилення від норми обчислено у відсотках (табл. 4.5–4.7).

Таблиця 4.5

Відхилення індексів радіального приросту STANDART від норми за десятиліттями (1958–2007 рр.), (%)

ТУМ	1958–1967	1968–1977	1978–1987	1988–1997	1998–2007
B ₂	+18,40	–0,65	+6,18	+0,97	–24,63
A ₂	–23,21	+12,50	+19,51	+30,25	–38,59

Таблиця 4.6

Відхилення сум опадів від норми за різні частини року за десятиліттями для періоду 1958–2007 рр., (%)

Сума опадів за:	1958–1967	1968–1977	1978–1987	1988–1997	1998–2007
рік, %	–5	3	6	3	8
гідрологічний рік*,	–6	3	5	2	8
IV–VIII місяці	–8	6	7	9	0,3
III–IX місяці	–12	5	9	6	6
зиму**	1	–12	12	–9	21

Примітка. * – сума опадів з попереднього жовтня по поточний вересень; ** – сума опадів з попереднього грудня по поточний лютий.

Таблиця 4.7

Відхилення середніх температур від норми за різні частини року за десятиліттями для періоду 1958–2007 рр. за даними метеостанції м. Житомир, (%)

Періоди	1958–1967	1968–1977	1978–1987	1988–1997	1998–2007
Рік	–1	–9	–7	5	15
Гідрологічний рік*	–2	–8	–7	5	14
III–X місяці	–1	–5	–3	2	9
IV–VIII місяці	–2	–5	–3	1	8
III місяць	–94	–101	–217	783	964
Холодний період**	–10	–15	–25	26	29

Примітка. * – сума опадів з попереднього жовтня по поточний вересень; ** – сума опадів з попереднього грудня по поточний лютий.

У 1966, 1968 та 1986 рр. приріст обмежували опади протягом вегетаційного періоду. Спільні роки максимального приросту: 1964,

1967, 1969, 1980 та 1985 рр., для яких характерне сприятливе співвідношення тепла та вологи.

Під час аналізу індексів радіального приросту дерев та кліматичних чинників 1958–1977 рр. виявлено, що в цей період напрямки трендів радіального приросту сосни на обох ПП були асинхронними. В насадженні в умовах свіжого бору радіальний приріст сосни значною мірою обмежувала кількість опадів протягом вегетаційного періоду. Оскільки ґрунти в цих умовах мають незначну вологоємність, тому опади вегетаційного періоду поточного року значно впливають на динаміку радіального приросту дерев. Можна зробити припущення, що зменшення приросту сосни в у 1958–1967 рр. в умовах А₂ пов'язано із тим, що опади протягом вегетаційного періоду були меншими від норми. У наступних 1968–1977 рр. відбулося збільшення кількості опадів протягом вегетації, тому приріст покращився.

В умовах свіжого субору, де ґрунти мають вищу вологоємність, ніж в умовах свіжого бору, як зазначено вище, значна кількість опадів узимку позитивно впливає на радіальний приріст сосни. В зв'язку з цим, у 1958–1967 рр., коли збільшився радіальний приріст дерев, відмічено хоча і незначне, але перевищення норми кількості опадів взимку, а в наступні 1968–1977 рр. – зменшення, що призвело до формування вузьких річних кілець сосни. Упродовж 1958–1977 рр. виявлено зменшення температур від норми для всіх періодів.

Наступним кроком було порівняння відхилень величин радіального приросту та кліматичних чинників за 1978–2007 рр. Позитивний тренд у динаміці радіального приросту дерев визначено у наступні 1978–1987 рр. для обох насаджень на тлі підвищення кількості опадів і зменшення температури. У наступні 1988–1997 рр. приріст збільшився для обох ПП на тлі збільшення кількості опадів (виняток становили опади холодного періоду) і температури. Особливо швидко потепління відбувалося рано навесні та взимку. Водночас збільшення приросту на ПП в умовах свіжого субору було незначним, можливо, у зв'язку з меншою кількістю опадів взимку. За останні 1998–2007 рр. величини річних кілець різко зменшилися. В цей час найшвидше температури збільшувалися взимку та рано навесні, що могло призвести до порушення зимового спокою дерев, наслідком чого стала депресія радіального приросту на обох ПП, однак глибшою вона була в насадженні з біднішими умовами місцезростання (А₂). Період спокою є основною причиною високої морозостійкості і

обов'язковою фазою для проходження процесів оновлення клітин та відновлення ростових процесів у весняний період. Порушення цього спокою може призвести до зменшення приросту. Часті тривалі перепади температур є особливо небезпечними в кінці зими, коли рослини знаходяться в стані вимушеного спокою [217]. Тобто підвищення температури протягом цих названих періодів, імовірно, перевищило поріг оптимуму для росту дерев.

Подібні дослідження проведено в лісостеповій зоні і виявлено, що потепління та збільшення кількості опадів почали прискорюватися протягом 1989–2008 рр. Особливо швидко підвищувалися температури протягом холодного періоду, що викликало зменшення тренду радіального приросту сосни.

Отже, порівнюючи наслідки потепління у лісовій і лісостеповій зонах можна зазначити, що у 1987–1998 рр. для Полісся і у 1988–1997 рр. для Лісостепу потепління та збільшення опадів сприяли формуванню широких деревних кілець. У наступних 1999–2008 рр. у лісостеповій зоні та у 1998–2007 рр. у лісовій зоні відбулося зменшення радіального приросту дерев, що, вірогідно, було викликано різким потеплінням взимку й рано навесні та призвело до порушення зимового спокою дерев і їхнього ослаблення [84].

Кореляційним аналізом виявлено для 1958–1967 рр. додатні значущі зв'язки між індексами радіального приросту дерев і кількістю опадів для насадження в умовах В₂ для вегетаційного періоду та календарного року. У наступні 1978–2007 рр. кількість значущих зв'язків між індексами радіального приросту та кількістю опадів зменшилася, що можна пояснити меншим обмеженням радіального приросту опадами внаслідок збільшення їхньої кількості. З температурами значущих кореляційних зв'язків не виявлено в насадженні для дерев, які ростуть в умовах свіжого субору.

Для насадження в умовах А₂ значущі кореляції обчислено для індексів радіального приросту сосни та зимових опадів 1958–1967 та 1998–2007 рр. Також у цих умовах формуванню широких деревних кілець сосни сприяли ранньовесняні та зимові температури 1988–1997 рр. До кліматичних змін виявилися більш чутливими дерева, які ростуть у бідніших умовах (свіжого бору), ніж дерева, що ростуть у багатших (свіжого субору) умовах (табл. 4.8).

Кореляційні зв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями RESIDUAL для деревостанів, які ростуть в різних умовах та кліматичними чинниками за десятиліттями (1958–2007 рр.)

Кліматичні показники за місяцями (I–XII)	ТУМ	1958–1967	1968–1977	1978–1987	1988–1997	1998–2007
Сума опадів за VII–VIII, мм	B ₂	0,66*	0,33	0,31	0,61	0,75**
Сума опадів за III–IX, мм	B ₂	0,66*	0,33	0,10	0,26	0,18
Сума опадів IV–VIII, мм	B ₂	0,68*	0,65*	0,12	0,32	0,34
Сума опадів рік, мм	B ₂	0,64*	0,23	0,53	0,12	0,40
Сума опадів за XII–II, мм	A ₂	0,78**	–0,04	0,05	–0,30	0,83**
Середня температура за III, t°C	A ₂	0,39	0,23	–0,54	0,69*	0,01
Середня температура за період з попереднього XII по поточний II, t°C	A ₂	0,15	0,10	–0,28	0,72*	0,55
Середня температура за гідрологічний рік, t°C	A ₂	0,37	0,18	–0,56	0,75*	0,19

Примітка. ** – тіснота зв'язку достовірна на 0,01 рівні значущості; * – тіснота зв'язку достовірна на 0,05 % рівні значущості.

Збільшення кількості опадів визначено у 1968–2007 рр., а потепління – у 1988–2007 рр., яке прискорилося у 1998–2007 рр. взимку та рано навесні. В результаті цього було перевищено поріг температурного оптимуму для росту дерев, що порушило зимовий спокій насаджень і призвело до їхнього ослаблення. Внаслідок цього у 1998–2007 рр. відбулося значне зменшення величин річних кілець сосни у насадженнях, які ростуть в умовах свіжого бору та свіжого субору. Сильніше потерпало насадження у бідніших умовах свіжого бору.

4.2. Вплив клімату на радіальний приріст сосни звичайної в деревостанах Лівобережного Лісостепу

4.2.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної в Лівобережному Лісостепу. Досліджено соснові насадження віком від 80 до 109 років, які ростуть в умовах свіжого бору (A₂) та свіжого субору (B₂) на дернових слабкопідзолистих і супіщаних ґрунтах (рис. 4.8).



Рис. 4.8. Середньовікове соснове насадження у свіжому суборі (ДП «Харківська ЛНДС»)

Створена регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної для Лісостепу складається з 80 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на шести локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 5424 шарів річної деревини (рис. 4.14, табл. В.1–В.7 Дод. В). На основі цієї серії побудовано деревно-кільцеву індексну серію RESIDUAL, із якої вилучено віковий тренд, що зробило її придатною для подальшого поглибленого дендрокліматичного аналізу (рис. 4.9, 4.10).

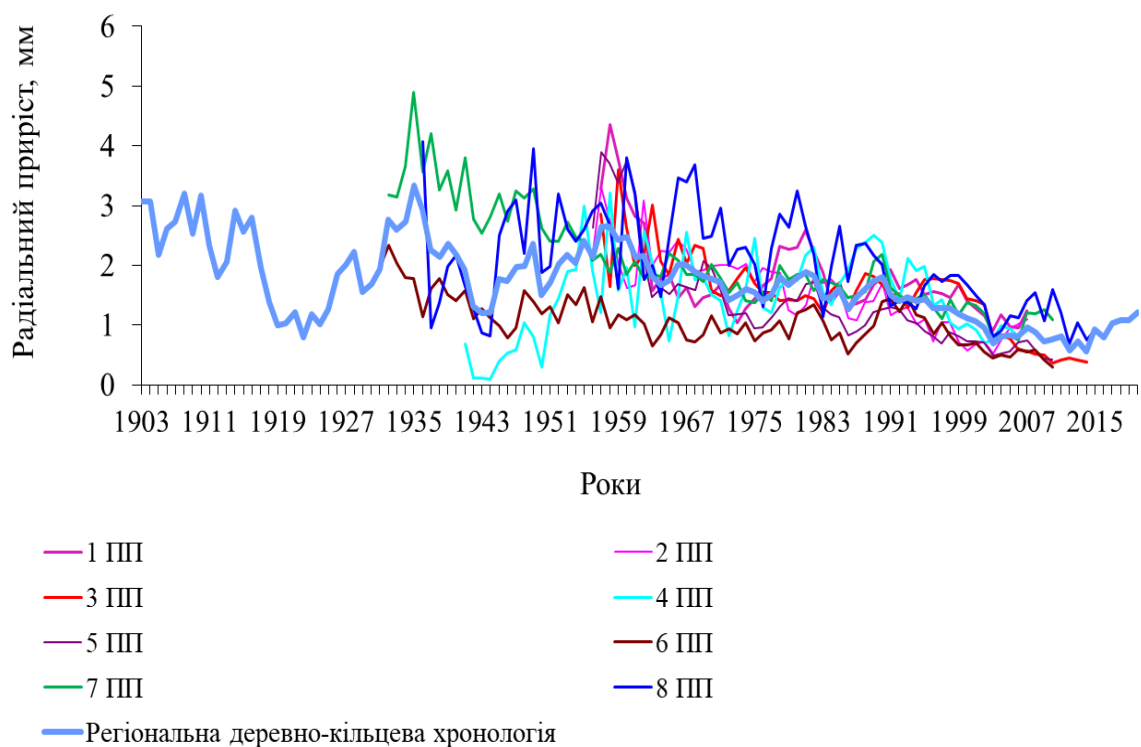


Рис. 4.9. Динаміка локальних і регіональної деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної в насадженнях Лівобережного Лісостепу

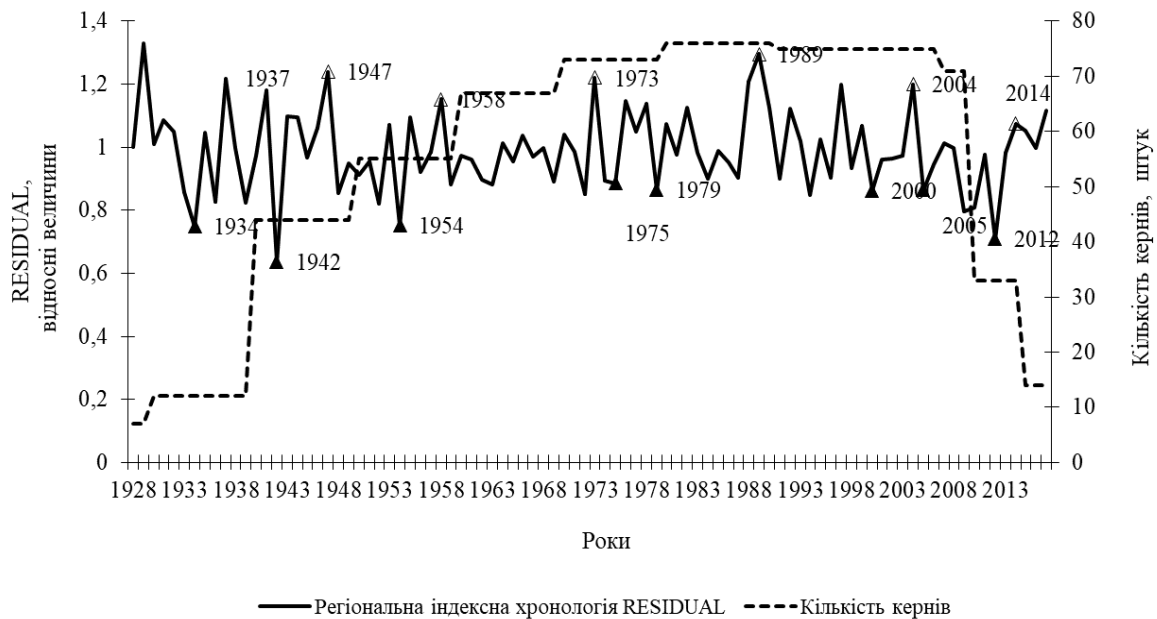


Рис. 4.10. Динаміка регіональної індексної деревно–кільцевої хронології RESIDUAL та кількість кернів. Чорні трикутники – негативні реперні роки, білі трикутники – позитивні реперні роки

Створена регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної для Лісостепу складається з 80 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на 6 локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 5424 шарів річної деревини. На основі цієї серії побудовано індексну серію RESIDUAL, із якої вилучено віковий тренд, що зробило її придатною для подальшого поглибленого дендрокліматичного аналізу.

Межсерійні коефіцієнти кореляції становлять 0,318–0,472, що свідчить про високу синхронність і можливість використання цих деревно-кільцевих хронологій для подальшого дендрокліматичного аналізу. Високі значення показника автокореляції першого порядку (0,524–0,804) свідчать про тісну залежність ширини річного кільця поточного року від ширини річного кільця попереднього року. Насадження в умовах А₂ має меншу залежність від умов попередніх років, ніж насадження, які ростуть в умовах В₂, що можна пояснити менш сприятливими умовами зростання в свіжому груді у порівнянні із свіжим сугрудом, де ґрунти багатші і мають більшу вологоємність. Найбільш стійкими насадженнями (ПП 9–14) до впливу факторів довкілля виявилися насадження в умовах В₂, а найменш стійким – деревостан в умовах А₂ (ПП 1). Про це свідчать стандартне відхилення

та середня чутливість, значення яких є найменшими для ПП 9–14 і найбільшими для ПП 9. (табл. 4.9).

Таблиця 4.9

**Статистична характеристика локальних та регіональної серії
деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної у Лісостепу
за програмами COFESHA та ARSTAN**

№ ПП	Період, рр.	m мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x	M	MS_x	$S_{td.dev}$
9	1940– 2006	1,27	0,318	0,806	0,524	0,375	1,00	0,186	0,171
10	1944– 2010	1,05	0,337	0,576	0,700	0,253	0,986	0,177	0,156
11	1940– 2010	0,99	0,325	0,650	0,703	0,345	0,99	0,226	0,211
12	1940– 2010	1,45	0,460	0,965	0,708	0,234	0,99	0,167	0,140
13	1940– 2017	1,63	0,472	0,945	0,586	0,328	1,00	0,232	0,272
14	1920– 2016	2,46	0,413	1,730	0,804	0,218	0,998	0,188	0,198
Р.д.с.	1920– 2017	1,69	0,353	1,116	0,705	0,263	1,00	0,176	0,203

Коефіцієнт EPS, обчислений для регіональної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL, становить 0,98, що також підтверджує можливість проведення дендрокліматичного аналізу, тому що перевищує поріг 0,85 і означає надійність хронології, тобто є показником подібності дисперсії хронології вибірки та теоретичної хронології генеральної сукупності [397]. Коефіцієнт чутливості перевищує 0,2, що дає змогу цю деревно-кільцеву хронологію використовувати в дендрокліматичному аналізі. Використання вище названих чинників для визначення надійності дендрохронологічних серій доведено низкою досліджень [272, 397].

4.2.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної в Лівобережному Лісостепу. Визначено реперні роки мінімального приросту (1936, 1942, 1954, 1975, 1979, 2000, 2005, 2009 та 2012), упродовж яких ширина шарів річної деревини була нижчою в порівнянні з попереднім роком на 20–46 %. Ці роки характеризувалися посухами упродовж вегетаційного періоду (1975, 1979, 2009 рр.) та екстремальними літніми (2000, 2000, 2012),

зимовими та ранньовесняними температурами (1979, 2005 рр.). Радіальний приріст упродовж мінімальних реперних років обмежували дефіцит опадів в окремі місяці вегетації ($\Delta - 54-63\%$), високі температури упродовж вегетаційного періоду ($\Delta +9-15\%$), низькі зимові температури ($\Delta - 38\%$), високі березневі температури ($\Delta - +70$).

Дерева, які ростуть у межах однорідного за кліматичними умовами регіону, однаково реагують на зміни зовнішніх умов і мають подібні закономірності варіювання величин річного приросту. Процес перехресного датування проходить легше, коли виявляються негативні реперні роки, упродовж яких формуються вузькі кільця, коли приріст найбільшою мірою починає лімітуватися тим чи іншим зовнішнім фактором.

Роки максимального приросту (1935, 1943, 1953, 1988, 2004, 2011 та 2014) характеризувалися сприятливим співвідношенням тепла та вологи. У квітні–серпні кількість опадів перевищувало норму на понад 24–31%. До 1979 року упродовж мінімальних реперних років радіальний приріст обмежували низькі температури та посухи, але після 1979 року – лише посухи та теплі зими (табл. 4.10).

Таблиця 4.10

Реперні роки регіональної деревно-кільцевої хронології сосни звичайної в деревостанах Лівобережного Лісостепу та кліматичні характеристики, виражені через відхилення (Δ) від норми (довгострокового середнього)

Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у порівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у порівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
1936	21	Не відомо	1935	40	Не відомо
1942	46	Не відомо	1943	46	Не відомо
1954	30	Не відомо	1953	30	Не відомо
1975	27	Дефіцит опадів упродовж квітня–серпня $\Delta -158$ мм (63 %)	1989	34	Перевищення річної суми опадів $\Delta +140$ мм (25 %)

Продовження табл. 4.10

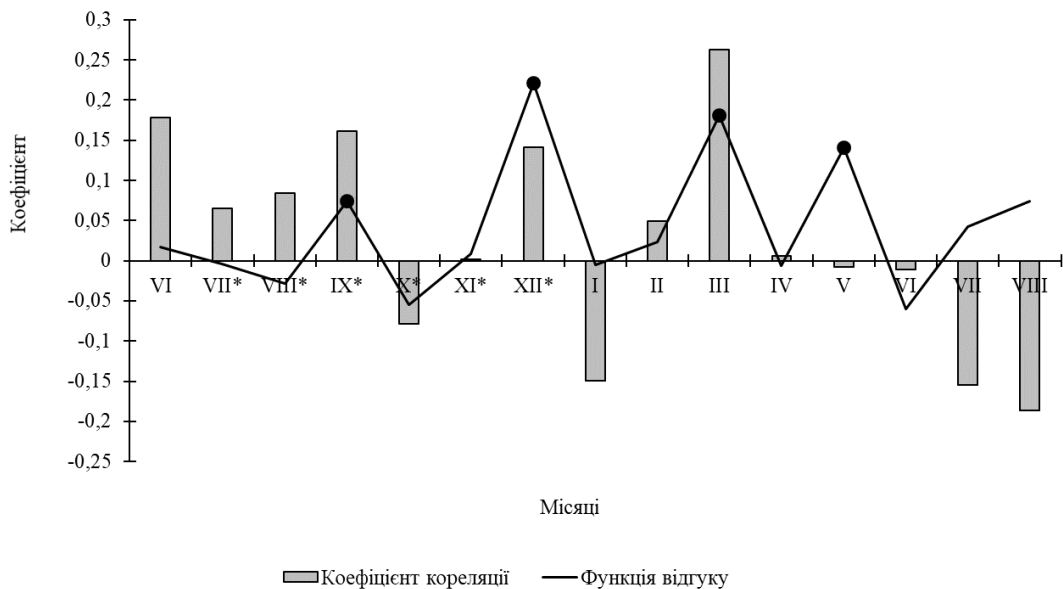
Роки мінімального приросту			Роки максимального приросту		
Рік	Зниження радіального приросту в поточному році у по- рівнянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники	Рік	Перевищення радіального приросту в поточному році у порів- нянні з попереднім роком, %	Кліматичні чинники
1979	24	Посуха у червні $\Delta -59$ мм, високі березневі температури $\Delta +1,17$ °C (65 %), низькі зимові температури $\Delta -8,2$ °C (38 %)	2004	23	Перевищення річної суми опадів $\Delta +172$ мм (31 %)
2000	20	Жаркий липень $\Delta +1,75$ °C (9 %),	2011	21	Перевищен-ня опадів за квітень- серпень $\Delta +$ 81 мм (24 %)
2005	28	Дефіцит опадів у березні-квітні $\Delta -31$ мм (44 %), тепла зима $\Delta +2,2$ °C (50 %)	2014	38	—
2009	20	Дефіцит опадів у квітні-серпні $\Delta -120$ мм (54%)	—	—	—
2012	27	Високі температури у квітні- серпні $\Delta +3,1$ °C (15 %)	—	—	—

Американськими дендрохроногами доведено, що радіальному приросту сосни жовтої (*Pinus ponderosa*) сприяла сезонна наявність весняної вологи протягом поточного року, і навпаки, – висока температура навесні та на початку літа згубно впливала на ріст [266].

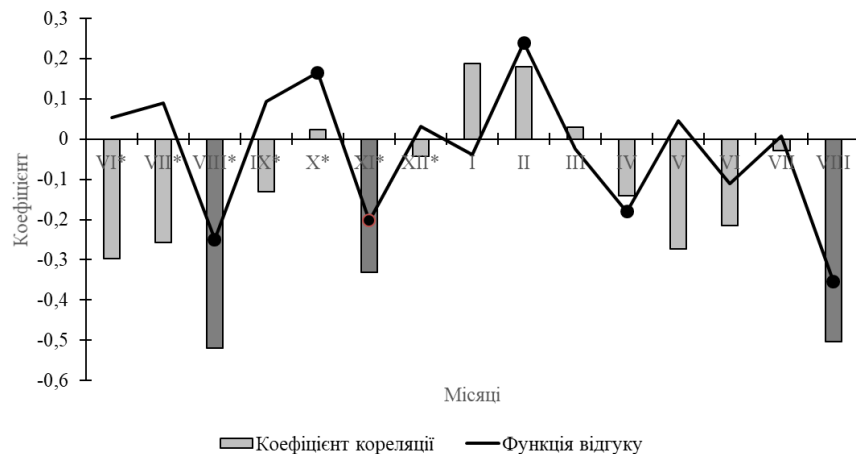
Зіставлено реакцію радіального приросту регіональної деревно–кільцевої хронології лівобережного Лісостепу на кліматичні чинники 1960–1988 та 1989–2017 рр. Середньорічна температура першого періоду становила 7,5 °С, другого – 8,9 °С, тобто цей показник збільшився на 1,3 °С (15 %). Середньорічна сума опадів упродовж першого періоду становила 536,3 мм, упродовж другого періоду – 555,8 мм. Отже, різниця кількості опадів між двома періодами становила 19,5 мм (3,5 %).

У другому періоді посилилася залежність радіального приросту сосни звичайної від температур. У першому періоді визначено позитивний вплив температур упродовж червня-грудня попереднього року. Виявлено також значущі позитивні зв'язки між приростом і кліматичними показниками вересня попереднього року, але вже у другому періоді цей вплив став негативним для цього місяця.

Аналізуючи взаємозв'язки між кліматом і радіальним приростом упродовж холодного періоду (від листопада попереднього року до березня поточного року) виявлено, що в першому періоді температури значуще позитивно впливали на приріст у грудні та березні, а у другому періоді – позитивні зв'язки знайдено для жовтня, листопада та лютого, а негативні – для листопада, тобто підвищення температур негативно вплинуло на приріст дерев у період переходу до зимового спокою. Березневі температури також важливі для приросту, тому що в цей період починається процес ксилогенезу. Упродовж квітня – серпня 1960–1989 рр. виявлено значущий позитивний вплив температур на приріст у травні, а негативний – у червні, але вже у 1990–2017 рр. негативний вплив температур посилюється у квітні та серпні. Тобто у другому періоді упродовж вегетаційного сезону зменшився вплив температур на радіальний приріст сосни звичайної. Аналізуючи вплив температур червня-липня попереднього року на приріст виявлено більше значущих коефіцієнтів відгуку та кореляції для другого періоду, тоді як вплив опадів зменшився у другому періоді. Виявлено значущі позитивні зв'язки для червня, липня та вересня та негативні для серпня упродовж 1960–1987 рр. 1988–2017 рр. – позитивні для червня, вересня та листопада попереднього року (рис. 4.11).



А)

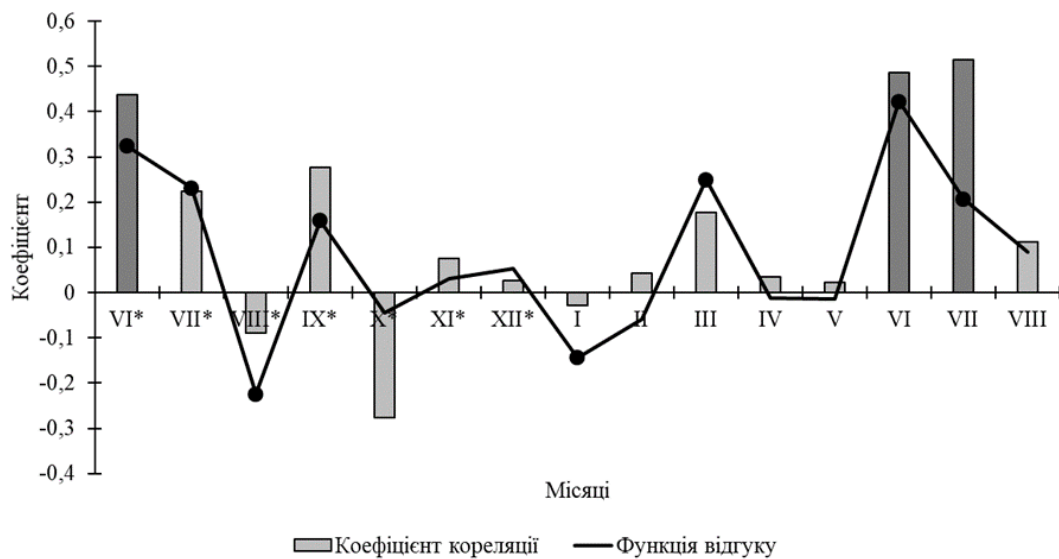


Б)

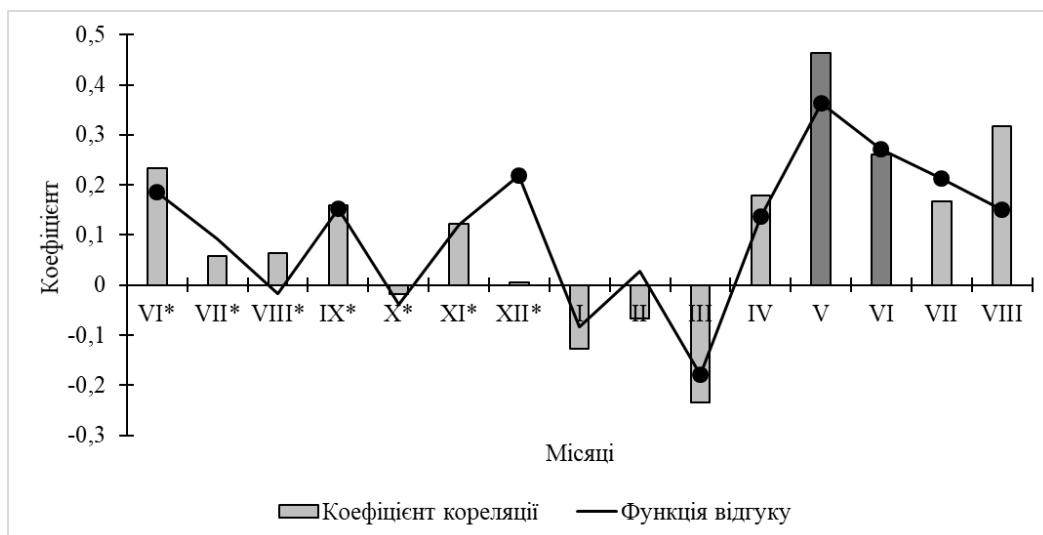
Рис. 4.11. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією сосни звичайної Лівобережного Лісостепу: А) 1960–1988 рр.; Б) 1989–2017 рр. (темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола — на значущі коефіцієнти функції відгуку, а зірочки (*) — на місяці попереднього року).

Для першого періоду є характерним позитивний вплив березневих опадів на приріст на відміну від другого періоду, коли березневі опади стали обмежувати приріст. У другому періоді посилювався також вплив опадів — від червня до травня він виявився значущим позитивним, лише у квітні він лімітував приріст на відміну від першого

періоду, коли позитивний вплив опадів на приріст виявлено лише у червні та липні (рис. 4.12).



А)



Б)

Рис. 4.12. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між кількістю опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Лівобережного Лісостепу: А) 1960–1987 рр.; Б) 1988–2017 рр. (темно-сірі стовпчики вказують на значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – на значущі коефіцієнти функції відгуку, а зірочки (*) – на місяці попереднього року).

Як і в цих дослідженнях, позитивний вплив літніх опадів на радіальний приріст сосни виявлено також у східній Феноскандії та Польщі [327]. Посилення водного стресу для сосни кримської (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*), викликаного потеплінням клімату, визначено в Криму [315].

Отже, створена для Лісостепу регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного придатна для подальшого дендрокліматичного аналізу, оскільки значення міжсерійного коефіцієнта кореляції (EPS) перевищують поріг 0,85, а середня чутливість висока. Виявлено реперні роки мінімального приросту (1936, 1942, 1954, 1975, 1979, 2000, 2005, 2009 та 2012), упродовж яких ширина шарів річної деревини була нижчою від попереднього року на 20–46 %. Ці роки характеризувалися посухами упродовж вегетаційного періоду та екстремальними літніми, зимовими та ранньовесняними температурами. Роки максимального приросту (1935, 1943, 1953, 1988, 2004, 2011 та 2014) характеризувалися сприятливим співвідношенням тепла та вологи.

Під час порівняння реакції радіального приросту сосни звичайної на варіації клімату упродовж 1960–1988 та 1989–2017 рр. виявлено збільшення чутливості дерев до зміни клімату. Незважаючи на пластичність сосни та її адаптацію до зміни клімату нині, можливо чекати зменшення радіального приросту у найближчі роки.

4.2.3. Кліматичний сигнал у локальній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної середньовікового лісостану Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ». Зразки відібрано з середньовікового чистого соснового насадження Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ», що росте на дерновому опідзоленому середньоглибокому глинисто-піщаному ґрунті на давньоалювіальних пісках. $H_{\text{сер.}}$ становить 22,3 м, $D_{\text{сер.}}$ – 26,2 см, відносна повнота – 0,7, клас бонітету – I, а тип лісорослинних умов – свіжа субір (B_2).

Проаналізовано динаміку радіального приросту сосни звичайної. Виявлено роки мінімального приросту: 1975, 1987 та 2013 рр. Це обумовлено високим середньорічними температурами 1975 та 2013 рр., які склали відповідно 9,3 °C та 9,6 °C, що становило на 14 та 18 % вище норми (рис. 4.10, 4.11). Депресія радіального приросту сосни у 1987 році, скоріше за все, обумовлена надзвичайно холодною зимою, коли середні температури склали –8,7 °C, що вдвічі нижче за норму. Подібні результати досліджень отримано для ясена звичайного у вологому суборі Лівобережного Лісостепу [108]. Максимальний радіальний приріст сосни у 1973, 1980, 1996 та 2004 рр. обумовлений сприятливим співвідношенням тепла та вологи (рис. 4.13).

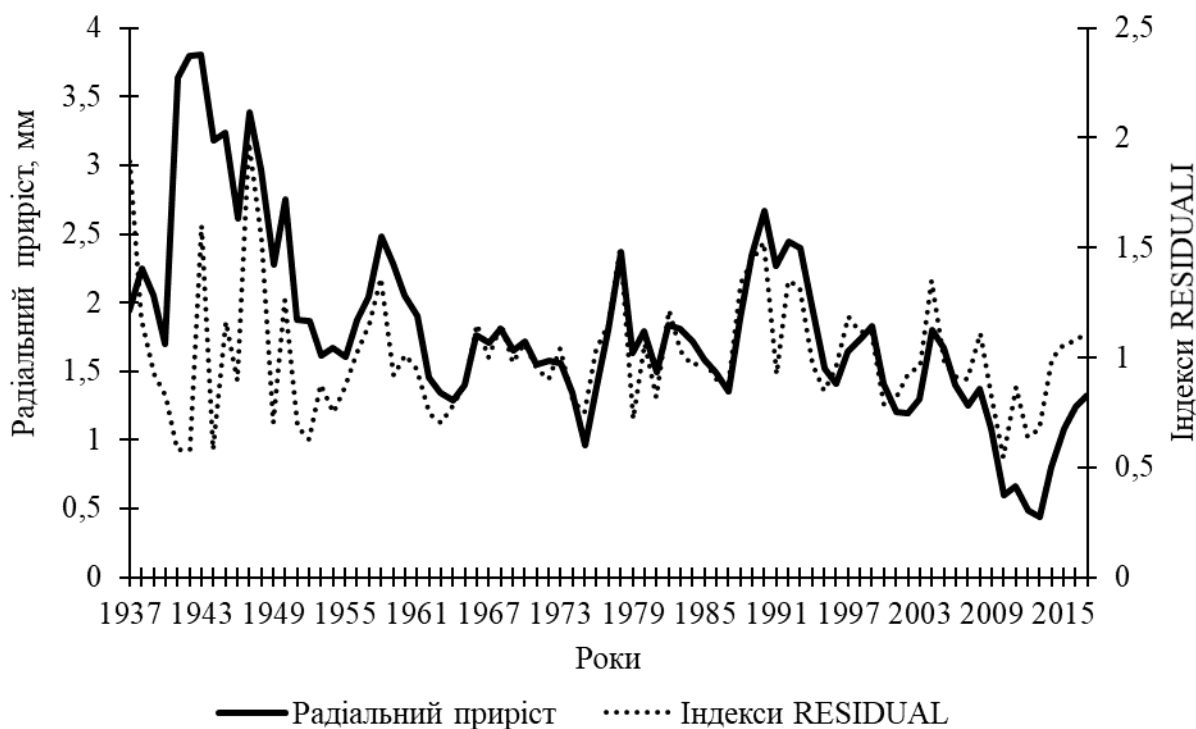


Рис. 4.13. Динаміка радіального приросту сосни та деревно-кільцевої хронології RESIDUAL

Посуха є одним із основних кліматичних чинників, які обмежують приріст дерева і часто стають спусковим гачком, який призводить до тимчасового погіршення стану дерев та їх всихання [385]. Після посушливих 1975 та 1987 рр. відбулося різке підвищення радіального приросту сосни внаслідок відмирання найбільш ослаблених дерев на третій рік після впливу стрес-факторів на насадження. Як зазначено вище, це сталося в результаті впливу екстремальних погодних явищ у 1975 та 1987 рр. на насадження, що викликало всихання найбільш ослаблених дерев. Це привело до збільшення площ живлення та покращення умов освітлення для дерев, які залишилися живими. Отже, на третій рік після впливу цих стрес-факторів відбулося підвищення радіального приросту дерев майже вдвічі в порівнянні з роком, який передував впливу екстремальних погодних явищ (рис. 4.20). Посуха безпосередньо спричиняє всихання дерев через гідравлічний збій або опосередковано – як стійке ослаблення дерев за рахунок зменшення накопичення метаболітів [261].

Для статистичного аналізу використано програму COFESHA. Необхідною умовою для дендрокліматичних досліджень є висока чутливість приросту дерев до клімату, яка залежить від виду дерев і локальних умов місця виростання. Статистичний аналіз виявив

придатність отриманих дендрохронологічних серій для дендрокліматичного аналізу, яку підтвердили коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями, чутливістю деревно-кільцевих серій, значення яких були переважно в діапазоні 0,3–0,4. Високі значення автокореляції свідчать про залежність формування річного кільця від погодних умов попереднього року (табл. 4.11).

Таблиця 4.11

Статистична характеристика шарів річної деревини сосни звичайної за програмою COFESHA

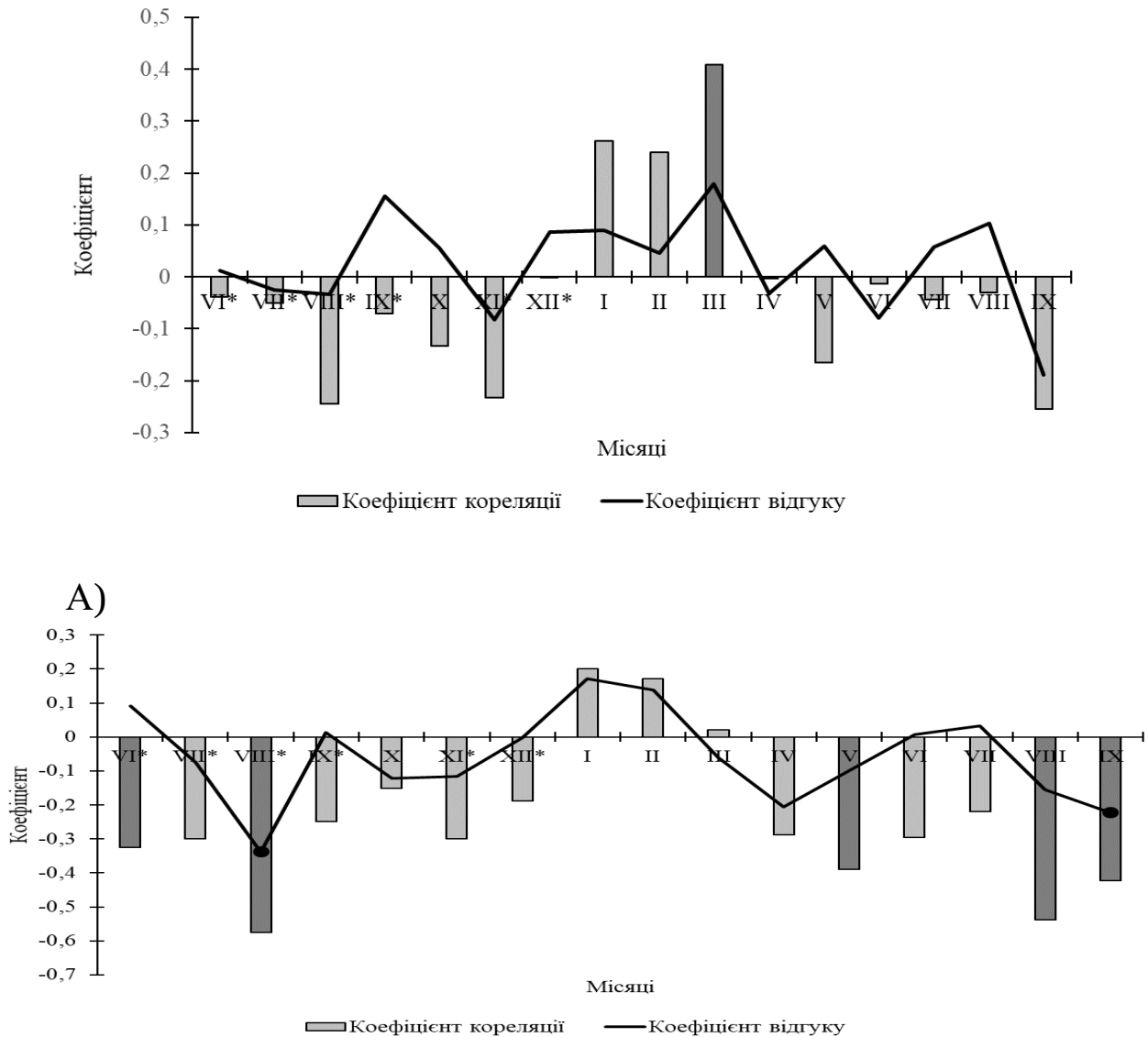
№ дерева	Інтервал, роки	Кількість років	$R_{bar.}$	$m, мм$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x
1	1940–2017	78	0,452	1,71	0,964	0,567	0,309
2	1950–2017	68	0,355	1,73	0,635	0,321	0,339
3	1940–2017	78	0,485	1,87	0,838	0,380	0,287
4	1940–2017	78	0,385	1,18	0,736	0,599	0,376
5	2000–2017	18	0,785	1,61	0,624	0,700	0,263
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
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

Виявлено взаємозв'язки між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками (опадами та температурами) за два періоди – 1960–1992 та 1985–2017 рр. У другому періоді визначено підвищення річних температур у порівнянні з першим на 11% (0,92 °C), температур за серпень-квітень – на 5% (0,8 °C), зимових температур – на 21% (–1 °C). Найшвидше підвищилися березневі температури – майже вчетверо (1,3 °C). Опадів випало у другому періоді у середньому за рік на 4 % більше (20 мм), у квітні-серпні – на 2 % (5,5 мм) і менше за зимовий період – на 7 %.

Н. С. Fritts [269] стверджує, що ширина річних кілець у деяких видів хвойних порід, що ростуть на напівсухих ділянках, відбиває інтегрований вплив клімату на продукування речовин живлення та

накопичення їх у кроні, гілках, стовбурі протягом 14–15 місяців. У зв'язку з цим, як зазначено вище, для аналізу впливу клімату на формування шарів річної деревини використано період з червня попереднього року до серпня поточного року.

У 1960–1992 рр. температури попереднього року з червня по грудень негативно впливали на приріст дерев. У 1985–2017 рр. цей вплив посилювався і був значущим для червня та серпня (рис. 4.14).



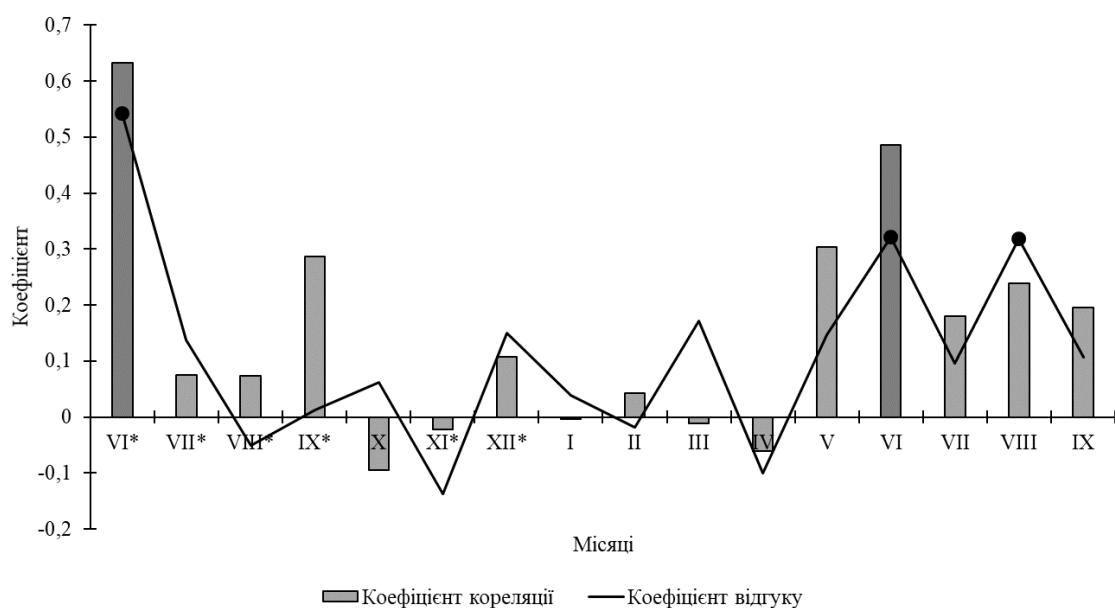
Б)

Рис. 4.14. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини: А) Температура за 1960–1992 рр.; Б) Температура за 1985–2017 рр. (Значущі кореляції на рівні 0,05 вказані сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом відмічено чорними колами. Місяці попереднього року відмічено зірочками).

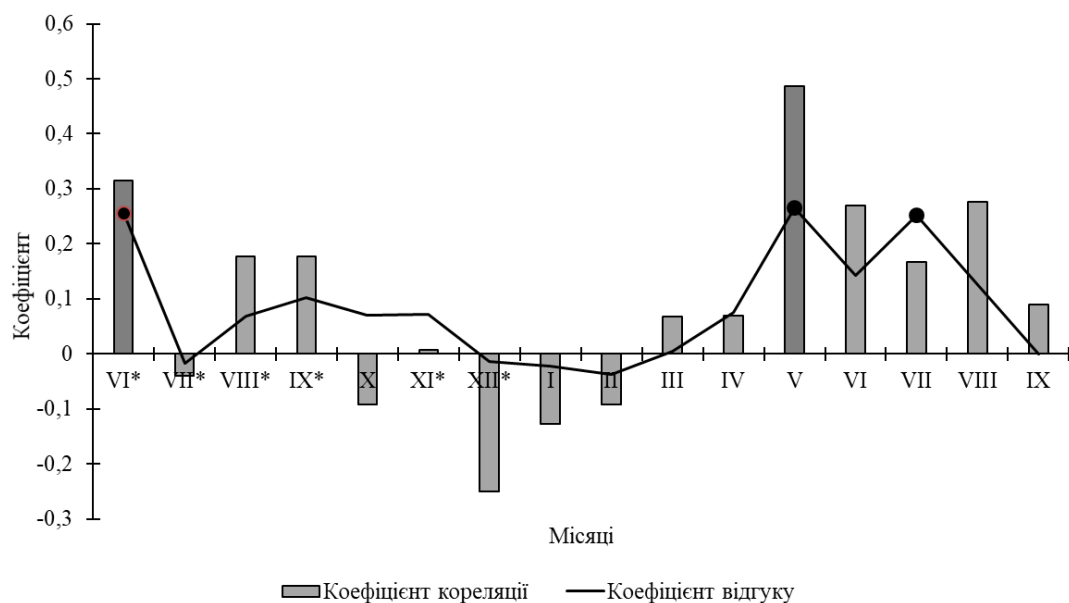
У наступні місяці – з січня по березень виявлено позитивний вплив температур для обох періодів, але для першого періоду цей вплив був сильнішим і навіть для березня був достовірним. У другому періоді потепління взимку з частими відлигами могло ослабити насадження. У 1960–1992 рр. протягом періоду квітня – вересня поточного року температури негативно впливали на радіальний приріст дерев.

У 1985–2017 рр. протягом вегетаційного періоду обмеження приросту високими температурами посилилося. Для травня, серпня та вересня цей вплив був значущим. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку показали, в основному, позитивний вплив опадів на приріст у червні-вересні попереднього року для обох періодів. У жовтні-листопаді попереднього року визначено негативний вплив на приріст. В цей час відбувається накопичення вологи у ґрунті, яке впливає на радіальний приріст дерев у наступному році [269].

Взимку, в основному, відмічено невеликий позитивний вплив опадів на приріст у першому періоді. У другому періоді ці зв'язки є від'ємними. Можливо це пояснити тим, що у першому періоді з порівняно невисокою температурою зберігається сніговий покрив, який навесні внаслідок повільного танення насичує ґрунт вологою. У другому періоді в результаті відлиг накопичення значної маси снігу може не відбуватися, внаслідок чого ґрунт достатньою мірою не накопичує вологу, що негативно впливає на радіальний приріст сосни. Для першого періоду характерний позитивний вплив опадів з травня до вересня поточного року, водночас для другого періоду цей період був дещо тривалішим – від березня до вересня поточного року, тобто дефіцит вологи у другому періоді відмічено на місяць раніше, ніж у першому періоді. Значущий позитивний достовірний вплив опадів на радіальний приріст виявлено для першого періоду у червні, а для другого – у травні (рис. 4.15). Загалом у другому періоді дерева стали більш чутливими до стрес факторів унаслідок потепління, про що свідчать результати кореляційного аналізу та функції відгуку: по-перше, збільшилася кількість значущих зв'язків між радіальним приростом і кліматичними чинниками (температурами та опадами) і, по-друге, збільшився на місяць період негативного впливу опадів на радіальний приріст у період вегетації у другому періоді в порівнянні з першим. Для першого періоду він тривав з травня по вересень, а для другого – з квітня по вересень [250]. Н. С. Фритц стверджував, що чутливість дерев збільшується із посиленням посух [270].



А. Опади. 1960–1992 рр.



Б. Опади. 1985–2017 рр.

Рис. 4.15. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для сум місячних опадів та індексної деревно-кільцевої хронології ARSTAN для шарів річної деревини: А) Опади за 1960–1992 рр.; Б.) Опади 1985–2017 рр. (Значущі кореляції на рівні 0,05 вказані сірими стовпчиками, значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом – чорними колами, а місяці попереднього року – зірочками).

Сценарії зміни клімату передбачають подальше збільшення літньої посухи та зимових опадів та підвищення температури повітря в Європі, тим самим збільшуючи ризики для життєдіяльності лісових

дерев [264]. Подібні дослідження проведені для 1955–2009 рр. в австрійських Альпах в долині річки Інн в умовах порівняно континентального клімату (температура – 7.3 °C, опади 716 мм). Визначено достовірні коефіцієнти кореляції приросту з весняними опадами (позитивний вплив) і літніми температурами (негативний вплив) [371]. 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.

Дослідженнями взаємодії між деревно-кільцевими хронологіями сосни *Pinus contorta* та *Picea glauca* x *engelmannii* і щомісячними кліматичними змінними у внутрішній частині Британської Колумбії (Канада) для 1922–1997 рр. виявлено кореляції в діапазоні від середніх до низьких (від –0,3 до 0,4). Тим не менше, можна виділити помітні тенденції у взаємозв'язках між радіальним приростом з одного боку та опадами і температурами – з іншого [401]. В нашому дослідженні відповідні значущі кореляційні коефіцієнти обчислено також у цьому діапазоні – від слабких до середніх (від 0,3 до 0,6).

Таким чином, виявлено роки мінімального приросту: 1975, 1987 та 2013 рр., що обумовлено високими середньорічними температурами 1975 та 2013 рр. та низькими зимовими температурами 1987 року.

Роки максимального приросту (1944, 1957, 1978 та 2004 рр.) характеризуються оптимальним співвідношенням тепла та вологи, водночас формування широких шарів річної деревини у 1990 та 1999 рр. можна пояснити теплими зимами та високими ранньовесняними температурами.

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

Дефіцит опадів у другому періоді (1985–2017 рр.) почався у період вегетації на місяць раніше в порівнянні з першим (1960–1992 рр.) і тривав з березня до вересня.

В порівнянні з регіональною хронологією локальна хронологія безумовно має чіткішу картину динаміки зв'язків між кліматичними чинниками та приростом, оскільки мікрокліматичні та едафічні умови є більш однорідними.

4.2.4. Кліматичний сигнал у локальній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної 100-річного соснового насадження ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція». Зразки сосни відібрано в 100-річному чистому сосновому насадженні (ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (квартал 159, вид. 2; широта 50°03'27"N, довгота 36°21'08"E). Основні таксаційні показники насадження: $H_{\text{сер.}}=24$ м, $D_{\text{сер.}}=42$ см, клас бонітету II, тип лісу В₂–дС (свіжа соснова–дубова субір), повнота 0,6. Виявлено роки мінімального та максимального приросту, які називають реперними роками, в які близько 90 % дерев мають однаковий тренд приросту. (рис. 4.16).



Рис. 4.16. Динаміка радіального приросту сосни та індексної деревно-кільцевої хронології STANDART в Південному лісництві.

Роки мінімального приросту: 1933, 1942, 1956, 1972, 1976, 1976, 1987, 1992, 2002, 2006 та 2012; роки максимального приросту: 1933, 1942, 1956, 1972, 1975, 1976, 1979, 1979, 1979, 1987, 1992, 2002 та 2012 (див. рис.4.16) Депресії радіального приросту сосни відбулися внаслідок несприятливих погодних умов (низьких та високих зимових та ранньовесняних температур, посухами протягом вегетаційного періоду, температур мінімального приросту сосни), обумовлені несприятливим співвідношенням тепла та вологи, а максимального приросту – сприятливими умовами.

Порівнювали два періоди (1960–1988 та 1988–2016 рр.) за приростом і кліматичними показниками (табл. 4.12).

Таблиця 4.12

Різниця між кліматичними чинниками та деревно-індексною хронологією STANDART за 1960–1988 та 1988–2016 рр.

Періоди	Періоди, рр.		Різниця в % між першим та другим періодами
	1960–1988	1988–2016	
Середня температура (°C)			
рік	7,5	8,7	14
IV–VIII місяці	16,8	17,7	5
зиму	–5,3	–3,6	32
III місяць	–0,67	1,8	63
Сума опадів (мм)			
рік	542	579	7
IV–VIII місяці	258	277	7
зиму	134	119	–11
Індексна деревно–кільцева хронологія STANDART (умовні одиниці)			
	0,98	0,95	–4

Встановлено, що за останні 1988–2016 рр. у порівнянні з 1960–1988 рр. середньорічні температури підвищилися на 1,2 °C, за вегетаційний період – на 0,9 °C, за зиму – на 1,0 °C та за березень – на 2,1 °C. Відбулося незначне збільшення кількості опадів за вегетацію (на 19 мм) і водночас зменшення зимових опадів на 15 мм. Найбільші зміни відбулися для зимових та ранньовесняних температур. Для 2009–2016 рр. відмічено значне збільшення температур за вегетаційний період, що негативно вплинуло на радіальний приріст. Відхилення від норми цієї температури становило 9 % (1,7 °C), водночас індекси радіального приросту знизилися на 4 % за період (див. табл. 4.12).

Як зазначено вище, коефіцієнт автокореляції першого порядку, який характеризує, наскільки тісно величина річного кільця поточного року пов'язана з величиною кільця попереднього [250], виявився високим. Це свідчить про сприятливі лісорослинні та кліматичні умови для соснового насадження. Міжсерійний коефіцієнт кореляції (0,44) дає змогу провести подальший кореляційний аналіз між радіальним приростом і кліматичними чинниками (табл. 4.13).

Кореляційний аналіз та функція відгуку за два періоди свідчать, що за збільшення температур і кількості опадів (виняток – зимові опади) змінилася реакція лісових екосистем на вплив клімату,

Таблиця 4.13

**Вибіркова статистика деревно-кільцевої хронології шарів річної
деревини та індексної деревно-кільцевої хронології
STANDART для сосни звичайної**

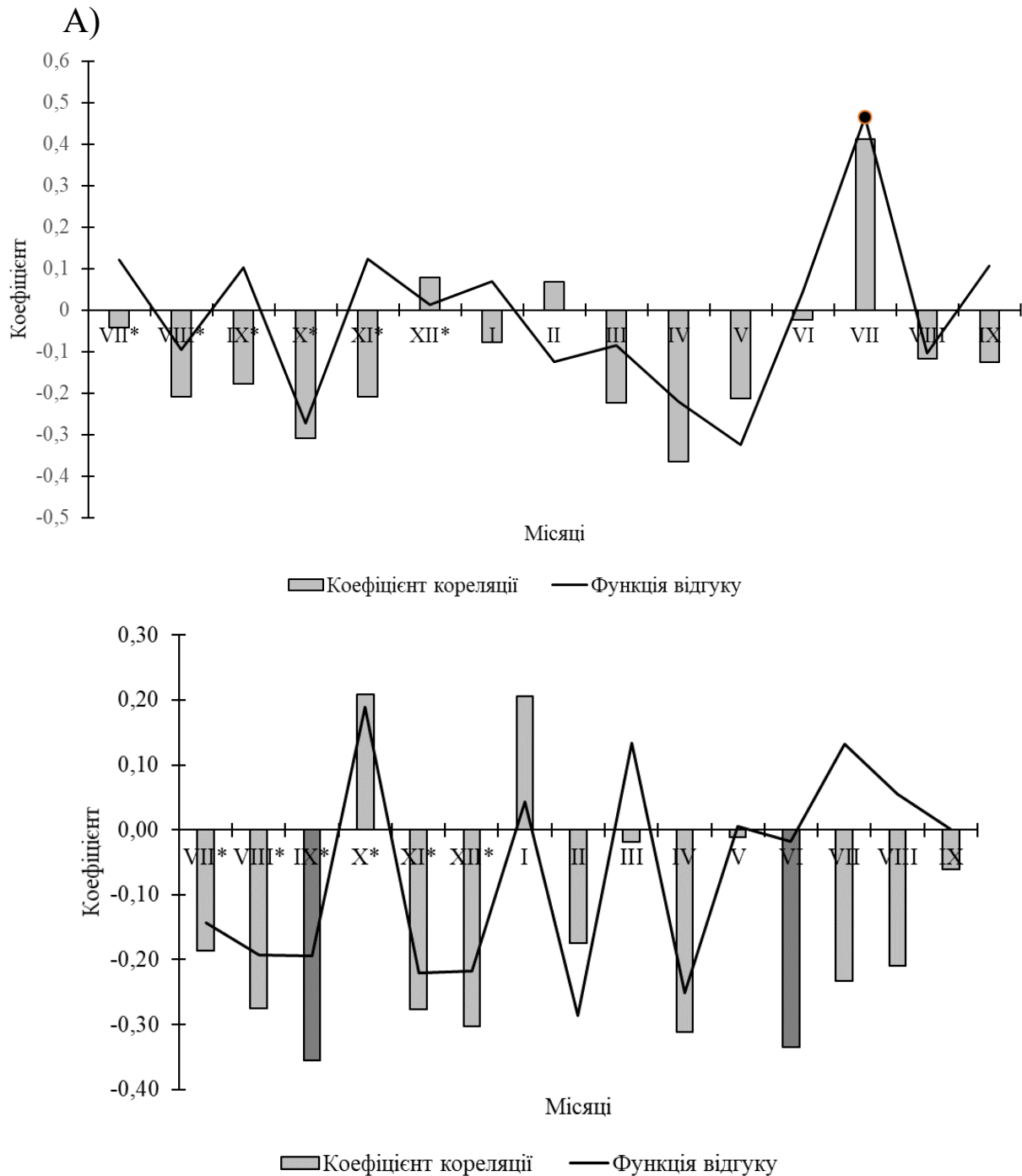
Показ- ник	Період, роки	м, мм, відносні одиниці	MS_x	$S_{td.dev}$	AC_1	№ річних кілець, штук	$R_{bar.}$
Радіаль- ний приріст	1925– 2016	2,63	0,210	1,62	0,88	810	0,44
S*	1925– 2016	1,00	0,133	0,179	0,57	809	–

* – STANDART індексно-деревна хронологія для річних шарів деревини.

Так, якщо в 1960–1988 рр. радіальний приріст обмежували низькі квітневі та високі липневі температури, то у 1988–2016 рр. негативно впливали на радіальний приріст вересневі температури попереднього року, які відповідають на зимове вологонакопичення, та негативний вплив червневих температур. Відбулося незначне збільшення опадів, але на фоні високих температур негативних кореляцій між індексами радіального приросту та сумами опадів стало більше у другому періоді в порівнянні з першим (рис. 4.17, 4.18).

У першому періоді 1960–1988 рр. визначено позитивний вплив опадів на радіальний приріст у 1960–1988 рр., тому що на тлі низьких зимових температур відбувалося вологонакопичення в ґрунті, але в наступні 1988–2016 рр. цей вплив став негативним, що може бути пов'язано з підвищенням зимових і ранньовесняних температур і не сприяло формуванню постійного снігового покриву. Внаслідок відлиг протягом зими не відбулося вологонакопичення на рівні минулих 1960–1988 рр., що негативно позначилося на формуванні шарів деревини. Д. В. Тішин також виявив збільшення негативного впливу зимових опадів на радіальний приріст, що пов'язано із збільшенням зимових температур та відлиг за останні десятиріччя [207]. Така реакція радіального приросту на вплив зимових опадів може бути пов'язана не тільки з флуктуаціями клімату, а також із змінами рівня

грунтових вод. Таким чином, порівняння 1960–1988 та 1988–2016 рр. виявило, що для першого періоду характерний позитивний вплив літніх температур на радіальний приріст, а у другому періоді вони починають обмежувати приріст.

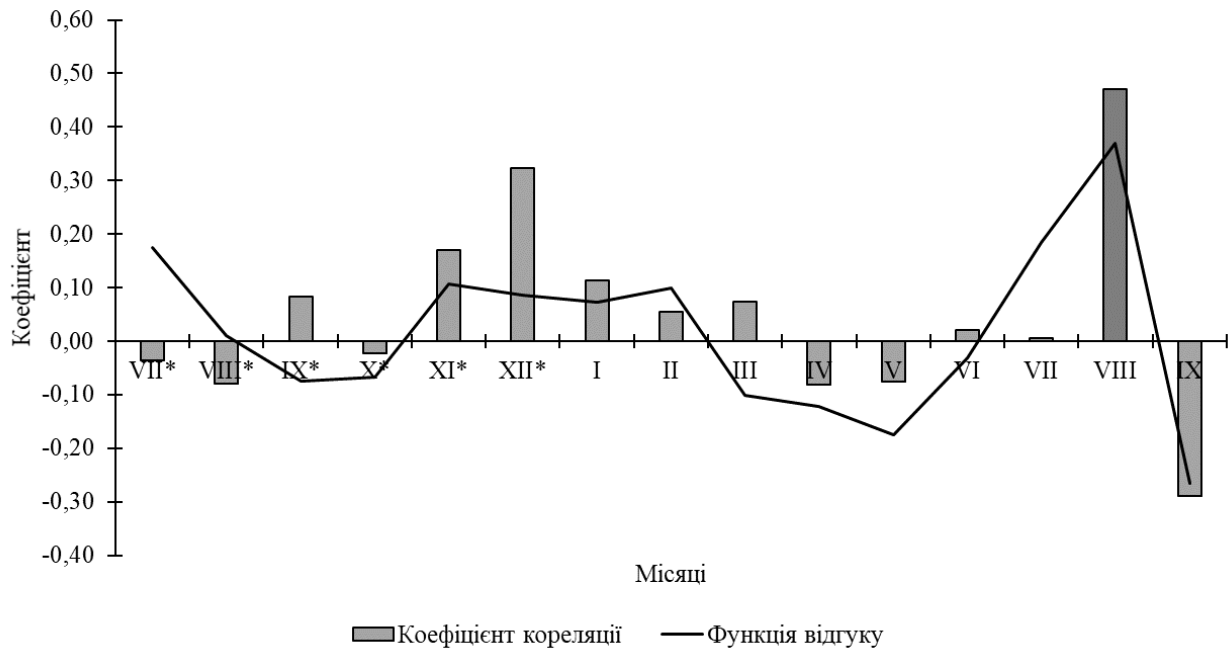


Б)

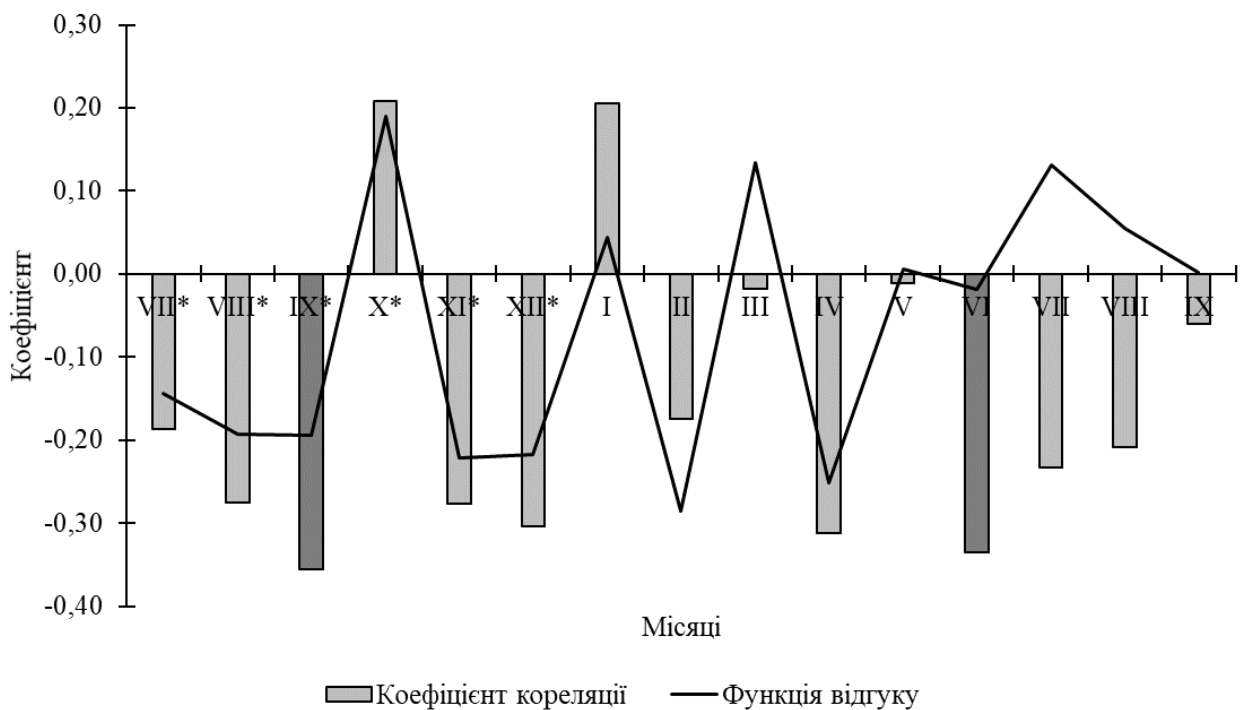
Рис. 4.17. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології STANDART для сосни звичайної: А) Температури за перший період 1960–1988 рр.; Б) Температури за другий період 1988–

2016 рр. (Значущі кореляції на рівні 0,05 вказані сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом – чорними колами).

33



A)



Б)

Рис. 4.18. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для опадів та індексної деревно-кільцевої хронології STANDART для шарів річної

деревини: А) Опади за перший період 1960–1988 рр.; Б) Опади за другий період 1988–2016 рр. (Значущі кореляції на рівні 0,05 вказані сірими стовпчиками, а значущі зв'язки між температурами та радіальним приростом – чорними колами).

Незначне збільшення кількості опадів за вегетацію не змогло пом'якшити негативний вплив температур на формування шарів деревини. У другому періоді виявлено посилення негативного впливу зимових опадів на приріст, що викликано збільшенням зимових температур та відлиг, що негативно вплинуло на накопичення вологи у ґрунті та формування річних кілець сосни.

4.2.5. Вплив клімату на динаміку радіального приросту сосни звичайної в лісовій і лісостеповій зонах України. Досліджено чисті соснові середньовічні культури, розташовані в регіонах із мінімальним антропогенним впливом. Повнота деревостанів становить 0,71 (Полісся) та 0,72 (Лісостеп). Бонітет насаджень у Поліссі – I_6 та Лісостепу – I_a . Запас насаджень становить $483,8 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ у Поліссі та $356 \text{ м}^3\text{га}^{-1}$ – у Лісостепу. У лісовій зоні на пробній площі тип лісорослинних умов – свіжий сугруд (C_2); у лісостеповій – свіжий субір (B_2). Ґрунти в Поліссі середньо-підзолисті, в Лісостепу – дернові супіщані.

В лісовій зоні район досліджень розташований у межах двох фізико-географічних районів: Костопільського та Цуманського, які належать до фізико-географічної області Волинського Полісся. Клімат помірно-континентальний. Середньорічна температура повітря становить $+6,9^\circ\text{C}$, річна сума опадів – 680 мм із амплітудою 300–1000 мм.

У Лісостепу район досліджень розташований на південному заході Середньо-Руської височини, на межі лісостепової та степової зон. У південно-східному напрямку збільшується континентальність клімату, що знаходить відображення у зменшенні середньорічної кількості опадів (500–570 мм), більшій амплітуді коливань температур, як середньодобових, так і міжсезонних, більш холодних зимах, пізніх морозах. Середні температури січня – -8°C , липня – понад 20°C .

Аналіз основних статистичних характеристик деревно-кільцевих хронологій виявив високий коефіцієнт кореляції між деревними серіями: 0,434 – для насадження лісової зони та 0,412 – для лісостепової, що свідчить про високу подібність приросту для кожного деревостану. Коефіцієнт автокореляції першого порядку, який характеризує, наскільки тісно товщина річного кільця поточного року

пов'язана з товщиною кільця попереднього року, є високим в обох деревостанах. Сосна в лісостеповій зоні має більшу чутливість (0,303) в порівнянні із сосною в Поліссі (0,280), що свідчить про жорсткіші умови для росту дерев (табл. 4.14).

Таблиця 4.14

Статистична характеристика радіального приросту сосни

Природна зона	Кількість дерев	Період, роки	m , мм	$R_{bar.}$	AC_1	MS_x
Полісся	15	1940–2001	1,93	0,434	0,656	0,280
Лісостеп	12	1940–2001	1,36	0,412	0,696	0,303

За останні двадцять років виявлено збільшення приросту в порівнянні з попереднім періодом в Поліссі на 27 %, а в Лісостепу – на 38 %. Можливо, це пов'язано з тим, що за останні 20 років в порівнянні з попереднім періодом, відбулося збільшення температур для: квітня-червня на 0,5 °С в Поліссі та на 0,2 °С в Лісостепу для зимового періоду (від грудня попереднього року до лютого поточного року) – на 2,3 °С в Поліссі та 0,7 °С – в Лісостепу. Тобто, вірогідно, що збільшення пізньовесінніх і ранньолітніх температур і потепління взимку спричиняють прискорення росту дерев. Тренди кривих температур за інші місяці та середньорічних температур за останні сорок років майже не змінилися. За даними досліджень Р. Б. Мінені та інш. [344], в північній півкулі (45–70° п. ш.) за 1981–1990 рр., збільшилася продуктивність рослинності, про що свідчать знімки із супутників

Спільні реперні роки радіального приросту сосни в лісовій і лісостеповій зонах для 1946–2001 рр.: мінімального приросту: 1952, 1956, 1963, 1976, 1979, які характеризуються незначною кількістю опадів у період вегетації та суворими зимами. Для років максимального приросту – 1965, 1970, 1978, 1985, 1993 та 1997 відмічено теплі зими та велику кількість опадів у період вегетації (рис. 4.19).

Кореляційним аналізом виявили кількісні зв'язки між індексами приросту та кліматичними показниками в лісовій та лісостеповій зонах за допомогою програми PRECON. В Поліссі температури за холодний період (з грудня попереднього року по березень поточного року) значуще впливають на формування річних кілець сосни в Поліссі. Істотний вплив визначено в грудні та березні, тобто виявляється відгук дерев на зміни температур у період перехідних періодів: до зимового спокою та навесні – на початку процесу ксилогенезу. Виявлено також

позитивні зв'язки між індексами радіального приросту та відотною вологістю за квітень-березень і гідрологічний рік.

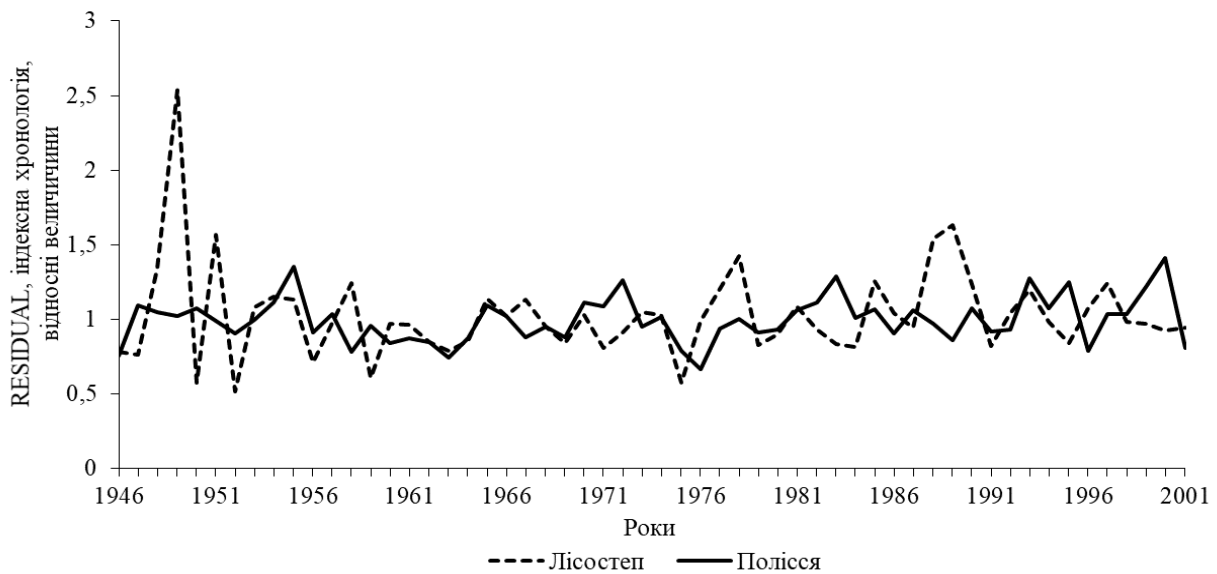


Рис. 4.19. Динаміка індексів деревно-кільцевих хронологій RESIDUAL сосни звичайної у лісовій і лісостеповій зонах.

Доведено впливу температур холодного періоду на приріст (табл. 4.15).

Таблиця 4.15

Кореляційні коефіцієнти між деревно-індексною хронологією RESIDUAL сосни звичайної та кліматичними показниками в Поліссі

Кліматичний показник	Версії хронологій**		
	S	R	A
Середня °C за I–III, XII місяці (1946–2001 pp.)	0,30 ⁺	0,31 ⁺	0,30 ⁺
Середня t°C за рік (1945–2001 pp.)	0,26	0,29 ⁺	0,27 ⁺
Середня t°C XII місяць (1945–2001 pp.)	0,23	0,36*	0,20
Середня температура за III міс. (1945–2001 pp.)	0,22	0,29 ⁺	0,21
Середня t°C за попередній XII місяць (1946–2001 pp.)	0,39	0,24	0,33
Відносна вологість за гідрологічний рік (1976–2001 pp.)	–0,50 ⁺	–0,32	0,50 ⁺
Відносна вологість за IV–VIII місяці (1970–1997 pp.)	–0,04	0,34 ⁺	–0,06
O ₃ (1949–2001 pp.)	0,32 ⁺	0,30 ⁺	0,36*

Примітка. 1)* – тіснота зв'язку достовірна на 99 % рівні значущості; 2) + – тіснота зв'язку достовірна на 95% рівні значущості; 3) версії деревно-кільцевих хронологій: S – STANDART; R – RESIDUAL; A – ARSTAN.

Кореляційний аналіз та аналіз за допомогою програми PRECON виявили негативний вплив посух на радіальний приріст сосни звичайної під час вегетації в Лісостепу, про що свідчать зворотні кореляційні зв'язки між індексами радіального приросту та середніми температурами за квітень-серпень і квітень-липень. Це є особливістю відгуку дерев до коливань погодних умов у насадженнях, які ростуть у більш сухих умовах на піщаних ґрунтах, що мають невисоку вологостійкість у регіонах із дещо більше вираженою континентальністю клімату. Наслідком цього є вплив опадів на приріст у період теплого сезону. Також позитивні середні зв'язки виявлено між індексними деревно-кільцевими хронологіями та відносною вологістю за квітень-серпень та зворотні середні зв'язки за холодний період (від грудня попереднього року до березня поточного року). (рис. 4.20).

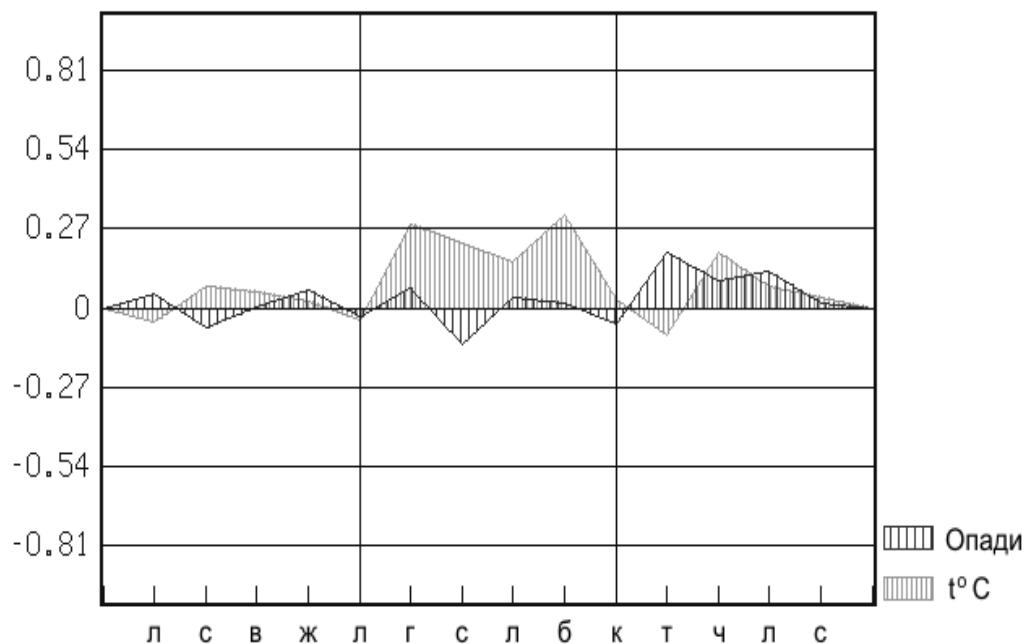


Рис. 4.20. Кореляційні коефіцієнти між індексно-деревною хронологією RESIDUAL і середньомісячними середніми температурами та сумами опадів за період 1945–2001 рр. від попереднього липня до поточного серпня в Поліссі (Кореляційні коефіцієнти достовірні, які вищі 0,27).

Для кореляційного аналізу використано гідротермічні коефіцієнти O_1 та O_3 [13]. Тип лісорослинних умов впливає на відгук деревостанів до флуктуацій клімату, про що свідчать позитивні середні зв'язки з гідротермічним коефіцієнтом O_3 , який відображує вплив

клімату на приріст за поточний і попередні три роки – в Поліссі та з O_1 , що характеризує співвідношення тепла та вологи за поточний рік – у Лісостепу. Тобто відрізняється реакція на коливання клімату дерев, які ростуть на ґрунтах із різною вологоємністю.

Встановлено позитивні середні зв'язки між індексами приросту та відносною вологістю за вегетаційний період і зворотні за холодний період. Також виявлено зв'язки з відносним показником сонячної активності, тобто числами Вольфа. Кореляційні коефіцієнти між деревно-індексною хронологією RESIDUAL, з одного боку, та середньомісячними температурами та сумами опадів, з іншого, отримані внаслідок обробки даних за програмою RESPONSE, підтверджують коректний вибір періодів для кореляційного аналізу для Лісостепу (табл. 4.16, рис. 4.21).

Таблиця 4.16

Кореляційні коефіцієнти між деревно-індексною хронологією RESIDUAL та кліматичними чинниками в Лісостепу

Кліматичний показник	Версії хронологій**		
	S	R	A
Середня $t^{\circ}\text{C}$ за IV–VIII місяці (1967–2006 рр.)	–0,16	–0,33 ⁺	–0,18
середня за IV–VI місяці (1967–2006 рр.)	–0,18	–0,34 ⁺	–0,22
Суми опадів за III–X місяці	0,25	0,49 ^{**}	0,27
Сума опадів за IV–VIII місяці (1951–2006 рр.)	0,27	0,55 ^{**}	0,27
Сума опадів за V–VIII місяці (1951–2006 рр.)	0,26	0,48 ^{**}	0,23
Сума опадів за гідр. рік (1952–2006 рр.)	0,07	0,40 ^{**}	0,15
Сума опадів за календарний рік (1951–2006 рр.)	0,06	0,37 ^{**}	0,08
Відносна вологість за календарний рік (1970–1997 рр.)	–0,34	0,15	–0,38 ⁺
Відносна вологість за IV–VIII місяці (1970–1997 рр.)	–0,04	0,34 ⁺	–0,06
Відносна вологість за XII, I, II та III місяці (1971–1997 рр.).	–0,38 ⁺	0,01	–0,41 ⁺
Відносна вологість за XII, I та II місяці (1971–1997 рр.)	–0,35	–0,01	–0,39 ⁺
Відносна вологість за XII (1970–1997 рр.)	–0,37	0,16	–0,40 ⁺
Числа Вольфа за календарний рік (1950–2005 рр.)	0,18	0,04	0,27 ⁺
Числа Вольфа за IV–IX місяці (1950–1996 рр.)	0,20	0,07	0,29 ⁺
O_1	–0,15	–0,42 [*]	–0,13

Примітка. 1)* – тіснота зв'язку вірогідна на 99 % рівні значущості; 2) + – тіснота зв'язку вірогідна на 95% рівні значущості; 3) версії деревно-кільцевих хронологій: S – STANDART; R – RESIDUAL; A – ARSTAN.

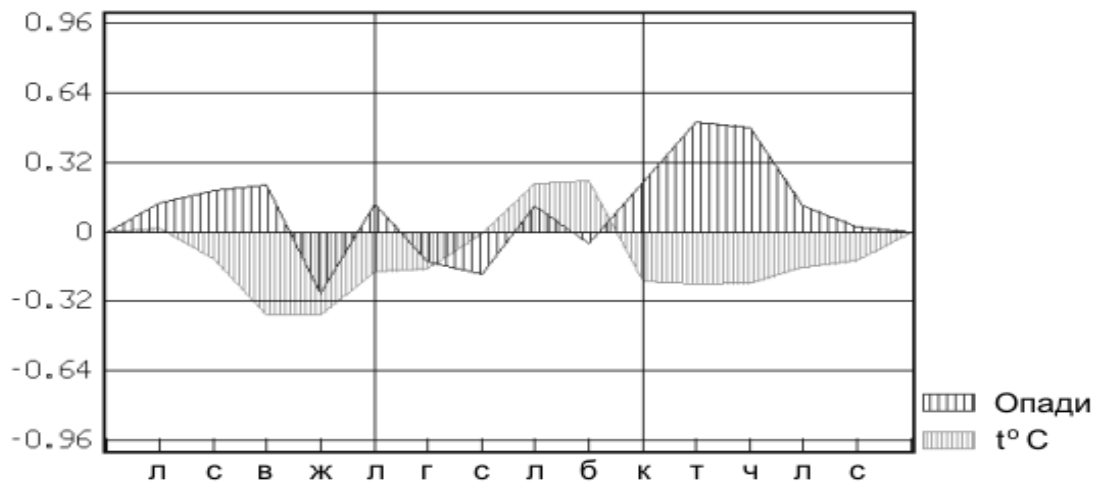


Рис. 4.21. Кореляційні коефіцієнти між індексно-деревною хронологією RESIDUAL і середньомісячними середніми температурами та сумами опадів за 1945–2001 рр. з попереднього липня по поточний серпень у Лісостепу (коефіцієнти достовірні, які вищі 0,32).

В лісостепу встановлено, що радіальний приріст сосни лімітують температури та опади за квітень-серпень. Це є особливістю відгуку дерев на коливання погодних умов у сухіших насадженнях на піщаних ґрунтах, які мають невисоку вологоємність. Наслідком цього є вплив опадів на приріст у період теплового сезону. Також додатні середні зв'язки виявлено між індексними деревно-кільцевими хронологіями та відносною вологістю за квітень-серпень, а від'ємні середні зв'язки за холодний період (з грудня попереднього року до березня поточного року).

Виявлено збільшення величин річних кілець сосни в лісовій і лісостеповій зонах за останні двадцять років, що, можливо, пов'язано з потеплінням протягом квітня-червня та грудня-березня. Наведено результати досліджень взаємозв'язків між радіальним приростом сосни та кліматичними чинниками, які обмежують її приріст.

В умовах середнього багатства ґрунтів і достатньої забезпеченості вологою приріст слабо корелює з кліматичними показниками, тому що ґрунтовий комплекс нівелює їхній вплив, виконує роль буфера, пом'якшуючи негативний вплив різких коливань клімату [219].

Таким чином, виявлено, що за останні двадцять років відбулося збільшення приросту в порівнянні з відповідним попереднім періодом у Поліссі на 27 %, а в Лісостепу – на 38 %, що пов'язано зі збільшенням температур за пізньо-весінній, ранньолітній та зимовий періоди.

В Поліссі радіальний приріст обмежують переважно температури холодного періоду (від попереднього грудня до березня), на відміну від Лісостепу, де визначено значний вплив температур на приріст протягом вегетаційного періоду (квітень-серпень), про що свідчать зворотні зв'язки між індексами приросту та наведеним чинником.

На відміну від Полісся, в Лісостепу отримано позитивні кореляції між індексами приросту та сумами опадів за вегетаційний період, які є найвищими за квітень-серпень. Тобто реакція на вплив клімату дерев на ґрунтах із різною вологоємністю відрізняється.

4.3. Вплив зміни клімату на радіальний приріст сосни кримської в насадженнях на південному узбережжі Криму

4.3.1. Абсолютні значення радіального приросту сосни кримської. З середини 1960-х, особливо в 1970–1971 рр., тенденція охолодження в північній півкулі змінилася на тенденцію потепління [176]. Виявлено особливості змін клімату на південному схилі Кримських гір в умовах середземноморського клімату (у так званих «північних субтропіках») та реакцію радіального росту дерев на такі зміни.

За результатами дендрокліматологічного аналізу в Криму, проведеного О. М. Соломіною, найтіснішими є зв'язки між індексами радіального приросту дерев і температурами за період від квітня до червня ($r=0,61$ при $p=0,01$), які відображають важливість вологи для активного росту дерев. Теплі зими та весни в Криму також сприяють приросту дерев [383].

Досліджено реакцію радіального приросту сосни кримської (*Pinus nigra* ssp. *pallasiana*) в насадженнях на південному схилі Кримських гір на зміни клімату.

Керни деревини відібрано на трьох тимчасових пробних площах із п'ятнадцяти дерев сосни кримської в 150-річних та 55-річних насадженнях, які ростуть на південних схилах Криму. Аналіз абсолютних даних шарів річної деревини дав змогу простежити динаміку розвитку насаджень. У 1847–1888 рр. визначені високі значення річних шарів деревини та велике їхнє варіювання. Це свідчить, що молоді насадження швидко реагували на зміни природного середовища, зокрема наколивання клімату. У 1889 році відбулося негативне для росту дерев явище (можливо, це були посухи), в результаті чого насадження біля Алупки відновило приріст наступного 1890 року, а деревостан біля м. Гурзуф витримав депресію радіального приросту, яка призвела до усихання тонкоміру. За рахунок

цього в наступному 1891 році в насадженні почалося різке збільшення радіального приросту внаслідок збільшення площ живлення дерев, які залишилися, а також за рахунок збільшення світлового приросту.

Насадження біля Алушки мало позитивний приріст до 1922 року, після якого прирости обох насаджень зрівнялися і трималися на майже однаковому рівні до 1942 року. Потім відбулося зрідження насаджень біля Гурзуфу (Ай-Петрі), що призвело до збільшення приросту [144]. Це зрідження деревостанів стало наслідком боїв між партизанами та загарбниками взимку та ранньою весною 1941–1942 рр. (рис. 4.22).

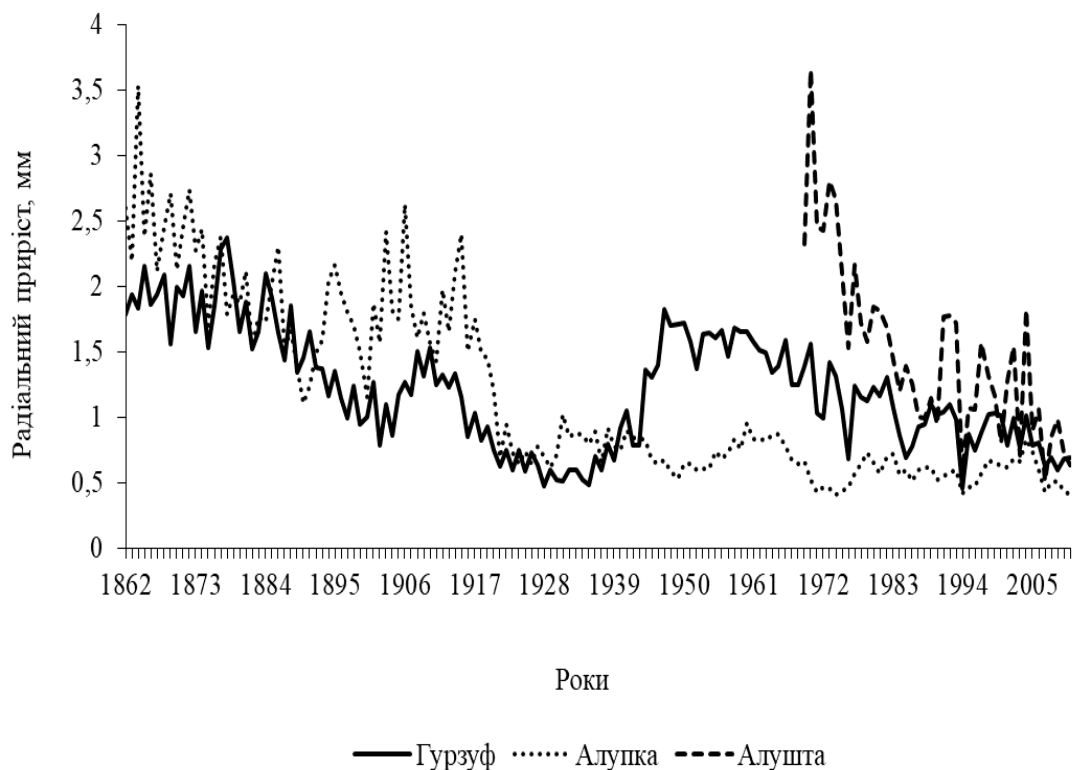


Рис. 4.22. Динаміка радіального приросту сосни кримської на Південному Узбережжі Криму

До цього часу абсолютні величини радіального приросту дерев мають менші значення в насадженні біля Алушки в порівнянні з насадженням біля Гурзуфа. Насадження, яке росте в районі Алушти, – молоде, тому має більші величини річних кілець і більшу амплітуду коливань (молоді насадження зазвичай мають більшу чутливість до впливу зовнішніх факторів) у порівнянні з понад 100-річними деревостанами, які ростуть біля Алушки та Гурзуфа.

Статистичний аналіз за програмою COFESHA виявив високу синхронність між індивідуальними деревно-кільцевими хронологіями сосни для кожної ПП (табл. 4.17).

Таблиця 4.17

Описова статистика деревно-кільцевих хронологій

Пункти обліку	m, мм	$R_{\text{bar.}}$	$S_{\text{td.dev}}$	AC_1	MS_x
Гурзуф	1,18	0,429	0,749	0,762	0,300
Алупка	1,11	0,347	0,768	0,734	0,276
Алушта	1,07	0,645	0,756	0,593	0,355

Коефіцієнт автокореляції першого порядку, який характеризує тісноту зв'язку між товщиною річного кільця поточного року з товщиною кільця попереднього, становить 0,593–0,762 та має найменші значення в наймолодшому насадженні. Це свідчить про більшу залежність приросту понад 100-річних насаджень від погодних умов попередніх років у порівнянні з молодим деревостаном.

Стандартне відхилення деревно-кільцевих хронологій варіює в межах 0,749–0,768, що свідчить про високу варіабельність радіального приросту дерев.

Найвищу ступінь чутливості має наймолодше насадження, яке росте поблизу Алушти, що свідчить про швидшу реакцію цього насадження на зміни природного середовища. Старші насадження є менш чутливими.

Зівставлення метеорологічних даних за 1969–1989 та 1990–2011 рр. виявило таку тенденцію: у 1990–2011 рр. в порівнянні з попередніми 1969–1989 рр. відбулося збільшення температур за рік на 0,3°C (2,3 %), за квітень–червень – на 0,23 °C (1,5 %), за квітень–серпень – на 0,7 °C (3,6 %). Водночас зими стали холоднішими (зимові температури зменшилися на 0,6 °C, або 11,9 %), а рано навесні (в березні) температури знизилися на 0,3°C (5,4%). Кількість опадів за 1990–2011 рр. в порівнянні з попередніми 1969–1989 рр. зменшилася на 8 мм (1 %) за рік, за квітень–серпень – на 43 мм (18,5 %), за квітень – червень – на 24 мм (18,3 %).

Відносна вологість за 1990–2011 рр. в порівнянні з періодом 1969–1989 рр. зменшилася за рік на 0,7 відносної одиниця (1,0 %), за квітень–серпень – на 3,5 (5,3 %), за квітень–червень – на 3,9 (5,7 %), за березень – на 1,1 (1,5 %).

Аналіз реперних років та динаміки радіального приросту, ходу температур, опадів і вологості свідчить, що приріст сосни обмежують холодні зими та ранньовесняні температури (березневі), посухи вегетаційного періоду (квітня-серпня) та посухи квітня-червня (табл. 4.18).

Таблиця 4.18

Негативні реперні роки радіального приросту сосни в насадженнях, які ростуть на південних схилах Кримських гір

Рік	Причина, яка викликала депресію приросту
1850, 1853, 1855, 1870, 1875, 1882, 1887, 1900, 1902, 1911, 1916, 1921, 1937, 1942, 1952, 1954	Причини депресії радіального приросту сосни невідомі внаслідок відсутності метеорологічних даних
1971	За квітень-серпень випало на 41 % менше опадів у порівнянні з середніми значеннями.
1972	Температури протягом вегетаційного періоду вищі протягом квітня-червня – на 12 %, квітня-серпня – на 9 %.
1976	Зимові температури вищі від середніх на 34 %, а ранньовесняні (березень) – на 9 %.
1994	На 42 % менше випало опадів протягом квітня-червня
2003	На 46 % випало менше опадів протягом квітня-червня, до того ж зимові та ранньовесняні (березневі) температури були на 50 % нижчі середніх
2007	На 56 % випало менше опадів за квітень-червень у порівнянні із середніми значеннями

Отже, за останні 22 роки в порівнянні з попереднім періодом стало тепліше пізньою весною за влітку, проте зими та рання весна стали холоднішими. Кількість опадів незначно зменшилася загалом за рік, зокрема за вегетаційний період – на понад 18 %. Показник відносної вологості також зменшився найбільшою мірою за вегетаційний період.

4.3.2. Кліматичний сигнал в індексних деревно-кільцевих хронологіях. Внаслідок стандартизації деревно-кільцевих хронологій за програмою ARSTAN вилучено віковий тренд і створено індексні

деревно–кільцеві хронології, що дало змогу проводити кореляційний аналіз і зіставляти отримані індексні ряди. Динаміка радіального приросту дерев у насадженнях біля Гурзуфу та Алупки була синхронною до 1943 року, після чого відбулося зрідження насаджень унаслідок партизанських боїв, як зазначено вище. Величини річних кілець для дерев у насадженні, яке росте біля м. Гурзуф, збільшилися внаслідок отримання деревами, які залишилися, більшої площі поживних речовин і світла. Цей процес тривав до 1975 року, після чого визначено зниження тренду радіального приросту, що триває донині. Насадження, яке росте біля Алушти, мало високі значення радіального приросту у 1970–1993 рр., після чого тренд індексів радіального приросту почав зменшуватися. Це процес триває донині (рис. 4.23).

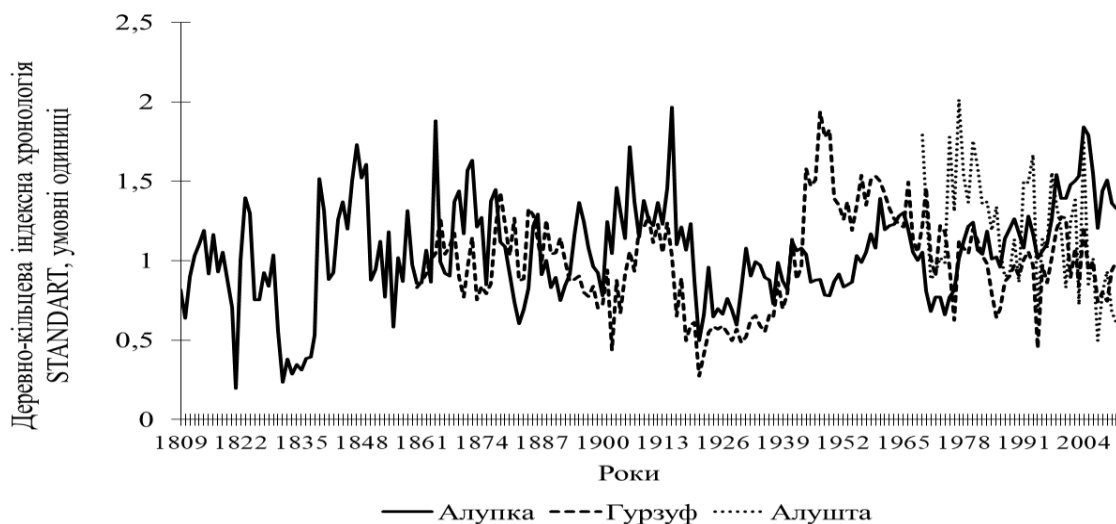


Рис. 4.23 Динаміка індексів радіального приросту сосни кримської в насадженнях південного узбережжя Криму

Кореляційний аналіз між індексами радіального приросту STANDART і кліматичними показниками, проведений для двох періодів: 1969–1989 та 1990–2011 рр., виявив, що у 1969–1989 рр. на радіальний приріст дерев у 150-річному насадженні, яке росте біля м. Гурзуф, суттєво впливали зимові температури (виявлено середні позитивні зв'язки).

Після зменшення зимових температур у наступні 1990–2011 рр. на 0,6 С (11,9 %) суттєві зворотні середні зв'язки між індексною хронологією STANDART та зимовими температурами виявлені лише для молодого насадження, яке росте біля м. Алушта. Тобто позитивний вплив зимових температур на формування радіального приросту сосни кримської перетворюється на негативний (табл. 4.19).

Таблиця 4.19

**Кореляційні зв'язки між деревно-індексною хронологією
STANDART та температурами**

Міся- ці	III	рік	III–IX	IV– VIII	Зима	III	рік	III–IX	IV– VIII	Зима
Роки	1969–1989 pp.					1990–2011 pp.				
Гур- зуф	0,36	0,33	–0,19	–0,43	0,65**	0,03	–0,09	–0,15	– 0,07	0,05
Алуп- ка	– 0,07	–0,02	0,03	3,00	–0,02	0,05	0,21	0,27	0,27	0,08
Алуш- та	0,03	0,17	0,03	–0,07	0,31	0,05	–0,65***	–0,54**	– 0,56 **	–0,24

Якщо у 1969–1989 pp. не було виявлено суттєвих кореляцій між індексами радіального приросту та показниками опадів, то в наступний період (1990–2011 pp.) зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду суттєво вплинуло на приріст. Виявлено середні позитивні кореляційні зв'язки для всіх деревостанів (табл. 4.20).

Таблиця 4.20

**Кореляційні зв'язки між деревно-індексною хронологією
STANDART та опадами**

Місяці	рік	IV– VIII	IV– VI	зи- ма	рік	IV–VIII	IV–VI	зима
Роки	1969–1989 pp.				1990–2011 pp.			
Гурзуф	– 0,33	–0,40	–0,28	0,01	0,30	–0,03	–0,06	0,45*
Алупка	0,44	0,28	0,20	0,09	0,20	0,41	0,45*	0,26
Алушта	0,11	0,07	0,30	0,21	0,30	0,77***	0,62**	–0,22

Примітка. 1)*** – тіснота зв'язку достовірна на 99 % рівні значущості; 2) ** – тіснота зв'язку достовірна на 95% рівні значущості; * – тіснота зв'язку достовірна на 95% рівні значущості.

Попередніми дослідженнями виявлено, що в лісостеповій зоні потепління та збільшення кількості опадів почали прискорюватися протягом 1989–2008 pp. Особливо швидко підвищувалися температури протягом холодного періоду, що призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни внаслідок порушення зимового спокою дерев у 1999–2008 pp. Водночас опади меншою мірою почали обмежувати формування річних кілець сосни [100]. В Криму, на відміну від Лісостепу, на тлі річного збільшення тренду температур відбулося похолодання взимку і збільшилася кількість опадів протягом вегетаційного періоду. Тобто в субтропічному поясі, на

відміну від південної частини помірного (Лісостеп), відбувається поступове зменшення кількості опадів, а загалом на тлі деякого збільшення температури зменшується температура взимку.

Виявлено позитивні середні зв'язки між відносною вологістю та індексами радіального приросту понад 100-річних деревостанів за рік і вегетаційний період у 1969–1989 рр., а у наступні 1990–2011 рр. таких зв'язків не знайдено (табл. 4.21).

Таблиця 4.21

**Кореляційні зв'язки між деревно-індексною хронологією
STANDART та відносною вологістю**

Таблиця 1. Дані за відносною вологістю										
Місце виро- стання	Період, місяці	IV–VIII	IV–VI	III	зима	рік	IV–VIII	IV–VI	III	зима
		1969–1989 рр.					1990–2011 рр.			
Гурзуф	–0,07	0,21	0,16	1,00	0,31	0,22	0,32	0,22	–0,10	–0,11
Алупка	0,57**	0,62***	0,43	0,32	0,06	–0,33	–0,10	–0,23	–0,11	0,25
Алушта	–0,02	0,23	0,27	0,14	–0,23	0,17	0,37	0,17	0,17	–0,32

Примітка: * – рівень значущості 0,05; ** – рівень рівень значущості 0,01; *** – рівень значущості 0,001.

Отже, визначено реперні роки мінімального приросту: 1850, 1853, 1855, 1870, 1875, 1882, 1887, 1900, 1902, 1911, 1916, 1921, 1937, 1942, 1952, 1954; 1971, 1972, 1976, 1994, 2003, 2007, які обумовлені переважно посухами протягом вегетаційного періоду та надзвичайно теплими і холодними зимами. У 1990–2011 рр. в порівнянні з попередніми 1969–1989 рр. відбулося збільшення температур за рік на 0,3°C (2,3 %), за квітень-червень – на 0,23 °C (1,5 %), за квітень-серпень – на 0,7 °C (3,6 %), водночас зими стали холоднішими (зимові температури зменшилися на 0,6°C (11,9 %) та рано навесні (в березні) температури знизилися на 0,3 °C (5,4 %).

Кількість опадів за 1990–2011 рр. в порівнянні з 1969–1989 рр. зменшилася на 8 мм (1 %) за рік, за квітень-серпень – на 43 мм (18,5 %), за квітень-червень – на 24 мм (18,3 %). Відносна вологість за 1990–2011 рр. в порівнянні з періодом 1969–1989 рр. зменшилася за рік на 0,7 відносної одиниці (1,0 %), за квітень-серпень – на 3,5 (5,3 %), за квітень-червень – на 3,9 (5,7 %), за березень – на 1,1 (1,5 %).

Кореляційний аналіз між індексами радіального приросту STANDART і кліматичними показниками, проведений для двох періодів, виявив, що у 1969–1989 рр. на радіальний приріст дерев у

150-річному насадженні, яке росте біля Гурзуфу, суттєво впливали зимові температури. Після зменшення зимових температур у наступні 1990–2011 рр. суттєві зворотні середні зв'язки між індексною хронологією STANDART і зимовими температурами виявлені лише для молодого насадження, яке росте біля Алушти. Тобто позитивний вплив зимових температур на формування радіального приросту сосни кримської поступово перетворюється на негативний.

Якщо у 1969–1989 рр. не було виявлено суттєвих кореляцій між індексами радіального приросту та показниками опадів, то в наступний період (1990–2011 рр.) зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду суттєво вплинуло на приріст (виявлено середні додатні кореляційні зв'язки для всіх деревостанів).

Виявлено додатні середні зв'язки між відносною вологістю та індексами радіального приросту понад 100-річних деревостанів за рік та вегетаційний період у 1969–1989 рр., а у наступні 1990–2011 рр. таких зв'язків не знайдено.

4.3.3. Реакція ранньої та пізньої деревини сосни кримської на зміну клімату. Дослідження ранньої та пізньої деревини окремо дає можливість розкрити більше деталей про взаємозв'язок між кліматом і радіальним приростом дерев.

Завданнями цього дослідження було вивчення взаємозв'язку між кліматом, з одного боку, та пізньої та ранньої деревини сосни кримської, з іншого, й оцінювання тенденцій приросту у кліматичних умовах субтропічної частини півострова Крим.

Радіальний приріст сосни кримської досліджували в сосновому 110-річному деревостані Гурзуфського лісництва Ялтинського гірського природного заповідника.

Для виявлення взаємозв'язків між кліматом і приростом використовували дані Ялтинської метеостанції (1973–1990 рр.) та метеостанції Нікітського ботанічного саду (1991–2011 рр.).

Статистичний аналіз даних за програмою COFESHA виявив високі міжрядові коефіцієнти кореляції (від 0,434 до 0,505) і високу чутливість рядів (0,284–0,448), що дає змогу проводити дендрокліматичний аналіз (табл. 4.22).

Вивченням впливу кліматичних чинників (тобто середньомісячної температури та загальної кількості опадів) на радіальний приріст (ширина ранньої деревини, ширина пізньої деревини та загальна ширина кільця) у деревостані дуба звичайного на північному сході Угорщини визначено найслабші зв'язки та відсутність статистично

значущої залежності від щомісячних опадів і температури для ширини ранньої деревини, однак ширина пізньої деревини виявила найсильніший кліматичний сигнал у деревно-кільцевій хронології [294].

Таблиця 4.22

Описова статистика для серій пізньої, ранньої деревини та загальної ширини кільця сосни кримської в деревостані на південному схилі Кримських гір для 1860–2011 рр.

Показники	m , мм	$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x
Пізня деревина, мм	0,49	0,511	0,347	0,667	0,448
Рання деревина, мм	0,75	0,434	0,459	0,703	0,284
Річне кільце, мм	1,23	0,505	0,730	0,752	0,285

Стандартне відхилення та автокореляція першого порядку мають мінімальні значення для пізньої деревини. Найвищий показник чутливості вказує на те, що пізня деревина має найвищу чутливість до змін довкілля. Роки мінімального приросту: 1902, 1921, 1942, 1976 і 1994 рр. характеризувалися несприятливими для сосни погодними умовами. Після цих років відбувся сплеск радіального росту сосни. Ймовірно, що загибель невеликих дерев у деревостані стала причиною покращення освітленості та живлення коріння живих дерев. Швидке збільшення приросту всіх шарів деревини кримської сосни було результатом цього впливу в 1903–1912 та 1922–1969 рр. Періоди тенденції швидкого зменшення радіального приросту: 1860–1902, 1913–1921, з 1970 – донині. Особливо швидко радіальний ріст дерев зменшувався протягом 2000–2011 рр. (рис. 4.24).

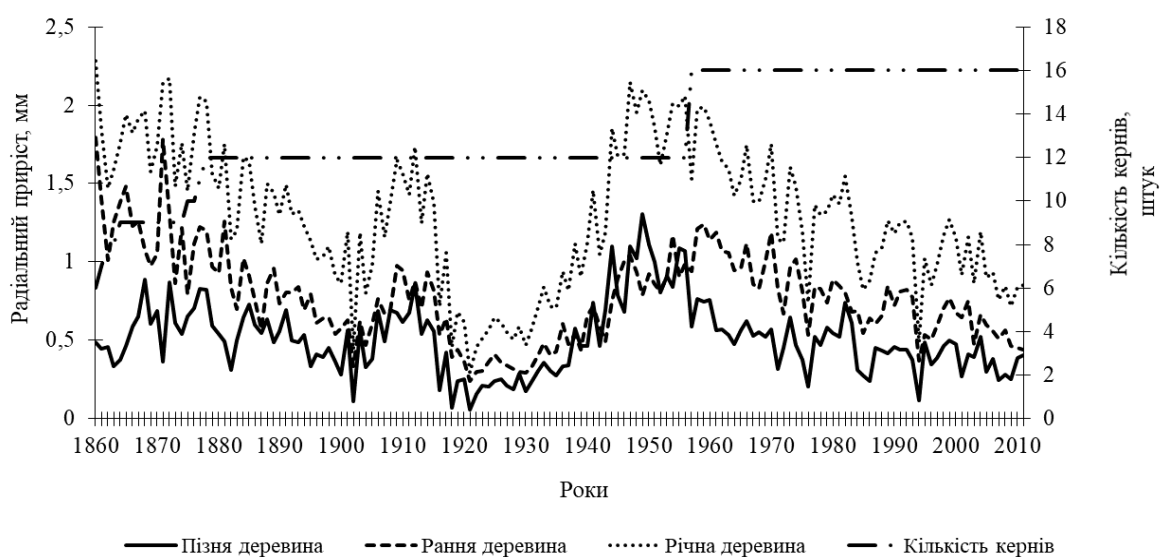


Рис. 4.24. Динаміка пізньої, ранньої деревини та річної деревини сосни кримської на південному схилі Кримських гір

Порівняння метеорологічних даних за 1973–1992 та 1993–2011 рр. виявило таку тенденцію: у 1993–2011 рр. у порівнянні з попередніми 1973–1992 рр. середньорічна температура збільшилася на 0,3 °С (2,5 %), за квітень–серпень на 0,8 °С (4,3 %). Водночас зими стали холоднішими (температура взимку знизилася на 0,4 °С (7,8 %), а рано навесні (березень) – на 0,2 °С (4,1 %). Річна кількість опадів за 1992–2011 рр. у порівнянні з попереднім періодом (1973–1992 рр.) зросла на 19 мм (1,3 %), опадів за квітень–серпень – зменшилася на 46 мм (20 %), а опадів за холодний період (з попереднього листопада до березня) – збільшився на 43 мм (14 %).

Проведено кореляційний аналіз між індексними деревно-кільцевими хронологіями ранньої, пізньої та річної деревини та кліматичними чинниками. Додатні значущі кореляційні зв'язки виявлені між індексними серіями ранньої деревини та опадами за першу частину періоду (1973–1992 рр.). За другу частину періоду (1993–2011 рр.) майже всі кореляційні зв'язки втратили значущість. Помітне зменшення опадів протягом вегетаційного періоду 1993–2011 рр. негативно вплинуло на формування ранньої деревини. Виявлено значущу позитивну кореляцію між зимовою температурою та індексною деревно-кільцевою хронологією пізньої деревини й річного деревини за 1973–1992 рр., тоді як для наступних 1993–2011 рр. значущих кореляцій не виявлено. Це пов'язано зі зниженням зимової температури упродовж другого періоду. (табл. 4.23).

Відносна вологість повітря відображає співвідношення температури та опадів. Визначені значущі позитивні кореляційні зв'язки між відносною вологістю повітря протягом року, різними частинами періоду вегетації та показниками пізньої деревини та річними кільцями приросту за 1993–2011 рр. Одержані дані свідчать про збільшення негативного впливу температури та опадів на формування річного кільця та пізньої деревини.

Виявлено значущу кореляцію між річними індексами кільця дерев та кількістю опадів протягом періоду вегетації другої частини періоду, а 1994, 2003, 2005 та 2007 – роки мінімального радіального приросту характеризуються мінімальними опадами за квітень–серпень, які зменшилися на 37–56 % у порівнянні із середнім показником. За ці роки радіальний приріст сосни кримської зменшився на 30–62 % у порівнянні з нормою.

Таблиця 4.23

**Кореляції між рядами шарів ранньої, пізньої, та річної деревини
річної деревини *Pinus nigra* ssp. *pallasiana* і кліматичними
факторами для насадження на південному схилі Кримських гір**

Показник	S ⁺		R ⁺⁺		A ⁺⁺⁺	
Рання деревина						
Кліматичні чинники	1973– 1992	1993– 2011	1973– 1992	1993– 2011	1973– 1992	1993– 2011
Річна кількість опадів, мм	0,48*	–0,12	0,40	0,29	0,47*	0,01
Опади березня-жовтня, мм	0,63**	0,29	0,48*	0,45	0,65**	0,26
Пізня деревина						
Середні температури зими, °С	0,50*	–0,02	0,30	–0,03	0,48*	–0,01
Середня річна відносна вологість, %	–0,09	0,45	0,10	0,68**	–0,07	0,41
Середня відносна вологість за IV–VIII місяці	0,32	0,52	0,50	0,64**	0,38	0,47*
Річний приріст						
Середня температура зими, °С	0,45*	0,02	0,33	0,12	0,45*	0,04
Опади квітня–серпня, мм	0,32	0,37	–0,09	0,54*	0,29	0,36
Середня відносна вологість, %	–0,07	0,23	0,22	0,51*	–0,05	0,19
Середня відносна вологість за квітень– серпень, %	0,27	0,34	0,55*	0,57**	0,37	0,30

Примітка. S⁺ – STANDARD індексна деревно–кільцева хронологія; R⁺⁺ – RESIDUAL індексна деревно–кільцева хронологія; A⁺⁺⁺ – ARSTAN індексна деревно–кільцева хронологія; * Значущість коефіцієнтів кореляції на 0.05 рівні; ** Значущість коефіцієнтів кореляції 0,01 рівні.

Підвищення температури та зменшення кількості опадів є основним викликом у майбутньому для стійкого управління екосистемами в Румунії [364]. Щоб зрозуміти реакцію екосистеми на зміни навколишнього середовища, дослідили деревно–кільцеву хронологію *Pinus nigra* var. тривалістю 396 років (1615–2010 pp.), яка чутлива до посухи. Ці дерева ростуть на крутих схилах в умовах континентального клімату із субсередземноморським впливом. Якість і просторова сила кліматичного сигналу свідчать, що хронологія RESIDUAL найкраще корелює з липневими опадами в регіоні, що охоплює

південно-західну частину Румунії, північно-західну частину Болгарії та східну частину Сербії, які межують із місцем відбору проб. Дещо меншу просторову кореляцію визначено на значній частині Балканського півострова. Липневі опади визначено як найважливіший фактор, що впливає на ріст *Pinus nigra* на досліджуваній ділянці ($r=0,54$, $p < 0,01$). Кореляційний аналіз за період з попереднього до поточного вересня виявив, що липень є найважливішим для формування кільця дерев. У зв'язку із дефіцитом опадів, їхній рівень вище від середнього у липні суттєво впливає на ширину річного кільця.

Порівняння реакції всіх кільцевих хронологій дерев *Pinus hamata* та *Pinus nigra* на мінливість клімату свідчить, що формування деревних кілець суттєво обмежується посухою протягом періоду росту, особливо у квітні – липні. Для хронологій із середземноморського клімату характерні додатні кореляції навесні та початку літа, що доводить важливість забезпечення дерев вологою в цей період активного росту [290].

Отже, субтропічний клімат південної частини Кримського півострова характеризується зменшенням кількості опадів і потеплінням протягом вегетаційного періоду, зниженням температури зими за 1973–1992 рр., а також підвищенням середньорічної температури. Холодні зими, низька температура рано навесні та посухи у вегетаційні періоди обмежують радіальний приріст сосни кримської. Дослідження зв'язку між радіальним приростом дерев і кліматичними факторами за 1973–1992 та 1993–2011 рр. свідчать, що теплі зими позитивно впливають на шари пізньої та річної деревини сосни кримської у 1973–1992 рр. Після 1993–2011 рр. зими стали холоднішими, і позитивний вплив на радіальний приріст було втрачено. Підвищення температури та зменшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду негативно вплинули на формування ранньої, пізньої та річної деревини в 1993–2011 рр. Підвищення ролі відносної вологості повітря у формуванні пізньої та річної деревини суттєво вплинуло на приріст у 1993–2011 рр. Пізня деревина має найвищу чутливість до змін навколишнього середовища.

4.4. Динаміка радіального приросту дуба звичайного в умовах зміни клімату в Поліссі

Дуб звичайний є однією з головних лісоутворювальних порід України. Лісові екосистеми з участю дуба виконують багатогранні

екологічні функції і задовольняють потреби народного господарства у цінній деревині [127, 286]. Для виявлення особливостей адаптації дуба звичайного до зміни клімату важливим є оцінювання динаміки ширини річних кілець, які є інтегральним показником впливу чинників довкілля на стан дерев [286]. Припущення про те, що найбільш загальними причинами погіршення стану лісів та їхнього масового всихання є кліматичні зміни глобального характеру та антропогенні чинники, є майже безальтернативною гіпотезою, у зв'язку з чим актуальним є виявлення причин погіршення стану насаджень.

4.4.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного в Поліссі. Дослідження проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях віком від 50 до 155 років, повнота яких становить у межах від 0,4 до 0,6, діаметр дерев 26–48 см, висота – від 11 до 28 м. Насадження ростуть в умовах свіжого, сирого та мокрого сугруду. Створена регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного для Полісся, що складається із 62 індивідуальних деревно-кільцевих серій і базується на чотирьох локальних деревно-кільцевих хронологіях, які містять 5119 шарів річної деревини. На основі цих локальних серій побудовано індексну регіональну серію RESIDUAL довжиною 140 років (рис. 4.25).

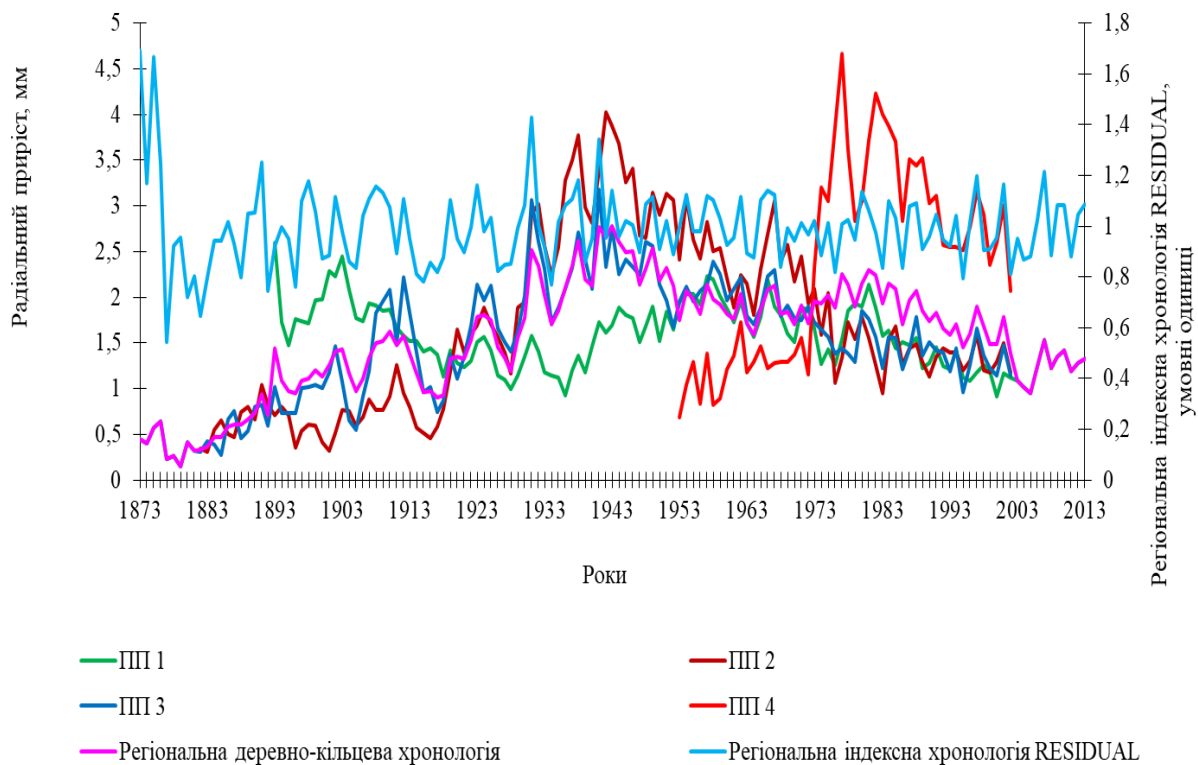


Рис. 4.25. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та регіональної індексної хронології RESIDUAL в насадженнях Полісся

Межсерійні коефіцієнти кореляції становлять 0,360–0,538, що свідчить про високу синхронність і можливість використання одержаних деревно-кільцевих хронологій для подальшого дендрокліматичного аналізу. Високі значення автокореляції першого порядку (0,716–0,832) свідчать про високу залежність ширини річного кільця поточного року від річного кільця попереднього року. Коефіцієнт EPS, обчислений для регіональної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL, становить 0,98 (табл. 4.24).

Таблиця 4.24

Статистична характеристика локальних і регіональної серій деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного у Поліссі за програмами COFESHA та ARSTAN

№ ПП	Період, рр.	m, мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x	M	MS_x	$S_{td.dev}$
1	1890–2013	1,45	0,360	0,600	0,716	0,212	1,000	0,137	0,121
2	1897–2002	1,97	0,538	1,119	0,832	0,252	0,988	0,210	0,185
3	1873–2002	1,77	0,528	0,770	0,758	0,239	0,980	0,226	0,212
4	1953–2002	2,76	0,522	1,233	0,721	0,236	0,984	0,173	0,173
Р.д. - к.с.	1870–2013	1,86	0,400	0,872	0,764	0,235	0,990	0,152	0,158

Це також підтверджує можливість проведення дендрокліматичного аналізу, тому що його значення перевищує поріг 0,85 і свідчить про надійність хронології, тобто є показником збігу дисперсії хронології вибірки з теоретичною хронологією генеральної сукупності [397]. Оскільки коефіцієнти чутливості перевищують 0,2, цю деревну кільцеву хронологію можливо використовувати в дендрокліматичному аналізі.

Використання названих чинників для визначення надійності дендрохронологічних серій доведено низкою досліджень [272, 397]. Найбільш стійким до впливу факторів довкілля виявилось насадження, в умовах С₂ (ПП 1), а найменш стійким – в умовах С_{4–5} (ПП 2). Про це свідчать стандартне відхилення та середня чутливість деревно-кільцевих хронологій, значення яких є найменшими для ПП 1 і найбільшими для ПП 2.

Отже, створена для Полісся регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного придатна для подальшого дендрокліматичного аналізу, оскільки характеризується високими значеннями межсерійного коефіцієнта кореляції, коефіцієнта EPS, який перевищує поріг 0,85 і середньої чутливості.

4.4.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного в Поліссі. Визначено 16 реперних років за період 1873–2014 рр. у регіональній хронології RESIDUAL: 16 негативних – мінімуми радіального приросту та 7 позитивних – максимуми (табл. 4.25). Це становить близько 11 % від загальної кількості проаналізованих років.

Таблиця 4.25

Негативні реперні роки регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного в Поліссі

Рік мінімального приросту	Причини депресії радіального приросту
1877, 1926	Причини депресії радіального приросту невідомі внаслідок відсутності метеорологічних даних
1950	Радіальний приріст обмежували опади за березень-червень (сума опадів становила 90 мм, тобто була на 57 % менше норми, яка становила 207 мм).
1976	Холодна зима (середні зимові температури —5,9°C за норми —3,9 °C, тобто температури були нижчими від норми на 52 %). У березні температура 1976 р. була нижче від норми майже вчетверо (– 1,2 °C та 0,33 °C відповідно). Крім того червень відзначився суворими посухами: температури були на 41 % вищі від норми (25 °C та 17,1 °C відповідно). Дефіцит опадів відмічено у травні–липні, коли їх випало на 40 % менше норми (суми упродовж цих місяців становили у 1976 році 132,8 мм за норми 221 мм).
1995	Тепла зима, упродовж якої температури були майже вдвічі вищими від норми (середні зимові температури –3,9°C, а норма –1,6 °C). Березневі температури були вищими від норми у вісім разів (2,6 °C і 0,33 °C відповідно). У літні місяці випало опадів на 40 % нижче від норми (145 та 242 мм відповідно).
1999	Надзвичайно теплі січень–лютий, коли температура була на 55 % вище від норми (–2,05 °C та –4,6 °C відповідно). Березневі температури перевищували норму у вісім разів (2,8 та 0,33 °C відповідно). Упродовж травня-липня випало на 37 % опадів нижче від норми (136 мм при нормі 221 мм).

Рік мінімального приросту	Причини депресії радіального приросту
2002	Надзвичайно тепла зима, коли температури були на 37 % вищі від норми (–2,5 °C та –3,9 °C відповідно). Дефіцит опадів у січні, березні, травні та липні становив у межах 40–53 %, тобто суми опадів становили 19,6 та 32,7; 17,3 та 32,7; 28,3 та 56,6; 4,4 та 86,8 мм відповідно. Березневі температури були вищими від норми у 12 разів (4,2 та 0,33 °C відповідно). 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.
2008	Тепла зима, коли температури перевищили норму на 78 % (0,8 °C та –3,9 °C відповідно). Березневі температури були вищими від норми майже у 4 рази (1,2 та 0,33 °C відповідно). Дефіцит опадів: упродовж червня–серпня випало 95,4 мм при нормі 242 мм, тобто на 78 % менше норми.
2011	Березневі температури були вищими від норми у 13 разів (4,3 та 0,33 °C відповідно). Дефіцит опадів: упродовж січня, березня, травня, серпня, коли відхилення від норми становили від 33 до 71 % (19,2 та 32,7 мм; 9,5 та 32,7 мм; 32,2 та 56,7 мм; 51,6 та 77,7 мм відповідно).

Реперні роки мінімального приросту (1950, 1976, 1995, 1999, 2002, 2008, 2011) обумовлені переважно дефіцитом опадів упродовж вегетаційного періоду, коли їхні відхилення від норми становили від 33 до 77 %. У 1976 році дефіцит опадів, холодна зима та ранні весняні температури спричинили депресію радіального приросту, коли відхилення від норми зимових температур становили 52 %, а березневі температури були нижче норми майже у чотири рази. У 1976, 1995, 1999 рр. упродовж вегетаційного періоду температури перевищували норму в окремі місяці на 37–56 %. У зв'язку з підвищенням температур упродовж зимового періоду мінімуми радіального приросту визначали у 1995, 1999, 2002 та 2008 рр. (відхилення від норми сягали 37–78 %). У березні 1995, 1999, 2002, 2008 та 2011 рр., коли починається процес ксилогенезу дуба, температури підвищилися у 4–12 разів у порівнянні з нормою (норма становила 0,33°C, а березневі температури – від 1,2

до 4,3 °C), що могло перевищити оптимальний поріг для радіального приросту дерев.

Отже, реперні роки мінімального приросту (1950, 1976, 1995, 1999, 2002, 2008, 2011 рр.) обумовлені переважно дефіцитом опадів упродовж вегетаційного сезону, холодними або надзвичайно теплими зимами та аномальними ранніми весняними температурами.

Сприятливе для росту дерев співвідношення тепла та вологи виявлено упродовж реперних позитивних років: 1875, 1902, 1906, 1912, 1967, 1997, 2001 та 2007 рр. У 1967 році сума опадів за березень–травень перевищила норму на 30 % (194,1 та 129,8 мм відповідно). У 1997, 2001 та 2007 рр. сума опадів за березень–вересень перевищила норму майже вдвічі (564,6; 574,1 і 548,5 мм за норми 120,7 мм. При цьому відхилення температур від норми були незначними.

Придатність реперних років для визначення екстремальних кліматичних подій продемонстровано низкою досліджень [272, 298, 341, 351, 367, 373]. Кліматичні інтерпретації, такі як сильні зимові морози, суворі літні посухи або надмірно холодні весни, можуть пояснити більшість негативних реперних років [272, 299]. І навпаки, найбільш позитивні реакції приросту спричинені локальним поєднанням сприятливих екологічних факторів [367].

Таким чином, реперні роки мінімального приросту (1950, 1976, 1995, 1999, 2002, 2008, 2011 рр.) обумовлені дефіцитом опадів упродовж вегетаційного сезону, холодними або надзвичайно теплими зимами та високими чи низькими (що перевищують оптимум для росту дерев) ранніми весняними температурами. Реперні роки максимального приросту характеризуються сприятливим співвідношенням тепла та вологи (1875, 1902, 1906, 1912, 1967, 1997, 2001 та 2007 рр.).

Аналіз функції відгуку. Загальновизнано, що реакція росту річних кілець дерев на клімат постійна протягом часу, охоплюючи всю тривалість життя дерев [269]. Однак припущення, що взаємозв'язок між радіальним приростом дерев і кліматичними чинниками є стабільним у часі, є сумнівним, враховуючи природу формування шарів річної деревини й можливість того, що клімат та інші фактори природного середовища можуть змінюватися з часом [368, 395].

Реакцію радіального приросту дуба на варіації клімату порівнювали за два періоди: 1946–1979 та 1980–2013 рр. (рис. 4.26).

Середньорічна температура першого періоду становила 6,9 °C, другого – 7,7 °C, тобто відбулося підвищення температури на 11 %.

Для першого періоду середня сума опадів за рік становила 582 мм, для другого – 629 мм (різниця становила 8 %).

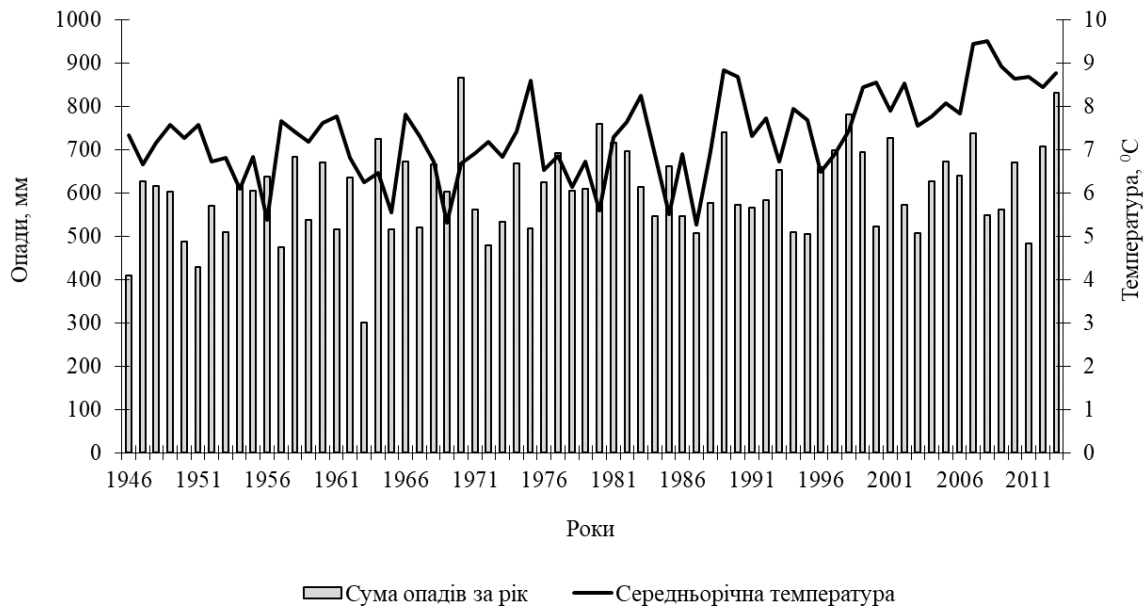
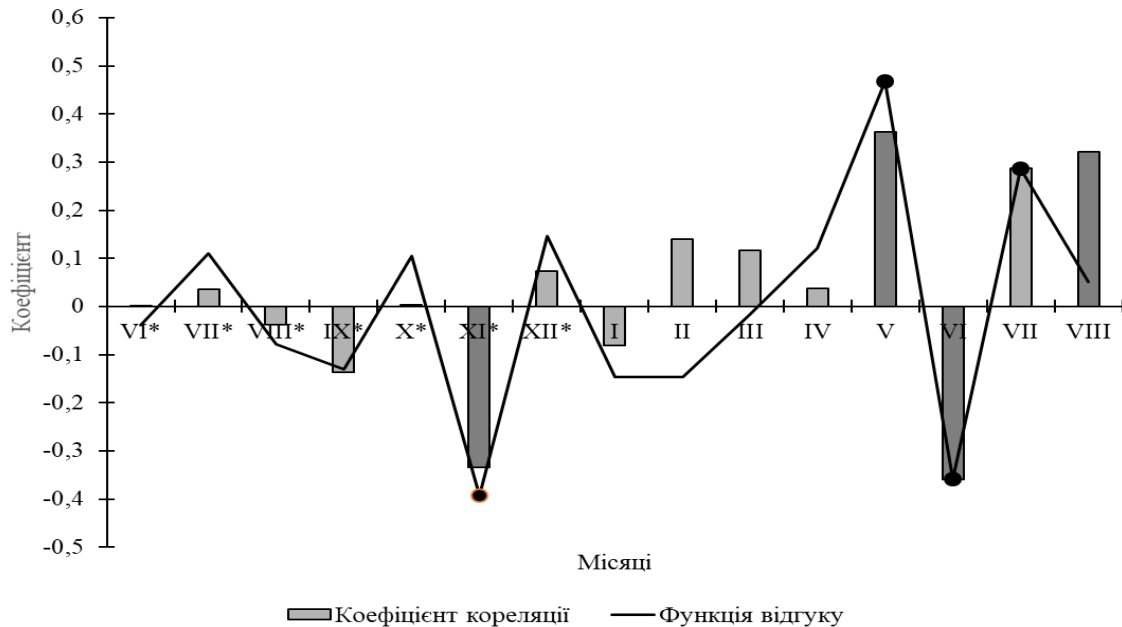


Рис. 4.26. Динаміка температури та опадів за даними метеостанції Житомир

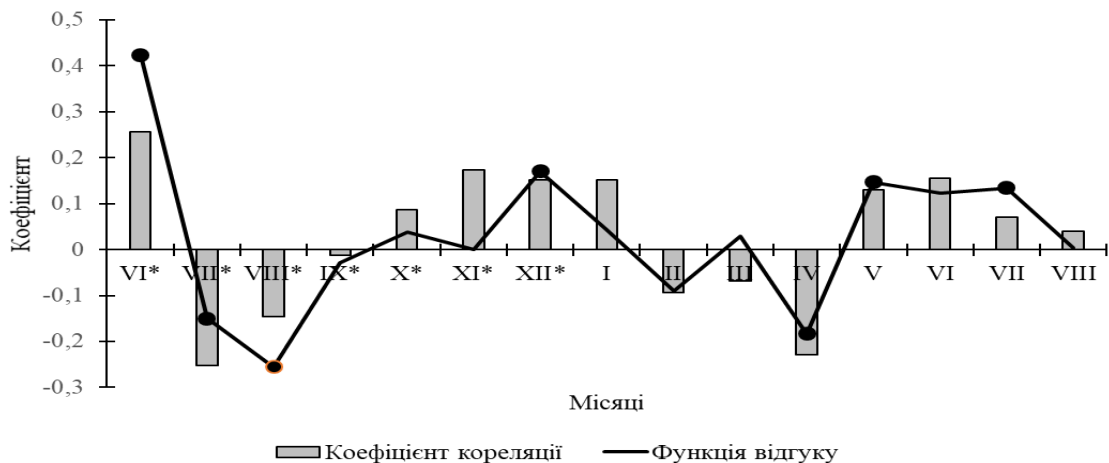
Аналіз функції відгуку проведено для періодів 1946–1979 та 1980–2013 рр. Для першого періоду множинний коефіцієнт кореляції (R) для температур, опадів та індексів радіального приросту RESIDUAL становить 0,81 ($F=3,728$, $\alpha=0,004$). Температури та опади пояснюють варіабельність радіального приросту на 65,09 %. Для другого періоду обчислено вищий множинний коефіцієнт кореляції – 0,91 ($F=7,568$, $\alpha=0,00004$). Варіабельність радіального приросту дуба залежить на 83,10 % від температур та опадів. Тобто у другому періоді підвищилася залежність радіального приросту від кліматичних чинників. Аналіз функції відгуку під час порівняння реакції радіального приросту дуба для 1946–1979 та 1980–2013 рр. виявив, що упродовж вегетаційного періоду виявлено зменшення позитивного впливу температур у другому періоді (рис. 4.27).

Так значущий позитивний вплив температур зафіксовано для першого періоду у травні, липні та серпні, тоді як для другого періоду позитивний вплив виявлено лише для травня та липня. Негативний вплив температур на приріст зафіксовано у першому періоді у червні, а у другому періоді на два місяці раніше – у квітні. У другому періоді підвищилася залежність радіального приросту від опадів. Посилився

вплив опадів попереднього року на приріст у другому періоді у порівнянні з першим: зафіксовано негативний вплив на приріст у червні та листопаді та позитивний у липні та вересні, тоді як для першого періоду виявлено лише негативний значущий вплив опадів у листопаді для попереднього року.



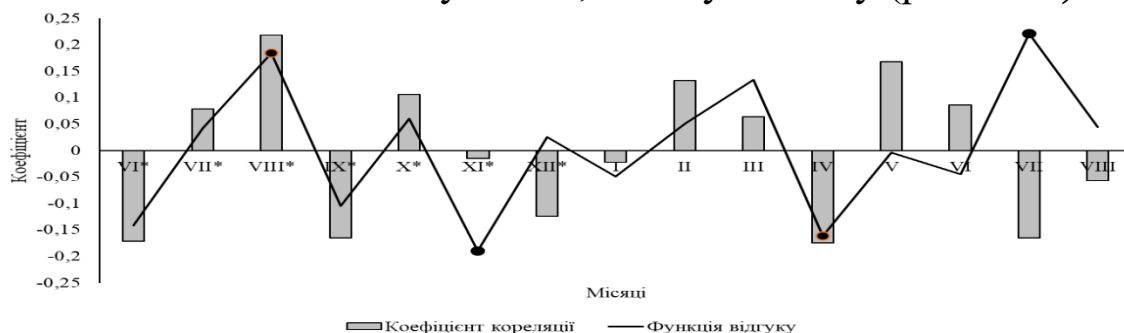
А) 1946–1979 рр.



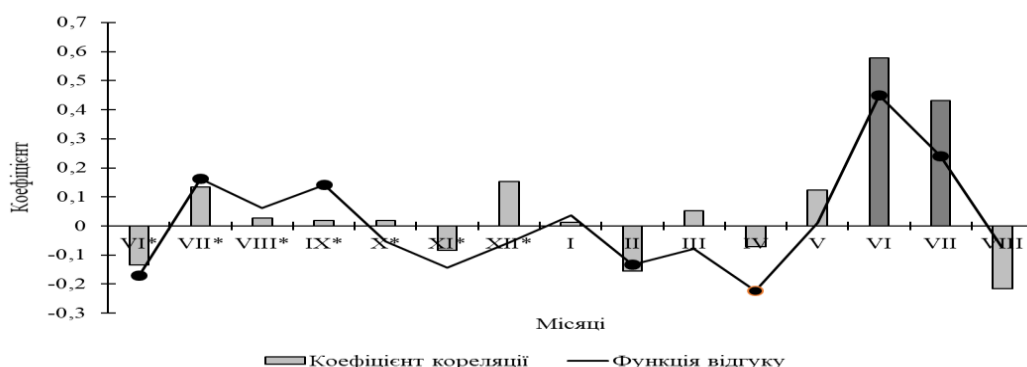
Б) 1980–2013 рр.

Рис. 4.27. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Полісся: А) 1946–1979 рр.; Б) 1980–2013 рр. (темно-сірі стовпчики – значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (*) – місяці попереднього року).

Навесні квітневі опади негативно вплинули на радіальний приріст у першому періоді, тоді як у другому періоді зафіксовано негативний вплив не тільки у квітні, але й у лютому (рис. 4.28).



А)



Б)

Рис. 4.28. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між кількістю опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Полісся: А) 1946–1979 рр.; Б) 1980–2013 рр. (темно-сірі стовпчики – значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (*) – місяці попереднього року).

Позитивний вплив температур виявлено у другому періоді для червня та липня, а для першого – лише для липня.

Угорськими дослідниками виявлено сильну реакцію дубів на опади протягом вегетаційного періоду, а також від’ємні кореляції з температурою пізньої весни, які з’явилися з початку 1960-х років, як і у цьому дослідженні [230].

Отже, дендрокліматичний аналіз регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного для Полісся свідчить, що упродовж весняно-літнього періоду 1980–2013 рр. зменшився позитивний вплив температур на радіальний приріст у порівнянні з першим періодом, а також посилювався вплив температур попереднього року на приріст у

цьому періоді у порівнянні з попереднім. У другому періоді посилюється вплив опадів на радіальний приріст. Виявлено, що негативний значущий вплив опадів упродовж холодного періоду – з листопада попереднього року до березня поточного посилюється у другому періоді.

Виявлено негативний значущий вплив квітневих опадів на приріст для обох періодів, а також позитивний вплив опадів липня у першому періоді та червня-липня у другому періоді. Збільшення значущого впливу температур та опадів на радіальний приріст дуба у другому періоді свідчить про підвищення чутливості приросту дерев до зміни клімату у другому періоді у порівнянні з першим.

4.4.3. Вплив клімату та рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дубу звичайного в насадженнях Полісся. Об'єктом досліджень було дубове насадження, що росте в Пилиповецькому лісництві, квартал 2, виділ 5 (склад: 10ДЗ+СЗ+ОС+ГЗ, вік – 155 років, $H_{\text{сер.}}$ – 28 м, $D_{\text{сер.}}$ – 44 см, повнота – 0,5), яке росте в умовах D_{2-3} на дерново-слабопідзолистих глеюватих ґрунтах на шаруватих водно-льодовикових пісках.

В аналізі використано метеорологічні дані Новоград - Волинської (2003–2014 рр.) та Житомирської метеостанцій (1945–2002 рр.) і показники рівнів ґрунтових вод (2002–2014 рр.) за даними Житомирської гідрогеолого-меліоративної експедиції та Новоград-Волинського міжрайонного управління водного господарства.

Збільшення тренду радіального приросту дуба визначено упродовж 1890–1902 та 1937–1967 рр., а його зменшення – в 1903–1936, 1968–2014 рр. У 2007–2014 рр. відбувається деяка стабілізація радіального приросту дуба. Виявлено роки мінімального приросту дуба: 1895, 1918, 1928, 1936, 1952, 1956, 1961, 1964, 1974, 1976, 1983, 1989, 1996, 2000, 2005, 2008, 2011 рр. Після років із несприятливими кліматичними умовами (1952, 1964, 1976, 2000 та 2005) радіальний приріст дерев різко збільшився, що обумовлено всиханням ослаблених дерев і збільшенням площі живлення дерев, які залишилися. Роки максимального приросту із сприятливим співвідношенням тепла та вологи: 1891, 1902, 1924, 1931, 1944, 1957, 1966, 1971, 1982, 1988, 1994 та 2007 (рис. 4.29). Зіставлення кривих радіального приросту дуба, з одного боку, та кривих динаміки опадів та температур, з іншого, упродовж 1945–2014 рр. дало змогу виявити причини формування вузьких шарів деревини: високі температури за квітень-серпень, теплі, або, навпаки – холодні зими та надзвичайно високі або низькі березневі температури.

Для виявлення зв'язків між кліматом та радіальним приростом дерев було використано метеорологічні дані за 1945–2014 рр.

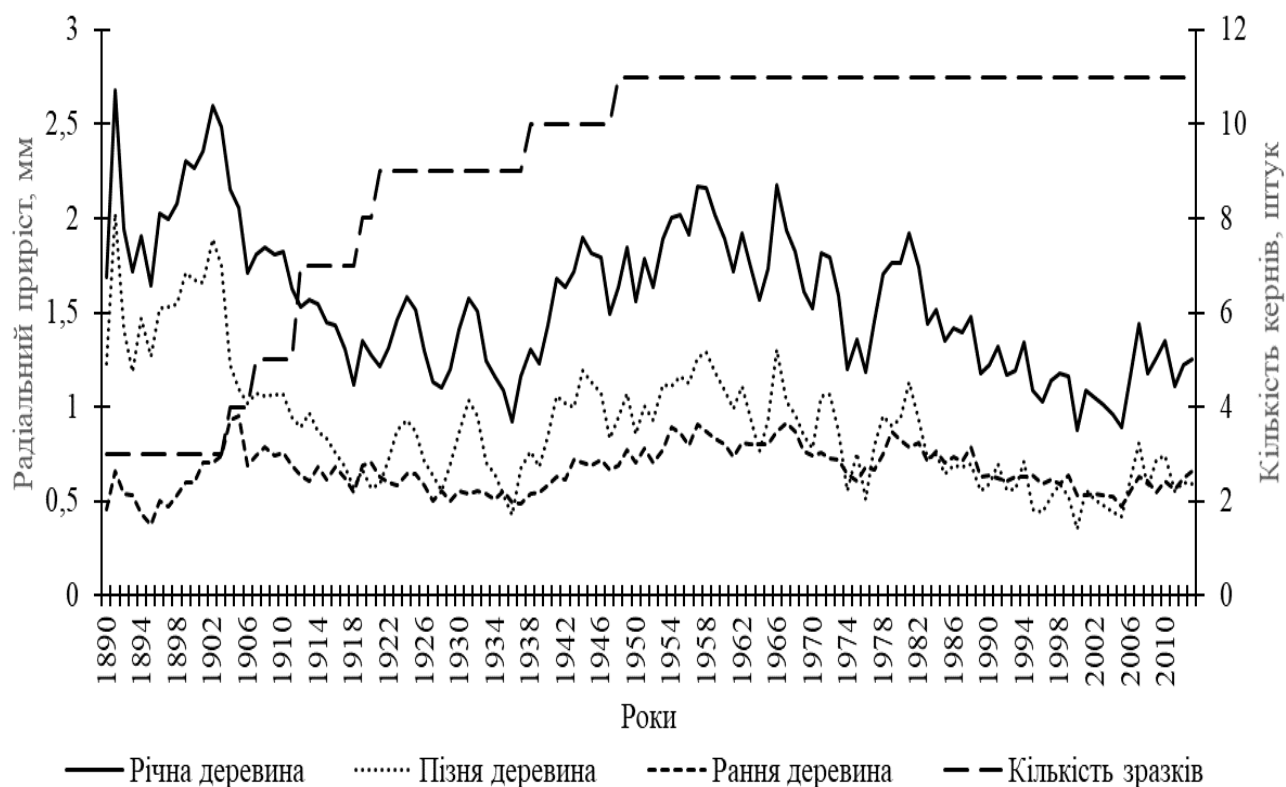


Рис. 4.29. Динаміка радіального приросту дуба звичайного в 155-річному дубовому насадженні, яке росте в Пилиповецькому лісництві (кв. 2, виділ 5) ДП «Новоград-Волинське ЛГ» (ПП 1)

Виявлено, що тренд зменшення кількості опадів (1945–1964 рр.) змінювався протягом чотирьох десятиріч (1965–2004 рр.) на позитивний тренд, який є стійким для останнього десятиріччя (2005–2014 рр.). Незначне збільшення кількості опадів на рік нерівномірно розподілене за різними частинами року: взимку кількість опадів збільшилася на 23 %, а протягом вегетаційного періоду – лише на 4 %. Під час порівняння даних 1945–1954 та 2005–2014 рр. виявлено, що середньорічні температури збільшилися на 1,9 °С, за квітень–серпень – підвищилися на 1,3 °С, зимові – на 1,7 °С, а березневі – на 2,74 °С. Водночас кількість опадів на рік збільшилася на 108 мм, а за період вегетації та взимку – на 55 та 42 мм відповідно.

Упродовж 1995–2014 рр. відбулося збільшення середньої річної температури повітря, температури за квітень–серпень, зимових та березневих температур (табл. 4.26).

Збільшення кількості опадів припало переважно на холодний період Кореляційним аналізом виявлено зв'язки між індексами шарів річної деревини та кліматичними чинниками.

Таблиця 4.26

Відхилення від норми сум опадів і температур від норми (1945–2014 рр.) за різні частини року за десятиліттями, %

Період, роки,	1945–1954	1955–1964	1965–1974	1975–1984	1985–1994	1995–2004	2005–2014
Відхилення суми опадів, %							
рік	–11	–4	+1	+6	–2	+4	+6
IV–VIII	–12	–5	+0,1	+11	+6	–4	+4
зима	–20	–5	+9	+1	–16	+6	+23
Відхилення середньої температури, %							
рік	–6	–6	–8	–4	–2	+5	+20
IV–VIII	+1	–2	–4	+5	–2	+2	+10
зима	–22	–6	–27	+4	+12	+15	+21
III	–90	–90	–34	+112	+79	+327	+521

В зв'язку зі збільшенням температури за вегетаційний період та зменшенням кількості опадів зросла тіснота залежності приросту від цих показників збільшилася (табл. 4.27).

Таблиця 4.27

Кореляційні зв'язки між індексними хронологами річних шарів дуба звичайного та кліматичними чинниками для насадження в Пилиповецькому лісництві (вид. 2, кв. 5)

Кліматичні чинники	S	R	A	S	R	A
	1955–2014 рр.			1955–1974 рр.		
Середня температура за квітень, °C	–0,42**	–0,26	–0,43**	0,10	0,02	0,04
Середня температура за червень, °C	–0,12	–0,15	–0,11	0,01	–0,23	0,03
Середня температура за серпень, °C	–0,26+	–0,11	–0,25	0,17	0,16	0,18
Середня температура за рік, °C	–0,37*	–0,18	–0,37*	0,25	0,17	0,27
Середня температура за квітень–серпень, °C	–0,36*	–0,17	–0,35*	0,34	0,12	0,35
Середня температура за березень–вересень, °C	–0,37*	–0,17	–0,37*	0,20	0,00	0,22

Кліматичні чинники	S	R	A	S	R	A
	1955–2014 pp.			1955–1974 pp.		
Сума опадів за січень, мм	0,14	0,19	0,13	0,57 ⁺	0,51 ⁺	0,54 ⁺
Сума опадів за вересень, мм	–0,29 ⁺	–0,26	–0,27 ⁺	–0,31	–0,28	–0,27
Сума опадів за рік, мм	–0,03	0,11	–0,04	–0,15	–0,08	–0,14
Сума опадів за квітень-серпень, мм	0,05	0,13	0,04	–0,30	–0,20	–0,31
Сума опадів за березень-вересень, мм	–0,08	0,03	–0,08	–0,27	–0,19	–0,25
Сума опадів за зиму, мм	0,11	0,26	0,09	0,51 ⁺	0,55 ⁺	0,42
	1975–1994 pp.			1995–2014 pp.		
Середня температура за квітень, °C	–0,55 ^{**}	–0,41	– 0,57 ^{**}	0,07	–0,09	0,12
Середня температура за червень, °C	–0,16	–0,21	–0,17	0,67 ^{**}	0,25	0,75 ^{**}
Середня температура за серпень, °C	–0,11	–0,20	–0,08	0,43	0,19	0,42
Середня температура за рік, °C	–0,23	–0,24	–0,28	0,44	0,03	0,44
Середня температура за квітень-серпень, °C	–0,43	–0,43	–0,43	0,59 ^{**}	0,29	0,61 ^{**}
Середня температура за березень-вересень, °C	–0,28	–0,28	–0,32	0,61 ^{**}	0,28	0,61 ^{**}
Сума опадів за січень, мм	0,21	0,09	0,22	0,14	0,02	0,10
Сума опадів за вересень, мм	–0,30	–0,39	–0,27	–0,07	–0,03	–0,07
Сума опадів за рік, мм	0,32	–0,07	0,36	0,45	0,70 ^{**}	0,39
Сума опадів за квітень-серпень, мм	0,20	–0,02	0,23	0,47	0,61 ^{**}	0,42
Сума опадів за березень-вересень, мм	0,25	–0,16	0,30	0,37	0,64 ^{**}	0,33
Сума опадів за зиму, мм	0,50	0,43	0,51 ⁺	0,13	0,09	0,17

Примітка: S – STANDART – хронологія; R – RESIDUAL – хронологія; A – ARSTAN – хронологія; ⁺ – значущість на 0,05 рівні; ^{*} – значущість на 0,01 рівні; ^{**} – значущість на 0,01 рівні.

Водночас зменшилася залежність приросту від суми зимових опадів. Збільшення березневих температур спричинило швидше

танення снігу, внаслідок зростав поверхневий стік, а волога не накопичувалася в ґрунті в достатній кількості. Різке зниження рівня ґрунтових вод стало причиною погіршення стану дубових насаджень, що росли в умовах осушувальної меліорації, проведеної в 60-х роках минулого століття.

Проведене спеціалістами лісгоспів у 2003 році обстеження лісових насаджень ДП «Смільчинське ЛГ» Житомирського ОУЛМГ, які перебувають під впливом Жужельської меліоративної системи, засвідчило, що внаслідок проведення меліоративних робіт відбулось істотне поліпшення лісорослинних умов і досягнутий лісівничий ефект, проте після припинення робіт із догляду за осушувальними системами стан насаджень погіршився.

В осередках вторинного заболочення масово поширюються патологічні процеси. З моменту пуску більшості меліоративних систем пройшло 10–20 років, але в останні 10–15 років практично ніяких робіт щодо підтримки цих систем в належному стані не проводилося, тому в деяких місцях відбувається повторне заболочування. Воно негативно впливає на стан дерев там, де ґрунтові води різко обмежують шар ґрунту, доступний для функціонування кореневих систем і, особливо, на стан пристигаючих, стиглих та перестійних деревостанів, для яких втрата частини глибинних коренів може призвести до повної загибелі насаджень.

Це стосується дубових насаджень, оскільки дуб розвиває потужні глибокі кореневі системи і не здатний пристосуватися до зміни гідрологічного режиму. За каналами свого часу проводили догляд: дно русла чистили машинами, утримували ремонтні бригади каналів, прибирали вітровально-буреломні й сухі дерева, чистили за необхідності дно каналів, ремонтували кріплення відкосів тощо. Випасання корів на схилах каналів допомагало підтримувати їх у належному стані. Осушувальні системи функціонували задовільно, але фінансування їхнього утримання зменшилося, припинили ремонтні роботи, проводили лише догляд за каналами та кавальєрами шляхом вирубаня деревної рослинності [52].

Аналіз динаміки індексів річної деревини та рівня ґрунтових вод у свердловині Сусли–3 показав, що мінімальні значення рівня ґрунтових вод і радіального приросту дерев спостерігалися у 2005, 2008, 2011 рр. Такі умови призвели до формування вузьких річних шарів деревини. У 2006–2007, 2012–2014 рр. виявлено асинхронність кривих радіального приросту дуба та кривої рівня ґрунтових вод.

На перший погляд, парадоксальним є те, що у роки зниження рівня ґрунтових вод збільшився радіальний приріст дуба звичайного. Водночас формування широких шарів річної деревини стало наслідком збільшення кількості опадів протягом вегетаційного періоду, що є сприятливим для приросту дерев у 2012–2014 рр. (рис. 4.30).

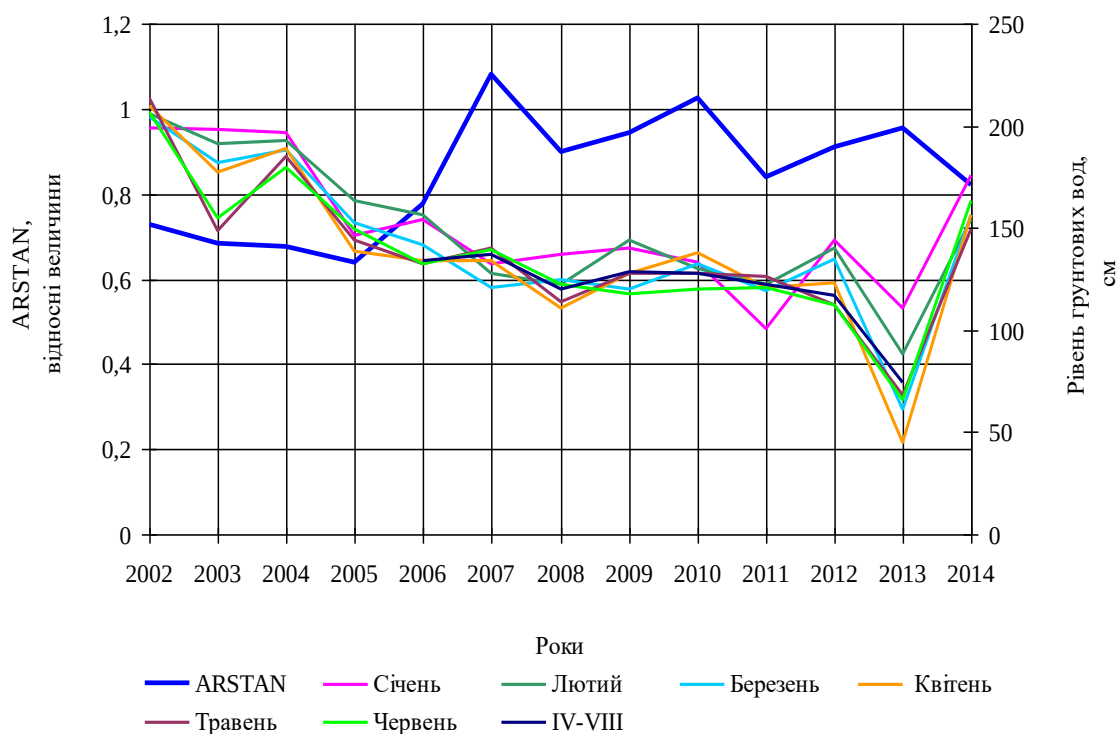


Рис. 4.30. Динаміка індексної деревно-кільцевої хронології STANDART та рівня ґрунтових вод у свердловині Сусли-3

Використання даних щодо свердловини Сусли-3 для встановлення зв'язків між радіальним приростом дерев і рівнями ґрунтових вод є прийнятним, оскільки між даними стосовно свердловин Сусли-3 та Пилиповичі існують високі достовірні кореляції. Виявлено значущий вплив рівня ґрунтових вод із січня до липня на формування радіального приросту. За інші місяці кореляції виявилися незначущими, що може бути пов'язано з меншими рядами даних спостережень.

Попарний кореляційний аналіз між індексами радіального приросту, з одного боку, та з кліматичними чинниками і рівнем ґрунтових вод, із іншого, виявив значущі найтісніші додатні зв'язки з температурою за квітень-серпень і від'ємні – з рівнем ґрунтових вод за лютий, тобто радіальний приріст дерев обмежують рівні ґрунтових вод упродовж пізньозимового періоду і низькі температури упродовж весняно-літнього періоду.

Кореляційний аналіз індексів деревно-кільцевих хронологій дуба виявив значущі зв'язки з рівнями ґрунтових вод у створі Сусли-3 (табл. 4.28).

Таблиця 4.28

Кореляційний аналіз між індексними хронологіями річних шарів дуба та рівнями ґрунтових вод у свердловині Сусли-3

Рівень ґрунтових вод	STANDART	RESIDUAL	ARSTAN
2002–2014 pp.			
Січень	–0,55	–0,24	–0,65 ⁺
Лютий	–0,68 ⁺	–0,27	–0,75 ⁺
Березень	–0,63 ⁺	–0,33	–0,70 ⁺
Квітень	–0,48	–0,21	–0,56 ⁺
Травень	–0,47	–0,20	–0,55 ⁺
Червень	–0,52	–0,27	–0,61 ⁺
2002–2013 pp.			
Липень	–0,55	–0,27	–0,62 ⁺

Примітка. ⁺ – значущість на 0,05 рівні.

Найкращі результати кореляційного аналізу між приростом та рівнем ґрунтових вод отримано для деревно-кільцевої серії ARSTAN. Виявлено від'ємні середні та високі коефіцієнти кореляції між приростом та рівнем ґрунтових вод за січень-липень. Для лютого виявлено найсильніший негативний вплив рівня ґрунтових вод на радіальний приріст. Проведено множинний регресійний аналіз між індексами радіального приросту ARSTAN і кліматичними чинниками та рівнем ґрунтових вод за 2002–2014 pp. (рис. 4.31).

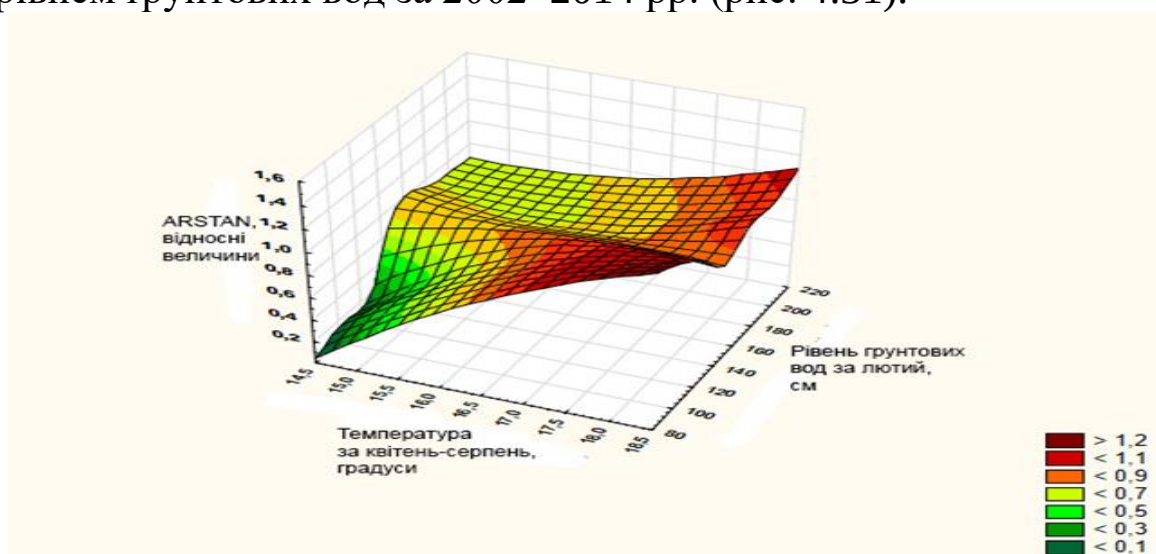


Рис. 4.31. Залежність індексів радіального приросту ARSTAN від температур за квітень-серпень і рівня ґрунтових вод у лютому

Побудовано регресійну модель залежності індексів радіального приросту ARSTAN від температур за квітень-серпень і рівня ґрунтових вод у лютому.

Виявлено тісні додатні кореляційні зв'язки між індексами приросту та температурами за квітень-серпень і від'ємні тісні зв'язки між індексами приросту та рівнем ґрунтових вод у лютому (табл. 4.29).

Таблиця 4.29

Кореляційна матриця між індексною хронологією ARSTAN і температурами та рівнем ґрунтових вод

Показники	Температура за квітень-серпень, °C	Рівень ґрунтових вод за лютий, см	ARSTAN, відносні одиниці
Температура за квітень-серпень, °C	1,00	-0,54	0,74*
РГВ за лютий, см	-0,54	1,00	-0,75*
ARSTAN, відносні одиниці	0,74*	-0,75*	1,00

Примітка. * значущість на рівні 0,05.

Рівень ґрунтових вод за лютий і температури за квітень-серпень використано для регресійного множинного моделювання, оскільки їхні попарні кореляційні коефіцієнти з індексною хронологією ARSTAN перевищують 0,7.

Результати множинного регресійного аналізу свідчать, що рівень значущості (p -value) зв'язку температур і рівня ґрунтових вод становить 0,03, тобто менше 0,05, тому модель адекватна (табл. 4.30).

Таблиця 4.30

Результати множинного регресійного аналізу між індексами радіального приросту ARSTAN і температурами за квітень-серпень та рівнем ґрунтових вод за лютий

$N=13$	b^*	$Stt\ Err\ of\ b^*$	b	$Stt\ Err\ of\ b$	$t\ (10)$	$p - value$
Температура за квітень-серпень, °C	0,470	0,199	0,071	0,030	2,365	0,040
Рівень ґрунтових вод за лютий, см	-0,497	0,199	-0,002	0,001	-2,502	0,031

Примітка. b – регресійний коефіцієнт, $Stt\ Err$ – стандартна похибка.

Аналіз залишків регресійного аналізу свідчить, що гіпотеза про нормальність не відхиляється, тому що гістограма симетрична (рис. 4.32).

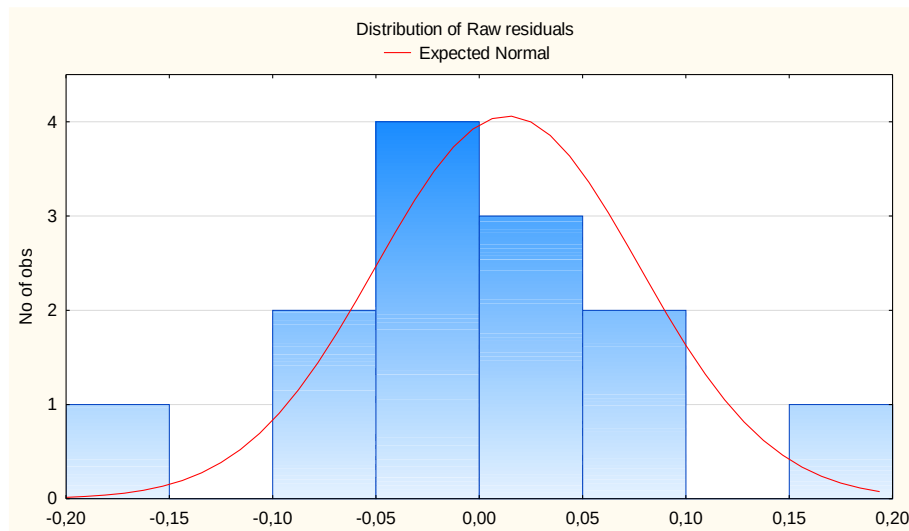
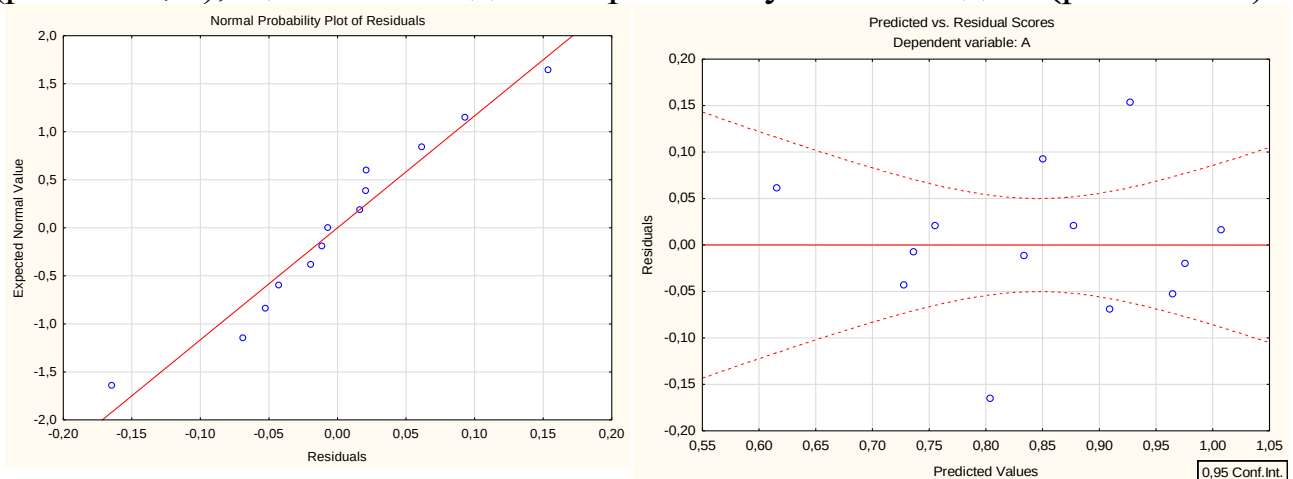


Рис. 4.32. Розподіл залишків регресійного аналізу між індексами радіального приросту ARSTAN і температурами за квітень-серпень та рівнем ґрунтових вод за лютий

Нормально вірогідний графік показав відсутність значних залишків від теоретичної кривої, тобто вони розподілені нормально (рис. 4.32). Залишки розподілені хаотично, тобто без певного напрямку (рис. 4.33, а), що також свідчить про високу якість моделі (рис. 4.33 б).



а) Практичні та теоретичні
відхилення

б) Оцінка прогнозованих
залишків

Рис. 4.33. Аналіз залишків регресії між індексами радіального приросту ARSTAN (температура за квітень-серпень і рівень ґрунтових вод за лютий)

Рівень значущості моделі становить менше 0,05, тобто 0,03, з чого випливає додатково, що модель можна використовувати для прогнозування індексів приросту, які залежать від температур і рівня ґрунтових вод (табл. 4.31).

Таблиця 4.31

Аналіз змінних індексів радіального приросту ARSTAN, залежних від температур за квітень-серпень та РГВ вод за лютий

Вплив	Сума квадратів	df	Середні квадрати	F	p-value
Регрес	0,158	2	0,079	10,638	0,003
Залишки	0,074	10	0,007	—	—
Разом	0,232	—	—	—	—

Результати множинного регресійного аналізу свідчать, що кореляційний коефіцієнт становить 0,85, а коефіцієнт детермінації (R^2) – 0,72 ($F(2,10)=12,95$, $p<0,002$, стандартна похибка оцінки 0,08). Тобто температурами за квітень–серпень та рівнем ґрунтових вод за лютий можна пояснити варіабельність радіального приросту на 72 %.

Отже побудовано достовірну множинну регресійну модель залежності індексів радіального приросту від температур за квітень–серпень і рівня ґрунтових вод у лютому.

Приріст пізньої, річної деревини та частку пізньої деревини можна апроксимувати кривою другого порядку і на основі цього тренду зробити короткочасний прогноз на рік, або два (рис. 4.34).

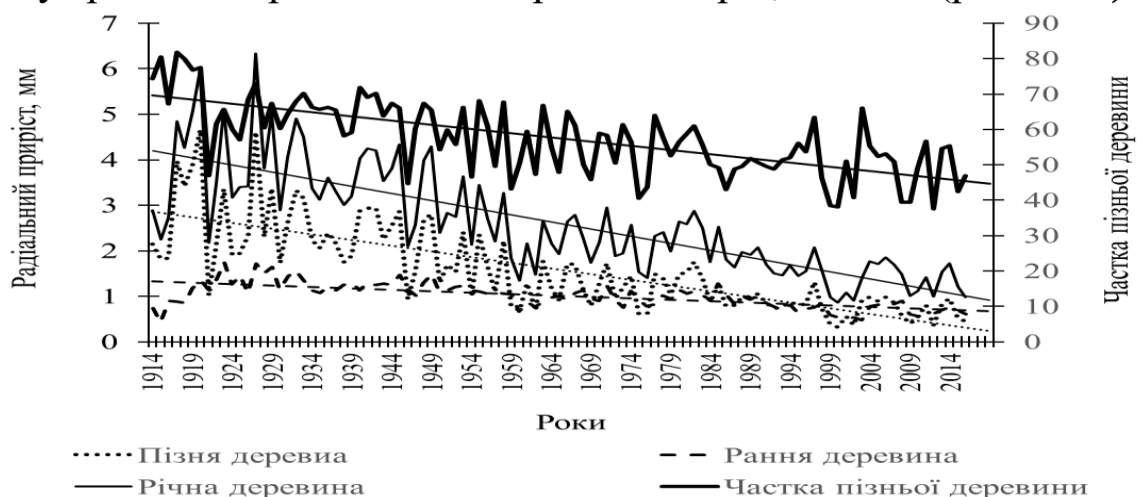


Рис. 4.34. Динаміка річної, ранньої, пізньої деревини та частки пізньої

Отже, виявлено, що найбільшою мірою обмежують радіальний приріст дуба високі температури в період вегетації, ранньої весни та взимку і збільшення кількості опадів упродовж

холодного періоду на тлі відлиг, що не сприяє накопиченню вологи ґрунтів. У 2011–2014 рр. дерева дуба адаптувалися до зміни рівня ґрунтових вод і підвищення температур, про що свідчить підвищення радіального приросту. Розроблено множинну регресійну модель залежності індексів радіального приросту від температур за квітень–серпень і рівня ґрунтових вод у лютому. Найбільш придатним чинником для короткочасного прогнозування є частка пізньої деревини в порівнянні з пізньою та річною деревиною

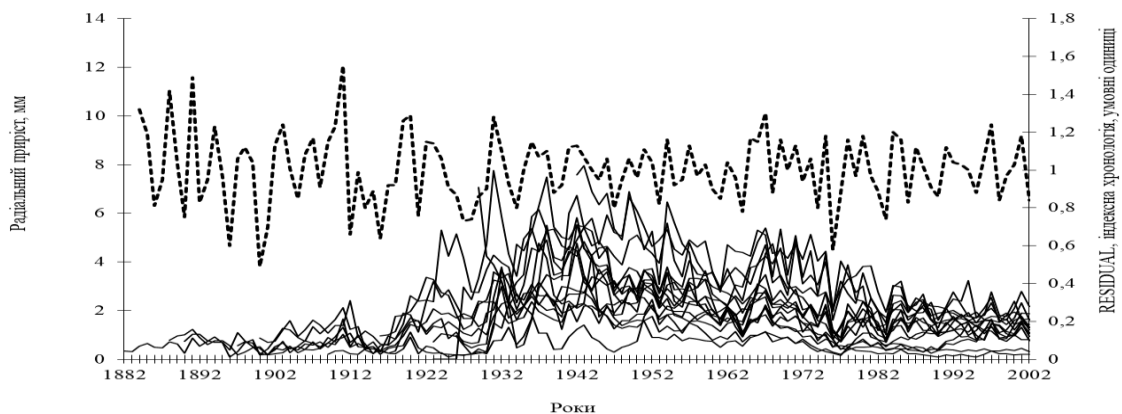
4.4.4. Вплив клімату на формування деревних кілець дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся. У надзвичайно вологих умовах (на межі боліт або на болотах) відбувається підтоплення кореневої системи, тобто стрес для дерев. З іншого боку опади впливають на формування деревних кілець цих дерев часто опосередковано – через підтоплення, а бо навпаки – через зниження рівня ґрунтових вод. Тому в таких умовах є важливими дослідження з дендрокліматології та дендроіндикації.

Дослідження проведені в зоні мішаних лісів у болотистій місцевості, в умовах сирого та мокрого сугруду в насадженнях Північної України. Для виявлення зв'язків між кліматичними чинниками і радіальним приростом дуба звичайного керни відібрано з трьох насаджень (ППП 2–4), які ростуть у Житомирській (найближче місто – Олевськ; 51°13' п.ш.; 27°40' с.д.) та Рівненській (найближче м. Сарни; 51°21' п.ш.; 26°37' с.д.) областях. До складу насаджень входять переважно сосна, дуб, береза (*Betula pendula* Roth), осика (*Populus tremulae* L.), вільха (*Alnus incana* (L.) Moench). Середня висота 42-річного насадження в районі м. Сарни становить $10,8 \pm 0,6$ м, діаметр $0,26 \pm 0,01$ см; відносна повнота – 0,4. Продуктивність цього деревостану є найбільш низькою: V бонітет. Тип лісорослинних умов С₄₋₅. Деревостан знаходиться посеред евтрофного болота, яке за характеристиками наближається до низинного та входить до складу Поліського болотного заповідника. У зв'язку з віддаленням від населених пунктів, цей деревостан майже не підпав під вплив людської діяльності.

Для двох інших насаджень у районі м. Олевська, вік яких перевищує 100 років, характерні такі середні таксаційні показники: висота і діаметр першого – $26 \pm 0,6$ м та $0,48 \pm 0,03$ м, і другого – $27,3 \pm 0,64$ м та $0,45 \pm 0,02$ м. Відносна повнота цих насаджень становить 0,5–0,6. Вони характеризуються вищою продуктивністю:

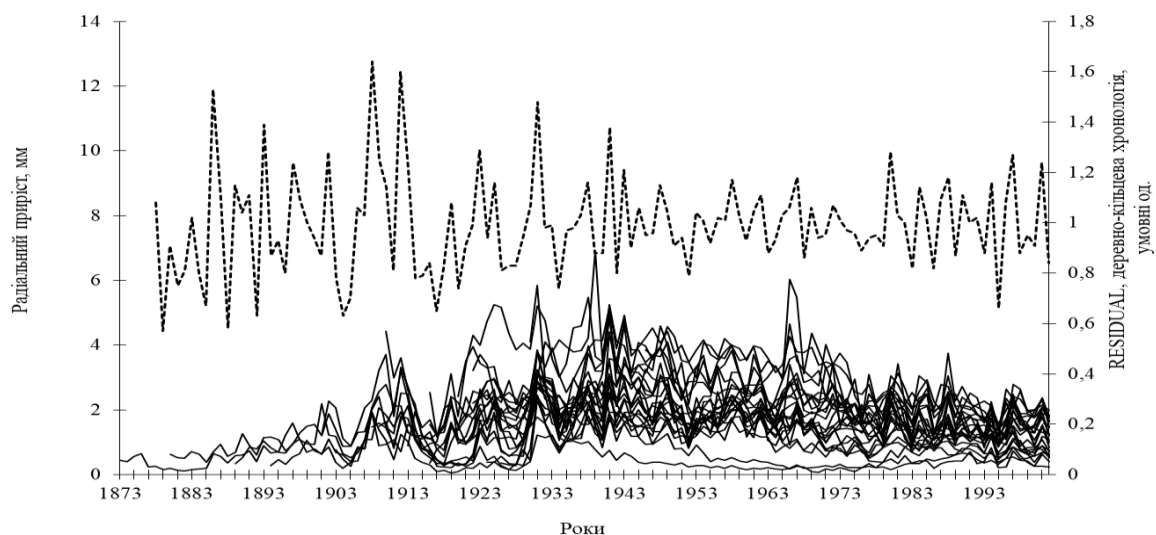
II бонітет. Тип лісорослинних умов першого – C_{4-5} , другого – C_4 , тобто вони мають різний рівень зволоження. Деревостан, що знаходиться на відстані 10 км від м. Олевськ (з вологішими лісорослинними умовами), підлягав впливу осушувальних робіт, які інтенсивно проводили в 1960–70-их роках. Він має поряд зрошувальний канал і насип біля нього, яким проходить дорога, що побудована в шестидесяті роки. З часів будови цей канал не підлягав реконструкції, тому тут відбувається вторинне підтоплення. Деревостан, розташований поряд із м. Олевськ, меншою мірою підлягав впливу осушення, яке все-таки його зачепило.

Отримано деревно-кільцеві хронології для цих трьох деревостанів. Аналіз радіального приросту дерев виявив залежність від віку реакції дерев на вплив зовнішніх факторів (варіації клімату, антропогенний вплив), які також змінюються. У зв'язку із цим ми розподілили досліджуваний період на два інтервали: 1884–1921 та 1930–2002 рр. 1922–1929 рр. вилучено з аналізу, тому що упродовж цього періоду визначено змішаний сигнал відгуку дерев на зміни зовнішніх факторів. Наприклад: позитивні зв'язки змінюються на негативні не одночасно для всіх дерев, тому цей сигнал доволі важко вловити. Реперні роки радіального приросту деревостанів біля м. Олевська за період 1874–1959 рр.: 1890; 1892; 1896; 1916; 1927–1928; 1934; 1939–1940; 1947. Спільні роки з мінімальним приростом для всіх досліджуваних деревостанів: 1960–1961; 1968; 1976; 1979; 1983; 1986; 1995; 2002 рр. (рис. 4.35).

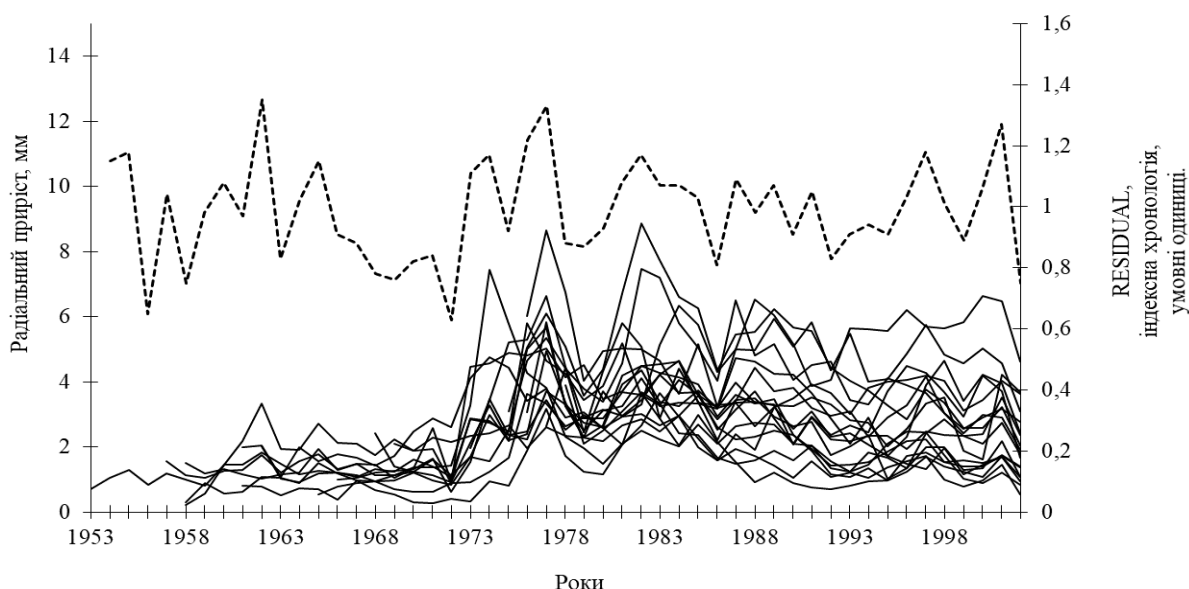


А) Динаміка радіального приросту дуба звичайного та його індексів у надзвичайно вологих умовах (C_{4-5}) поблизу м. Сарни

Рис. 4.35. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та його індексів у вологих умовах Полісся
(в умовах сирого та вологого сугруду)



Б) Динаміка радіального приросту дуба звичайного та його індексів у надзвичайно вологих умовах (С₄) поблизу м. Олевськ



В) Динаміка радіального приросту дуба звичайного та його індексів у менш вологих умовах поблизу м. Олевська

Продовж. рис. 4.35. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та його індексів у вологих умовах Полісся (в умовах сирого та вологого сугруду)

На основі матеріалу, обробленого програмою «PRECON», виявлено найвпливовіші кліматичні фактори впливу на формування річних кілець. Радіальний приріст дуба звичайного поблизу м. Сарни

має від'ємний зв'язок із сумами опадів за серпень-березень (табл. 4.32).

Таблиця 4.32

Кореляційні зв'язки між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками за 1954–2002 рр. для деревостану біля м. Сарни та деревостанів поблизу м. Олевськ за 1884–1921 рр.

Місце відбору зразків	Сума опадів за серпень-березень	Сума опадів за серпень-грудень	Сума опадів за лютий-квітень	Сума опадів за травень-липень	Середні температури за жовтень-листопад
Сарни	–0,34	–	–	0,33	–
Олевськ (вологіше місце)	–	–0,34	–	–	0,36
Олевськ (сухіше місце)	–	–	–0,37	–	–

Примітка. Всі кореляційні коефіцієнти значущі на рівні 0,95.

Одержані дані свідчать, що кількість опадів протягом серпня-вересня важлива для дерев, тому що це – період закладання верхньої бруньки, який пов'язаний із продукуванням метаболітів, що впливають на формування запасу поживних речовин. Також за названий період значна кількість опадів негативно впливає на формування пізньої деревини. Стресові умови, викликані великою кількістю опадів в цей період, можуть призвести до формування вузьких кілець. У наступні місяці (листопад-березня) накопичується волога в ґрунті, за рахунок якої відбувається весняне підтоплення кореневих систем дерев. Це своєю чергою може спричинити депресії приросту, глибина яких залежить від сили підтоплення. Аналізуючи деревостани поблизу Олевська, розглянемо спочатку 1884–1921 рр. Для дерев, які ростуть біля м. Олевськ у вологіших умовах, період негативного впливу опадів на приріст звужується до серпня-грудня.

Для дуба звичайного в сухіших умовах характерний від'ємний вплив опадів за лютий-квітень на формування деревних кілець. Тобто велика кількість опадів у цей період призводить до весняного збільшення як рівня ґрунтових вод, так і періоду підтоплення кореневої системи дерев [119]. До того ж у сезонному розвитку дерев закономірно виникають стани, які характеризуються зниженою

стійкістю до екстремальних факторів у зв'язку з переходом від зимового спокою до вегетації.

Аналіз періоду 1930–2002 рр. виявив наявність зворотних зв'язків між індексами приросту та сумами опадів за серпень-вересень для деревостану, розташованого у вологіших умовах біля м. Олевськ. Тобто у міру осушення значних територій у цьому районі рівень ґрунтових вод знизився, що вплинуло також на реакцію радіального приросту дерев до змін умов природного середовища. Виявлено позитивний вплив зимових опадів на радіальний приріст у деревостані з менш вологими умовами. Позитивні зв'язки між індексами приросту та опадами за різні частини вегетаційного періоду визначені в деревостані поблизу м. Сарни (травень-липень) протягом 1954–2002 рр. та у вологішому деревостані біля м. Олевська (квітень-липень) для періоду 1930–2002 рр. У травні-липні відбувається формування ранньої деревини та починає утворюватися пізня деревина. Тому сума опадів за травень-липень відіграє важливу роль у формуванні деревних кілець. Для дуба звичайного в сухіших умовах характерний від'ємний вплив опадів за лютий-квітень на формування деревних кілець. Тобто велика кількість опадів у цей період призводить до весняного збільшення як рівня ґрунтових вод, так і періоду підтоплення кореневої системи дерев [119]. До того ж у сезонному розвитку дерев закономірно виникають стани, які характеризуються зниженою стійкістю до екстремальних факторів у зв'язку з переходом від зимового спокою до вегетації (табл. 4.33).

Таблиця 4.33

Кореляційні зв'язки між індексами радіального приросту та кліматичними показниками для деревостанів біля м. Олевська за 1930–2002 рр.

№ ПП	ТЛУ	Сума опадів за серпень-вересень	Сума опадів за квітень-липень	Сума опадів за грудень-березень
2	C ₄₋₅	–0,24	0,40	–
3	C ₄	–	–	0,25

Примітка. Всі кореляційні коефіцієнти значущі на рівні 0,95.

Найбільш чутливим до температур виявився деревостан біля Олевська з вологішими умовами, для якого виявлено позитивні зв'язки між приростом і середніми температурами за жовтень-листопад за 1884–1921 рр.

Для дослідження впливу рівня ґрунтових вод на радіальний приріст використано короткий ряд даних болотної гідрологічної станції Крестуново, яка розташована в Білорусі та вела спостереження над режимом болотного масиву в Поліссі. В 1964 р. ця станція перестала існувати як болотна у зв'язку з меліорацією, яку інтенсивно здійснювали за часів Радянського Союзу, та почала виконувати функції меліоративної станції. Цими даними ми можемо користуватися, оскільки в Поліссі болота низинні або перехідні. Вони розташовані на слабо дренажній рівнинній місцевості зі слабким ухилом, де ґрунтові води існують як єдина система, тому їхній рівень у різних болотах району тісно корелює [188].

Інформативним кліматичним показником є відносна вологість, яка є похідною від температури та опадів. Кореляційний аналіз виявив високі та середні додатні зв'язки між індексами радіального приросту та відносною вологістю для деревостанів, розташованих поблизу м. Олевська і відсутність таких зв'язків у деревостані біля м. Сарни, що є опосередкованим свідченням того, що приріст дерев, розташованих посеред болота, лімітує насамперед рівень ґрунтових вод. Усі зв'язки з кліматичними показниками виявилися середніми та слабкими (табл. 4.34).

Таблиця 4.34

Кореляційні зв'язки між індексами радіального приросту дуба звичайного для деревостанів поблизу м. Сарни і поблизу м. Олевська та відносною вологістю за 1976–1986 рр.

№ ПП	ТЛУ	Місце відбору зразків	Відносна вологість за червень	Відносна вологість за рік
2	C ₄₋₅	Олевськ	0,77	0,70
3	C ₄	Олевськ	0,49	0,71
4	C ₄₋₅	Сарни	—	—

Примітка. Всі кореляційні коефіцієнти значущі на рівні 0,95.

У міру підвищення болотних ґрунтових вод навесні зменшувався радіальний приріст дерев (див. рис. 4.34). Ці зв'язки апроксимовані кривою 3-го порядку. Кореляційне відношення (η) становить 0,78 ($t_{\text{факт.}}=3,25$ при $t_{\text{теор.}}=2,45$ на рівні 0,05 значущості), що представлено на рис. 4.36.

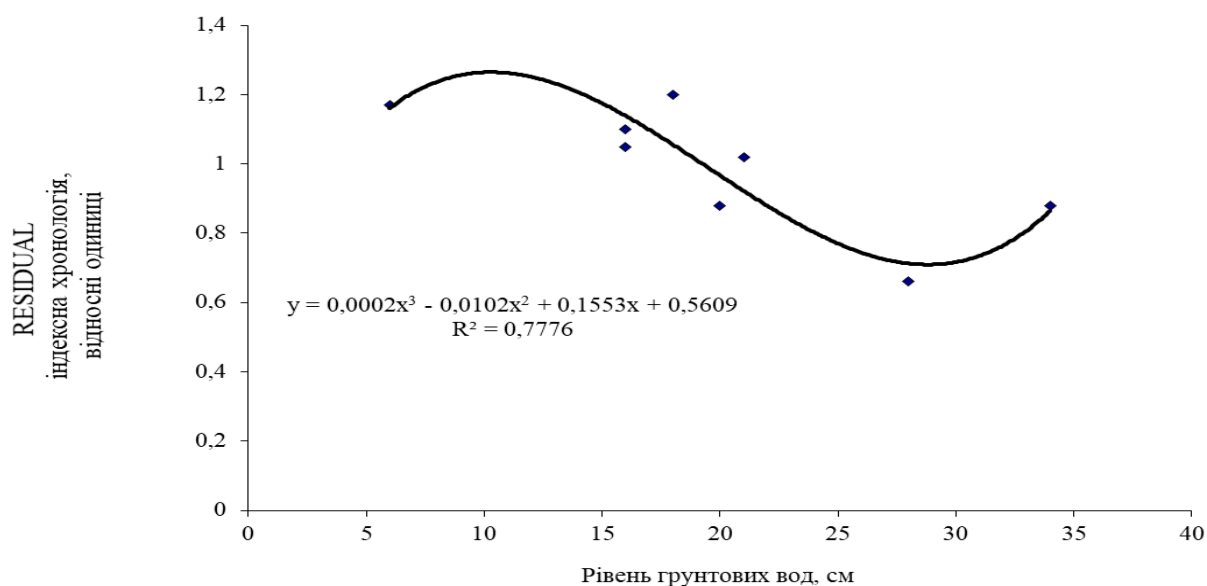


Рис. 4.36. Залежність індексів радіального приросту RESIDUAL для дубових деревостанів від рівня ґрунтових вод болота у квітні.

Кореляції індексів приросту та рівня ґрунтових вод Крестуновського болота виявилися середніми додатними ($r=0,47$; $t_{факт.}=3,31$; $t_{теор.}=2,2$) для деревостану біля м. Олевськ з типом лісорослинних умов С₄₋₅. Це пов'язано з тим, що поряд проходить осушувальний канал, який не доглядали після створення. Як зазначено вище, нині в цьому районі відбувається вторинне підтоплення (рис. 4.37).

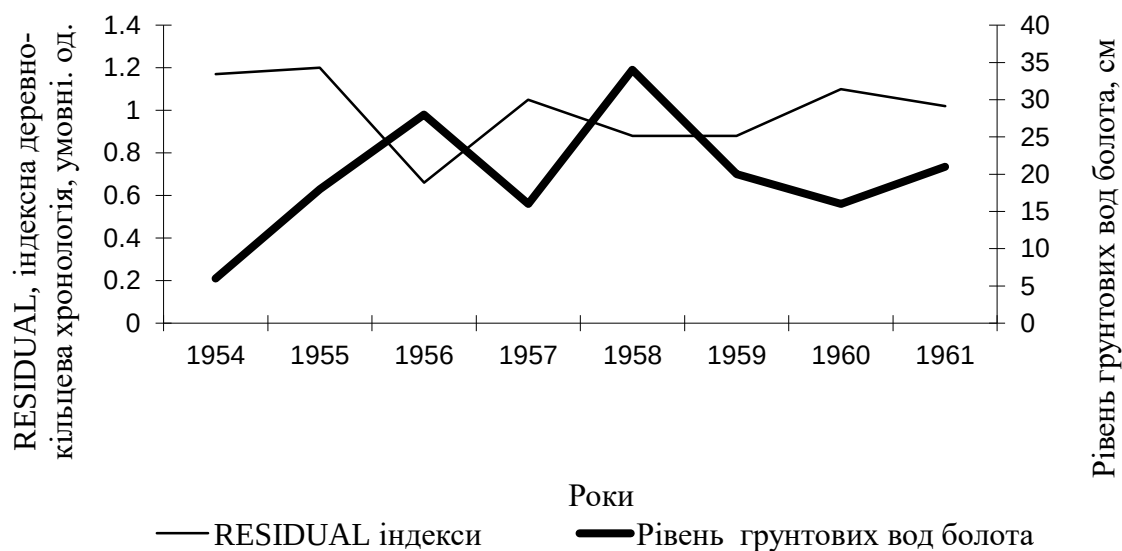


Рис. 4.37. Динаміка індексів радіального приросту дубу звичайного біля м. Сарни та рівня ґрунтових вод у квітні Крестуновського болота в Поліському болотному заповіднику

Болота в досліджуваному районі перехідні (дуже близькі до низинних), тому в їхньому живленні, як зазначено вище, важливу роль відіграють ґрунтові води, рівень яких пов'язаний із весняною повінню Прип'яті (рис. 4.37). Кореляції між індексами радіального приросту дуба звичайного поблизу м. Сарни та показником сумарного стоку за період повені (1954–1960 рр.) на річці Прип'ять (м. Мозир) виявилися зворотними середніми ($r = -0,69$; $t_{fact.} = -3,45$; $t_{0,05} = 2,57$). Для деревостанів біля м. Олевська зв'язків не виявлено. Також незначущими виявилися зв'язки між індексами радіального приросту та даними щодо тривалості повені (рис. 4.38).

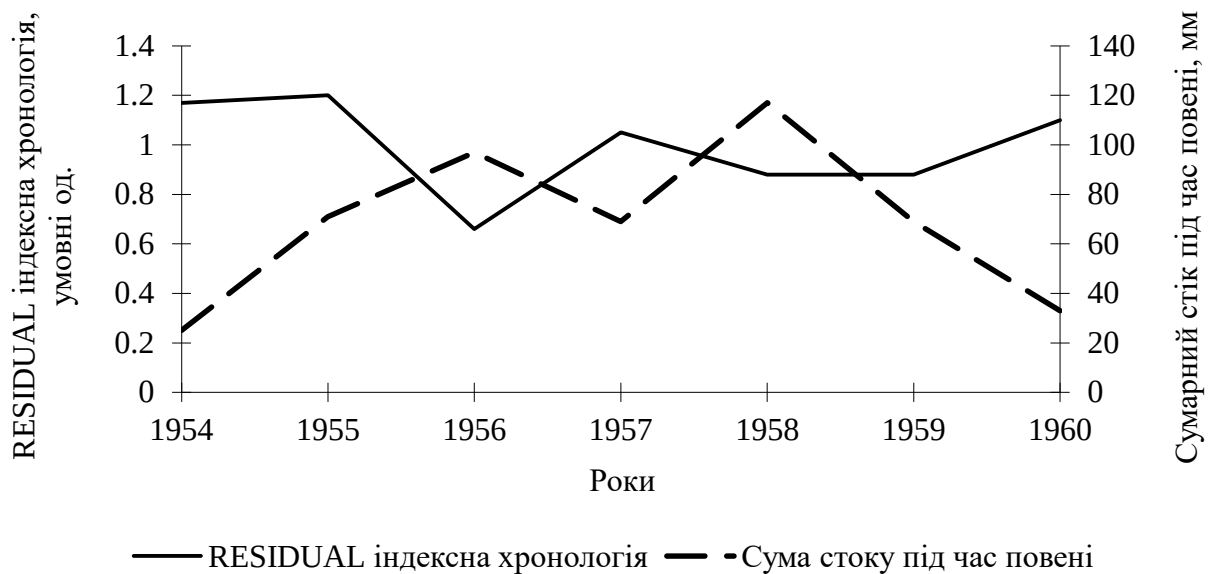


Рис. 4.38. Динаміка радіального приросту дуба звичайного поблизу м. Сарни сумарного стоку під час повені р. Прип'ять

Отже, порівняльним аналізом приросту дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся з різним ступенем вологості доведено, що опади за періоди від серпня-березня до серпня-вересня (тривалість періоду залежить від ступеня вологості місць виростання дерев) негативно впливають на радіальний приріст. У міру зменшення ступеня вологості умов, в яких знаходяться досліджувані деревостани, цей період зменшується.

Виявлено позитивний вплив опадів на приріст протягом травня – серпня (період формування, в основному, ранньої деревини). Також отримано слабкі та середні позитивні зв'язки приросту з температурами за листопад-жовтень і відносною вологістю повітря.

Високі зворотні кореляції індексів радіального приросту з рівнем болотних вод і середні зворотні зв'язки індексів із показниками сумарного стоку річки Прип'ять під час повені виявлено для

деревостану, розташованого в Поліському болотному заповіднику посеред евтрофного болота. Деревостан, що росте біля м. Олевська в умовах С₄₋₅ (поряд із осушувальним каналом), підлягав впливу осушувальної меліорації, про що свідчать достовірні позитивні середні зв'язки радіального приросту з рівнем ґрунтових вод болота для деревостану.

4.5. Вплив клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу

4.5.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Дослідження проведено на чотирьох пробних площах у дубових насадженнях IV та V класів віку, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого груду. Створено регіональну деревно-кільцеву хронологію дуба звичайного, яка складається з 4893 річних шарів річної деревини та базується на 60 індивідуальних деревно-кільцевих хронологіях із чотирьох локальних хронологій (рис. 4.39).

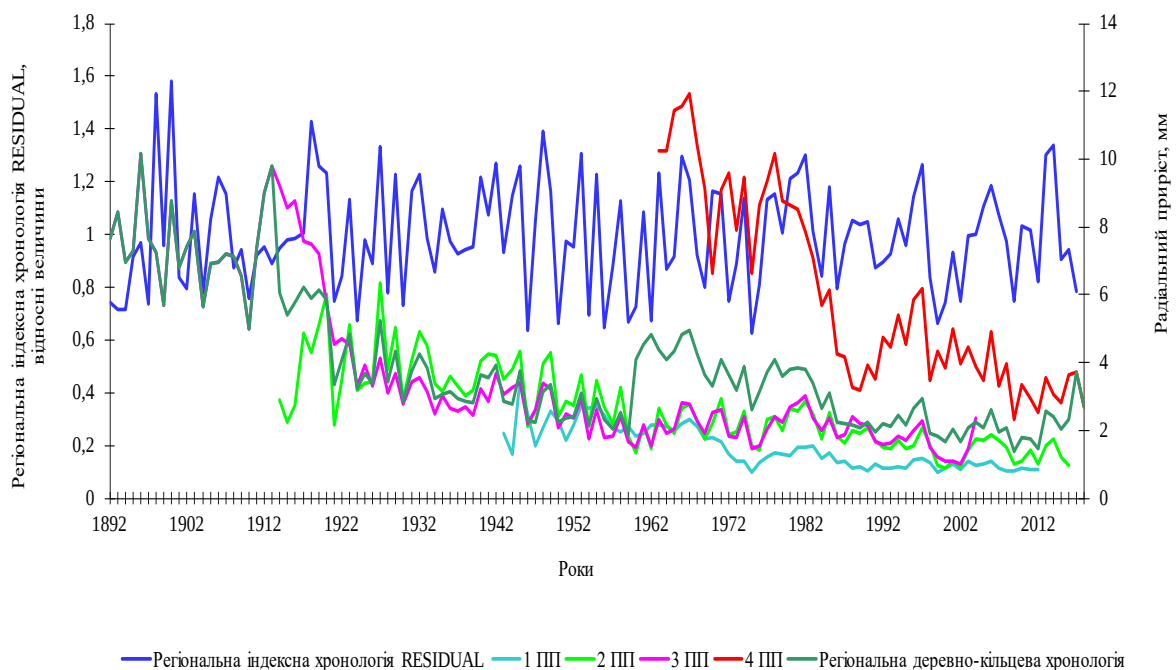


Рис. 4.39. Динаміка радіального приросту дуба звичайного та регіональної індексної хронології RESIDUAL у насадженнях Лівобережного Лісостепу

Деревно-кільцеві хронології RESIDUAL можна використовувати для подальшого дендрокліматичного аналізу, тому що межсерійні коефіцієнти кореляції варіюють у межах 0,311–0,655. Також ці серії є

чутливими, тому що коефіцієнт чутливості перевищує 0,3. Для регіональної деревно-кільцевої хронології обчислено коефіцієнт EPS, який сягає 0,99, тобто перевищив поріг 0,85, що свідчить про придатність цієї дендрохронологічної серії для подальшого дендрокліматичного аналізу (табл. 4.35).

Таблиця 4.35

Статистична характеристика локальних і регіональної деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного на південній межі Лісостепу за програмами COFESHA та ARSTAN

№ ПП	Період, роки	m, мм	Неіндексовані серії				RESIDUAL серії		
			$R_{bar.}$	$S_{td.dev}$	AC_1	MS_x	M	MS_x	$S_{td.dev}$
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

4.5.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного в деревостанах Лівобережного Лісостепу. Реперні роки мінімального радіального приросту дуба звичайного (1962, 1969, 1972–1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016) обумовлені холодними зимами, коли температури були нижчими від норми на 50–67 %, або навпаки – аномально теплими зимами з перевищенням норми на 58 %, а також занадто теплим вегетаційним періодом, коли перевищення температур сягало 12–15 %. Дефіцит опадів, коли випадало на 20–56 % менше норми опадів, і надзвичайно високі березневі температури, які перевищували норму у 5–8 разів, також викликали глибоку депресію радіального приросту дуба. Якщо до 2002 року радіальний приріст дуба обмежували холодні зими (температури були вдвічі нижче норми), то після цього року навпаки – приріст лімітували теплі зими, коли температури були майже на 30 % вище від норми, та високі ранньовесняні температури, коли перевищення норми сягало інколи восьми разів (табл. 4.36).

У Словенії дендрокліматичним аналізом виявлено посилення негативного впливу температур на приріст дуба скельного у червні [369].

Негативні реперні роки регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного у Лівобережному Лісостепу

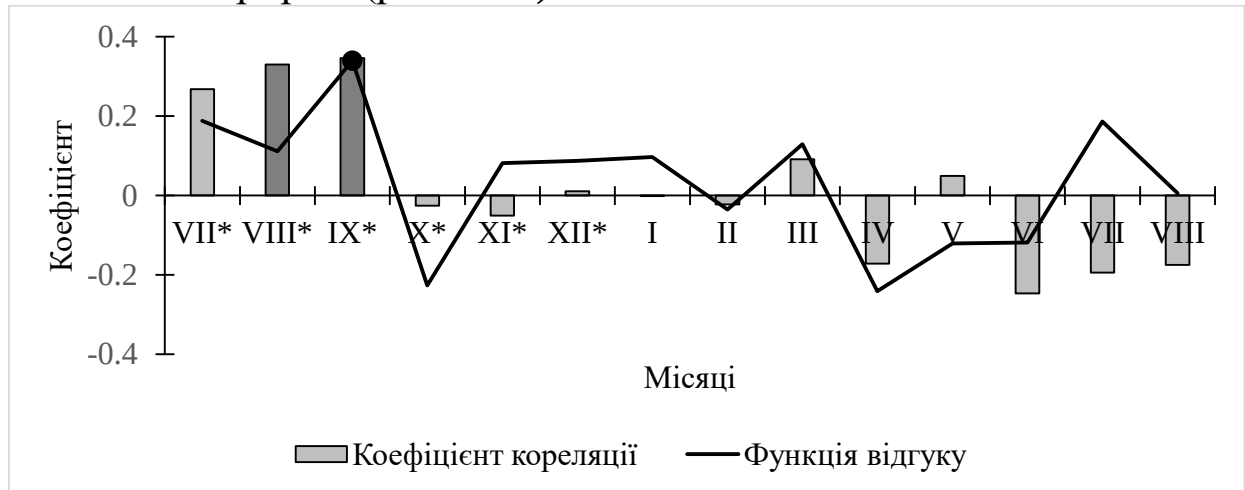
Рік мінімального приросту	Причини депресії радіального приросту
1894, 1930, 1899, 1944, 1910, 1947, 1915, 1954, 1921, 1957, 1928	Причини депресії радіального приросту невідомі внаслідок відсутності метеорологічних даних
1962	Приріст обмежували опади за квітень-серпень. У 1962 році вони становили 115 мм, а норма – 263 мм, тобто були на 56 % менші від норми
1969	Холодна зима (середні зимові температури $-7,2^{\circ}\text{C}$, норма – $(-4,3^{\circ}\text{C})$, тобто температури були нижчими від норми на 67 %). Низька сума річних опадів (451 мм при нормі 555 мм, тобто на 19 % нижча від норми).
1972–1973	Холодна зима, упродовж якої температури були майже вдвічі нижчими норми (середні зимові температури – $-8,2^{\circ}\text{C}$, норма – $(-4,3^{\circ}\text{C})$ та занадто теплий вегетаційний період (квітень-серпень) 1972 року, коли температура на 12 % перевищила норму ($19,4^{\circ}\text{C}$ при нормі $17,2^{\circ}\text{C}$)
1975	Упродовж квітня-серпня випало на 40 % опадів нижче норми (158 мм при нормі 263 мм).
1984	Посушливий вегетаційний період, коли упродовж квітня–серпня випало опадів 210 мм, тобто на 20 % нижче норми, яка становила 253 мм. Особливо посушливим видався липень, коли опадів випало на 56 % менше норми.
1993	Дефіцит опадів упродовж квітня-серпня, коли випало 216 мм при нормі 263 мм, тобто на 22 % менше норми.
1999	Дефіцит опадів: упродовж квітня-серпня випало 224 мм опадів при нормі 263 мм, тобто різниця становила 15 %. Особливо посушливим видався липень, коли випало 44,6 мм при нормі 61,4 мм, що на 27 % нижче від норми.

Продовж. табл. 4.36

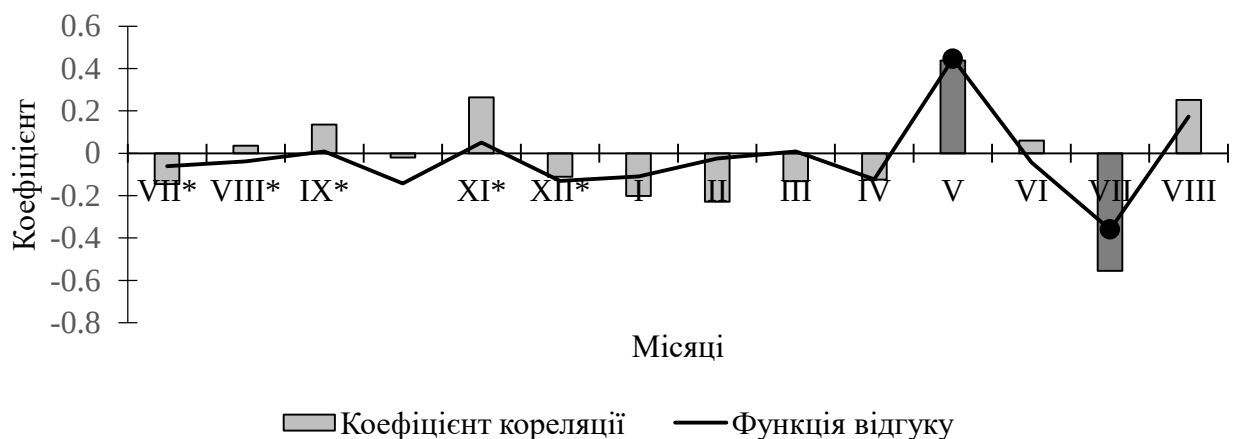
Рік мінімального приросту	Причини депресії радіального приросту
2002	Аномальна тепла зима, коли температури перевищили норму на 26 % ($-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$), березневі температури перевищили норму майже у 8 разів ($5,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $0,68\text{ }^{\circ}\text{C}$). Друга причина – дефіцит опадів упродовж квітня-серпня, коли випало на 31 % менше норми (181 мм при нормі 263 мм).
2009	Посушливий вегетаційний період, коли випало 140 мм упродовж квітня-серпня при нормі 263 мм, що на 47 % менше норми. Особливо посушливим був липень, коли випало 26,5 мм при нормі 61,4 мм, що на 56,9 % менше норми. Занадто тепла зима, коли температури сягнули $-3,2\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, що вище норми на 25 %. До того ж високі температури відмічено протягом березня ($1,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $0,68\text{ }^{\circ}\text{C}$, що перевищило норму більше ніж удвічі.
2012	Посушливий і теплий вегетаційний період. Температури квітня–серпня сягали $20,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $17\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто на 15 % вище від норми, водночас опади упродовж цього періоду становили 202 мм при нормі 263 мм, тобто на 23 % нижчі від норми. Температури липня були на 46 % вищі від норми $-33,5\text{ мм}$ та 61,4 мм відповідно.
2016	Високі температури зимового та ранньовесняного періодів. Взимку температури були вищими від норми на 58 % – $1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ та $-4,3\text{ }^{\circ}\text{C}$ відповідно. Упродовж березня температури становили $3,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ при нормі $0,68\text{ }^{\circ}\text{C}$, тобто перевищили норму більш ніж у 5 разів.

Дендрокліматичний аналіз дуба, проведений за програмою RESPO, виявив додатний вплив температур упродовж холодного періоду (з листопада попереднього року по лютий поточного року) на приріст у першому періоді (1960–1988 рр.), а пізніше у другому періоді (1989–2017 рр.) цей вплив став від’ємним. Можливо, підвищення температур упродовж цього періоду викликало зменшення вологонакопичення у ґрунті внаслідок частих відлиг. До того ж відбулося порушення зимового спокою дерев у результаті підвищення температур, що разом могло спричинити ослаблення дерев. Кліматичні умови попереднього року мають значущий вплив на приріст поточного року [324]. Упродовж другого періоду у порівнянні з першим втрачено

позитивний вплив температур упродовж 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 упродовж другого періоду свідчать про посилення від’ємного впливу потепління на приріст (рис. 4.38).



А) 1960–1988 рр.



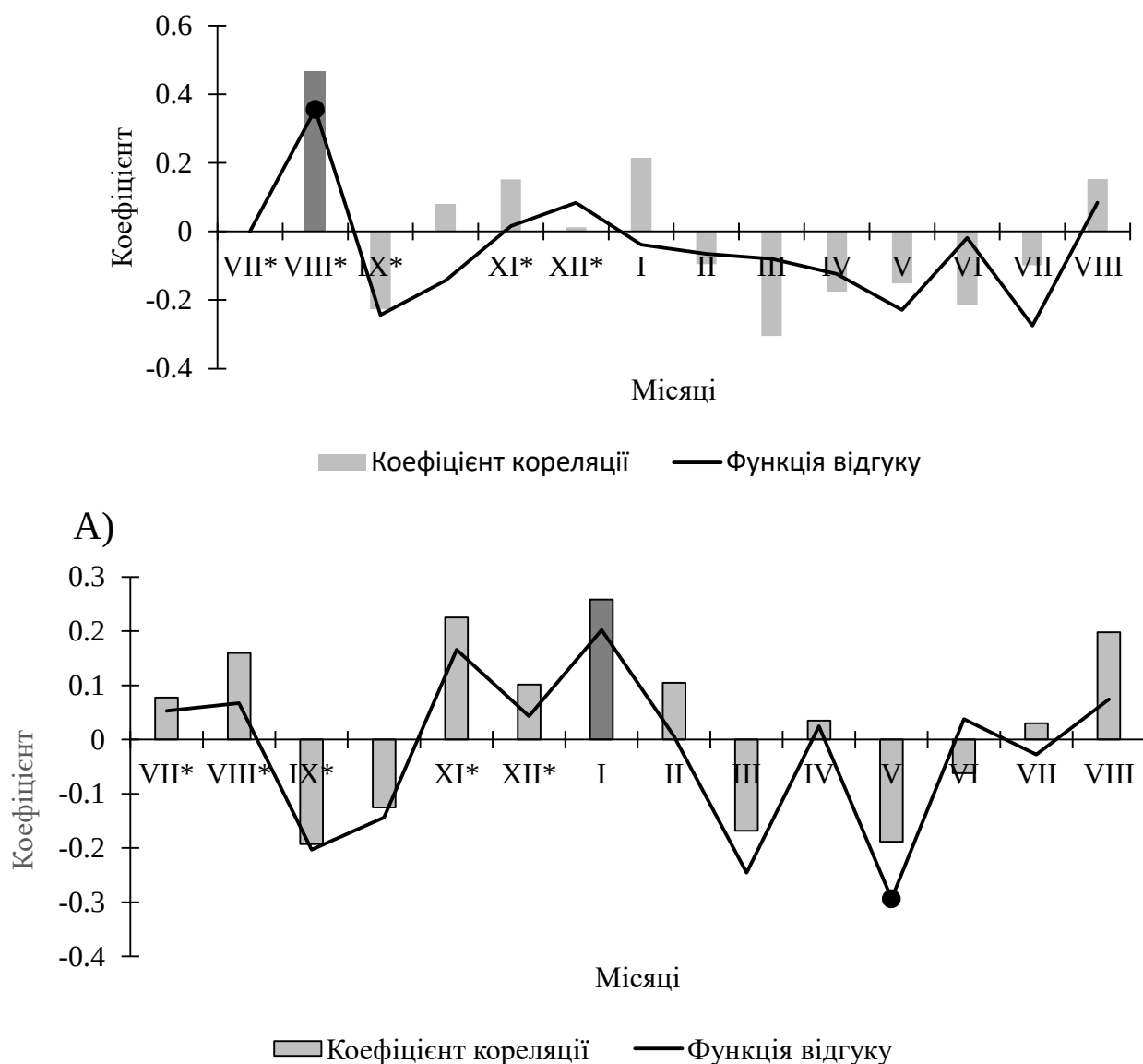
Б) 1989–2017 рр.

Рис. 4.40. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між середніми місячними температурами та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Лісостепу (сірі стовпчики – значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола – значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (*) – місяці попереднього року.

Упродовж першого періоду виявлено негативний вплив опадів жовтня попереднього року та позитивний вплив опадів упродовж лютого та липня у першому періоді на радіальний приріст.

У Словенії виявлено, що березневі опади значуще позитивно впливали на радіальний приріст *Quercus petraea* [369].

Для другого періоду зафіксовано значущий позитивний вплив опадів на формування радіального приросту лише для серпня попереднього року. Простежується тенденція негативного впливу опадів на приріст у лютому-липні у другому періоді. Упродовж зими посилюється позитивний вплив опадів на радіальний приріст дуба у другому періоді і навіть для січня цей вплив стає значущим (рис. 4.41).



Б)

Рис. 4.41. Коефіцієнти кореляції Пірсона (стовпчики) та коефіцієнти функції відгуку (лінії) між сумами опадів та індексною регіональною деревно-кільцевою хронологією Лісостепу: А) 1960–1988 рр.; Б) 1989–2017 рр. (сірі стовпчики –значущі коефіцієнти кореляції ($P < 0.05$), чорні кола –значущі коефіцієнти функції відгуку; зірочки (*) –місяці попереднього року).

Дендрокліматичними дослідженнями дуба звичайного у Поліссі виявлено кліматичні чинники, які найбільшою мірою впливають на радіальний приріст дуба: підвищення температур і зменшення кількості опадів у період вегетації, підвищення температур рано навесні та взимку і збільшення кількості опадів упродовж холодного періоду [107].

Отже, на відміну від Полісся у Лівобережному Лісостепу, навпаки – незначне збільшення опадів відбулося упродовж вегетаційного періоду, а зменшення – впродовж зими. Під час вегетації років другого періоду значне підвищення температур спричинило збільшення транспірації, а незначне збільшення опадів у цей період не змогло перекрити негативний вплив дефіциту вологи на радіальний приріст дерев.

Проведено ковзний кореляційний аналіз із вікном 35 років між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL і кліматичними чинниками за даними метеостанції м. Харків, який виявив значущий негативний вплив вересневих температур попереднього року на приріст 1963–2002 рр., однак у 1978–2017 рр. відмічено відсутність такого впливу, тоді як посилився позитивний вплив серпневих опадів на приріст. Тобто як потепління в кінці вегетаційного сезону, так і деяке збільшення кількості опадів подовжило період формування річних шарів деревини.

Обчислено значущий негативний вплив температур на радіальний приріст у березні 1963–1997 рр. та негативний вплив опадів на приріст у 1968–2002 рр. Від’ємні кореляції виявлено для квітневих температур і середньорічних температур упродовж квітня-серпня 1973–2012 рр.

Травневі температури негативно впливали на приріст 1963–2002 рр., а вже у 1983–2017 рр. їхнє підвищення позитивно вплинуло на приріст. Липневі температури 1968–2012 рр. негативно впливали на приріст, а вже для 1983–2017 рр. відбулося ослаблення цього негативного впливу, що могло бути пов’язаним із адаптацією дубових насаджень до підвищення температур (рис. 4.42).

У Словенії відмічають збільшення негативного впливу червневих температур на радіальний приріст дуба скельного (*Quercus petraea*) упродовж 1993–2013 рр., що можна пояснити підвищенням температури, обумовленим кліматичними змінами [369].

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	**				

Рис. 4.42. Ковзний кореляційний аналіз між деревно-кільцевою хронологією RESIDUAL насаджень із вікном 35 років і кліматичними чинниками за даними метеостанції м. Харків. * – місяць попереднього року; ** – значущість коефіцієнта кореляції на 0,05 рівні; **** –на 0,01 рівні; *** –на 0,001 рівні.

Коефіцієнти кореляції:

	$\geq 0,4$
	0,2 – 0,39
	0 – 0,19
	0 – (–0,19)
	(–0,2) – (–0,39)
	$\geq (–0,4)$

На думку європейських вчених [235, 369] дуб має потенціал витримати потепління, яке очікується в Центральній Європі в майбутньому. Зимові температури, зокрема грудневі, мали значущий позитивний вплив на приріст у 1963–1997 рр., а у наступні 1968–2017 рр. цей вплив послабився.

Отже, для регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного Лівобережного Лісостепу виявлено реперні роки мінімального приросту (1962, 1969, 1972, 1973, 1975, 1984, 1993, 1999, 2002, 2009, 2012 та 2016), обумовлені холодними зимами, 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 у порівнянні з 1960–1988 рр., однак в останні декілька років негативний вплив температур упродовж вегетаційного періоду на формування шарів річної деревини став дещо слабшим, про що свідчить ковзний кореляційний аналіз між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками. Тобто дубові насадження спроможні адаптуватися до потепління на цьому етапі.

4.5.3. Порівняння реакції радіального приросту дуба на зміни клімату в Поліссі та Лісостепу. Досліджено стиглі та перестиглі дубові насадження в Поліссі та Лісостепу, які ростуть в умовах свіжого сугруду та свіжого груду на підзолистих і темно-сірих ґрунтах. Проаналізовано динаміку величин радіального приросту дуба звичайного у зв'язку з кліматичними змінами, щоб виявити кліматичні чинники, які впливають на радіальний приріст дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу і порівняти його реакцію на зміни клімату в обох природних зонах. У Поліссі об'єкти досліджень знаходились на території лісового фонду Пилиповецького лісництва ДП «Новоград-Волинське ДГ» (кв. 2, вид. 5), у Лісостепу – у лісовому фонді ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція» (табл. 4.37).

Взаємозв'язки між радіальним приростом дуба та кліматичними чинниками розглянуто за 1960–1988 та 1989–2013 рр. з метою порівняння реакції радіального приросту на варіації клімату за ці періоди у Поліссі та Лісостепу.

У Поліссі середньорічні температури були вищими у першому періоді у порівнянні з другим на 19 % (8,1 та 6,8 °C), у березні-вересні – на 10 % (13,6 і 12,4 °C), взимку – на 41 % (–2,8 і –4,7 °C), а березневі температури були вищими майже вчетверо (1,8–0,5 °C). Опадів у другому періоді випало на 5,8 % більше у порівнянні з першим

періодом (642 та 607 мм), у березні-вересні – на 6 % (491 та 463 мм), однак у квітні-червні опадів випало на 11 % менше (192 та 173 мм). Взимку у другому періоді опадів випало на 8 % більше (108 та 99 мм).

Таблиця 4.37

Характеристика досліджуваних дубових насаджень

Природна зона	Географічні координати	Висота н.р.м.	Склад насаджень	ТЛУ	Вік, років	Повнота	D _{сер.} , см	H _{сер.} , м	Бонітет	Запас, м ³ ·га ⁻¹
Полісся	50°35'00" пн. ш. 27°37'13" сх. д.	218	10Д ₃ + С ₃ , Ос, Гз	С ₂	155	0,5	44	28	2	260
Лісостеп	50°05'31" пн. ш. 36°17'40"с х. д.	202	10Д ₃	D ₂	100	0,6	40	25	2	270

У Лісостепу середньорічні температури були вищими у другому періоді на 17 % (8,7 та 7,5 °С), у березні-вересні – на 7 % (17,7 та 16,8 °С), у квітні-червні – на 4 %, взимку – на 34 % (–3,5 та –5,2°С). Найшвидше температури підвищувалися у другому періоді у березні – більше, ніж утрьчі, і це підвищення становило у 1960–1988 рр. –0,7 °С, у 1989–2013 рр. – +1,8 °С. Опадів у другому періоді випало більше, ніж у першому, на рік на 6 % (574 та 542 мм), за березень–серпень – на 10 %, за квітень–червень – на 17 % (159 та 135 мм), однак упродовж зими на 10 % менше (121 та 135 мм). Також виявлено зменшення опадів протягом липня–серпня – на 12 % (107 та 123 мм).

Отже, для обох природних зон відбулося підвищення температури у другому періоді у порівнянні з першим на 17–19 %. Найшвидшими темпами підвищилися зимові температури (на 34–41 %) та ранні весняні (березневі) – майже вчетверо в Поліссі та майже втричі – в Лісостепу. Тенденції опадів подібні для обох природних зон – відбулося підвищення річної кількості опадів, але протягом вегетаційного періоду їх випало менше у квітні-червні Поліської зони – на 11 %, а для лісостепової – упродовж липня-серпня та зимового періоду – на 10 % менше.

Статистичний аналіз річних кілець у Поліссі та Лісостепу свідчить про придатність деревно-кільцевих хронологій для подальшого аналізу в зв'язку з тим, що ці серії мають міжсерійний коефіцієнт кореляції 0,36 для Полісся та 0,65 для Лісостепу при критичному значенні 0,32. Чутливість є середньою для обох насаджень, тому що значення коефіцієнта перевищує 0,2 та менше 0,3. Більш чутливим до варіацій умов довкілля є насадження Лісостепу, що свідчить про менш сприятливі умови для росту дерев. Автокореляція є високою для обох насаджень, що свідчить про значний вплив умов попереднього року на приріст поточного року (табл. 4.38).

Таблиця 4.38

Статистична характеристика дерево-кільцевих хронологій дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу, обчислених за програмою COFESNA

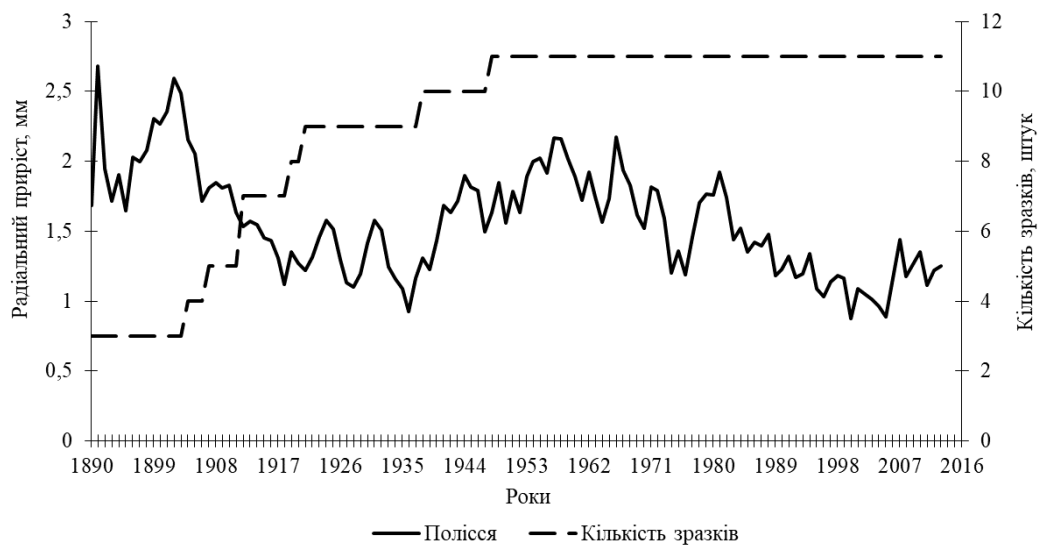
При-родна зона	Кількість річних кілець, шт.	Період, роки	R_{bar}	m (мм)	$S_{td.dev}$	MS_x	AC_1
Полісся	1164	1870–2013	0,360	1,45	0,600	0,212	0,716
Лісостеп	971	1914–2016	0,665	2,39	1,241	0,293	0,624

Примітка. R^2 – межсерійний коефіцієнт кореляції.

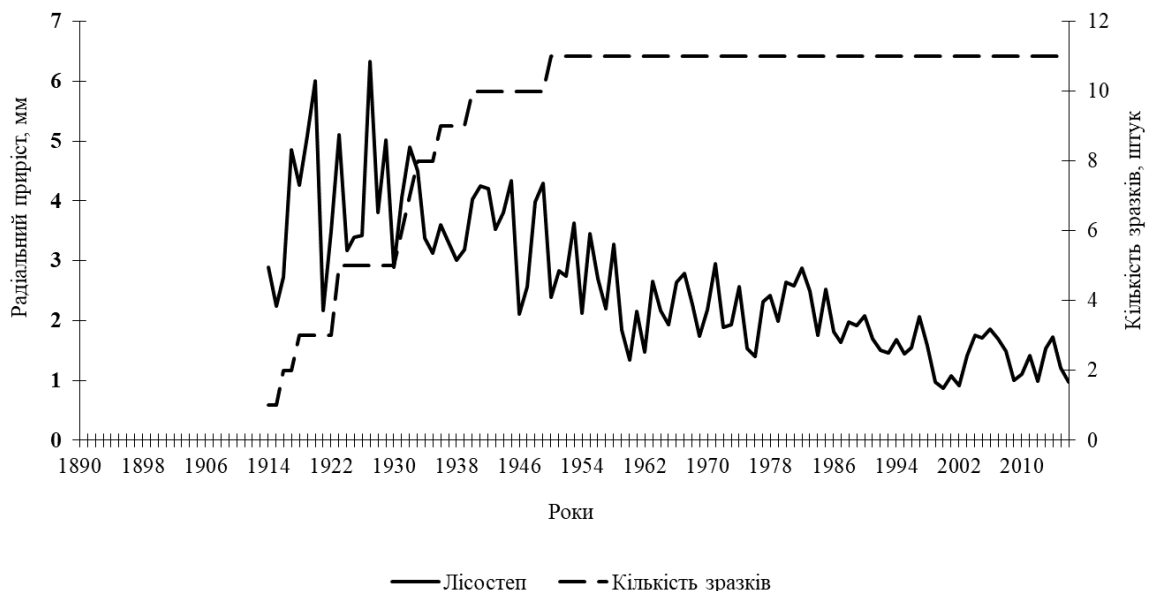
Виявлено реперні роки, тобто роки максимального та мінімального приросту дуба звичайного для Полісся та Лісостепу. Локальні хронології Полісся та Лісостепу є основою для аналізу реперних років. Для дуба звичайного визначено вісім реперних років із однаковою тенденцією росту (один рік із позитивними та сім із негативними тенденціями) для обох насаджень. Для Полісся виявлено 11 реперних років максимального приросту та 14 років мінімального, а для Лісостепу – 8 та 22 роки за досліджувані періоди відповідно (рис. 4.43, табл. 4.39).

Негативні реперні роки характеризуються низькою кількістю річних опадів, які є нижчими, ніж багаторічні, а також посухами влітку, холодними або надто теплими зимами. Водночас позитивний тренд відображає достатній запас води в місцях виростання дерев, особливо влітку. Зокрема 1976 рік наведено як приклад негативного реперного року. У Поліссі сума опадів за квітень–червень у цей рік на 29 % поступалася середнім значенням (123 мм випало в квітні-червні 1976 року, а середнє багаторічне значення за цей період сягало 174 мм). Температури протягом цього періоду перевищили середні

значення майже на 12 % (для 1976 року – 15,1 °С, а багаторічні значення – 13,3 °С). До того ж у Поліссі була надзвичайно холодна зима 1976 р., коли середні зимові температури становили –5,9 °С (за норми –3,8 °С), тобто температури були нижчими від норми більше, ніж в 1,5 разу. Посушливим був також попередній, 1975 рік, що ослабило насадження. Опадів випало на 15 % менше від норми (відповідні дані – 518,2 мм та 607,4 мм). Температура перевищувала норму на 16 % (+8,5°С, а норма – +7,3 °С).



А)



Б)

Рис. 4.43. Динаміка радіального приросту дуба звичайного в Поліссі та Лісостепу: А) Полісся; Б) Лісостеп

Тобто незважаючи на те, що річна температура 1975 р. була більшою, ніж у 1976 р., а опадів випало менше як у Поліссі, так і в Лісостепу, мінімальні прирости визначені у 1976 р., тому що весняний і ранньолітній періоди в період активного формування річних кілець виявилися посушливими, а температура взимку була надзвичайно низькою.

Таблиця 4.39

**Реперні роки у деревно-кільцевих хронологіях дуба
у Поліссі та Лісостепу**

Роки	П.	Л.	Роки	П.	Л.	Роки	П.	Л.	Роки	П.	Л.	Роки	П.	Л.
1890			1917			1944	+		1971	+	+	1998		
1891	+		1918	–	–	1945			1972			1999		
1892			1919			1946			1973			2000	–	–
1893			1920			1947			1974			2001		
1894			1921			1948			1975			2002		
1895	–		1922	–	–	1949			1976	–	–	2003		
1896			1923			1950	–	–	1977			2004		
1897			1924	+		1951			1978		+	2005	–	–
1898			1925			1952			1979		–	2006		+
1899			1926			1953			1980			2007	+	
1900			1927			1954		–	1981	+		2008		
1901			1928			1955			1982		+	2009		
1902	+		1929	–		1956			1983			2010		
1903			1930		–	1957	+	–	1984		–	2011		
1904			1931	+		1958			1985		+	2012		
1905			1932			1959			1986			2013		–
1906	–		1933			1960		–	1987	+	+	2014		
1907			1934			1961			1988		–	2015		+
1908			1935		–	1962			1989			2016		
1909			1936	–		1963			1990					
1910			1937			1964			1991					
1911			1938		–	1965			1992	–	–			
1912			1939			1966	+		1993	–	–			
1913			1940			1967		+	1994					
1914			1941			1968			1995		–			
1915			1942			1969		–	1996	–				
1916			1943		–	1970			1997		+			

Примітка. П – Полісся, Л – Лісостеп; реперні роки (+ позитивні реперні роки, – негативні реперні роки); загальні реперні роки мінімального приросту для Полісся та Лісостепу марковані сірим кольором, реперні роки максимального приросту – темно-сірим кольором).

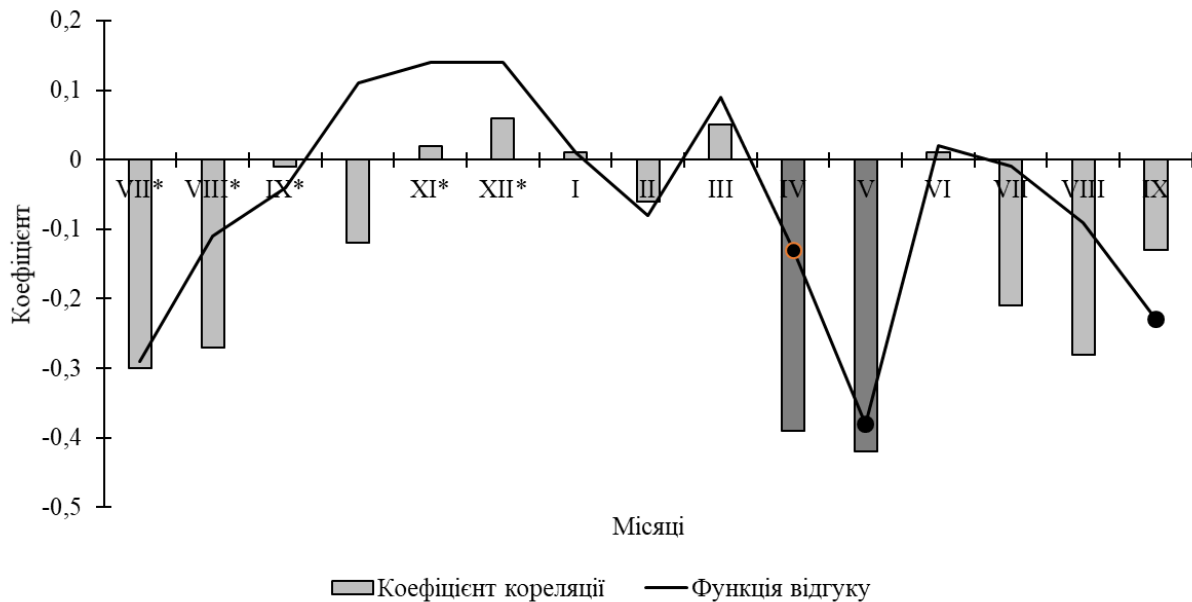
Позитивні реперні роки пов'язані з високою сумою опадів на рік, а також упродовж осінньо-зимового періоду і, насамперед, у травні–липні, коли їхня кількість перевищує середнє значення. Протягом позитивних реперних років визначено сприятливе співвідношення тепла та вологи. Зазвичай кількість опадів перевищувала норму. Наприклад, у Поліссі, у 2007 р. випало за рік 764 мм (норма – 607 мм), що майже на 26 % вище від норми. Для Лісостепу позитивним реперним роком був 2014-ий, протягом квітня–серпня якого випало 318,5 мм опадів за норми 260,7 мм, що на 22 % вище від норми.

Загальні реперні роки мінімального приросту насаджень обох природних зон визначено у 1918, 1922, 1950, 1976 та 2005 рр., а максимального приросту – 1971 та 1987 рр. Подібні результати отримано під час дослідження дубових насаджень в умовах Центрального Полісся, де приріст обмежували низькі та високі температури протягом зими та ранньої весни, а також посухи вегетаційного періоду [6].

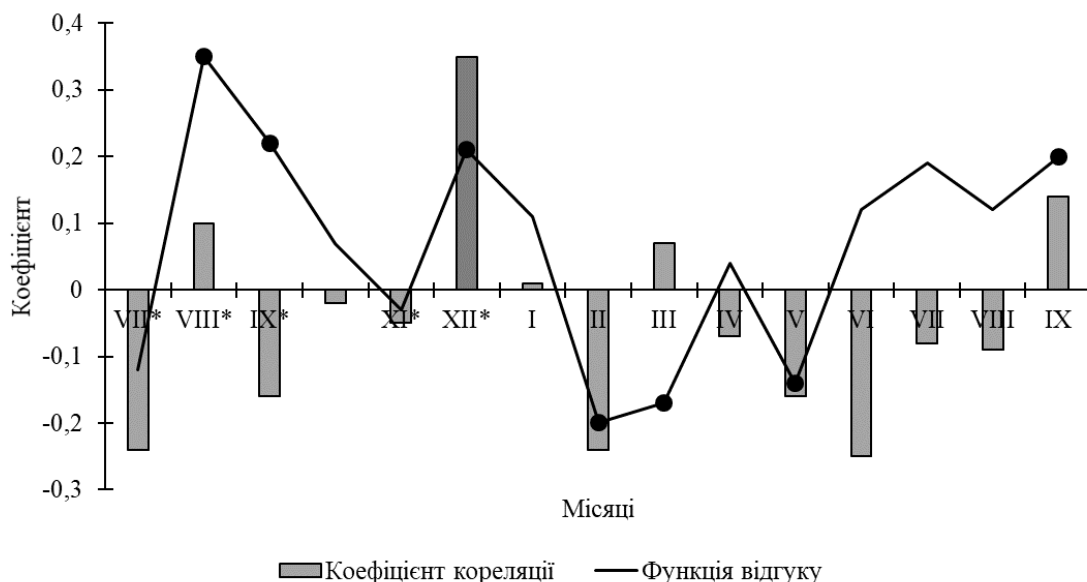
У Поліссі у перший період (1960–1988 рр.) радіальний приріст дуба звичайного обмежували температури травня та червня. Також негативно впливали температури вересня, протягом якого закінчується процес формування річних кілець. Упродовж другого періоду (1989–2013 рр.) серпневі, вересневі та грудневі температури попереднього року позитивно вплинули на приріст поточного року. У першому періоді на радіальний приріст позитивно впливали опади у липні та упродовж майже всієї зими та ранньої весни. У другому періоді опади обмежували приріст як у жовтні попереднього року, коли дерева входили у стан зимового спокою, та відбувалося накопичення вологи в ґрунті, так і упродовж зими та ранньої весни (рис. 4.44).

У лісостепу позитивний вплив температур вегетаційного періоду попереднього року, характерний для першого періоду, зник у другому періоді. Потепління у лютому та березні негативно вплинуло на формування річних кілець. Червневі температури обмежували приріст як у першому, так і у другому періодах. У другому періоді потепління у квітні позитивно вплинуло на приріст. У першому періоді виявлено загалом позитивний вплив опадів на приріст протягом вегетаційного періоду за винятком червня. У другому періоді в цей час температури обмежували приріст і лише в серпні–вересні відмічено позитивні кореляції (рис. 4.45). Отже, для обох природних зон у першому періоді відмічено значущий позитивний вплив температур узимку та рано

навесні (з грудня попереднього року по березень поточного року в Поліссі та від січня до квітня у Лісостепу). Однак у другому періоді ситуація змінюється на протилежну – упродовж холодного періоду температури обмежують приріст. Значущий позитивний вплив температур серпня-вересня виявлено лише для Лісостепу, що може свідчити про пізніше закінчення сезонного процесу ксилогенезу.



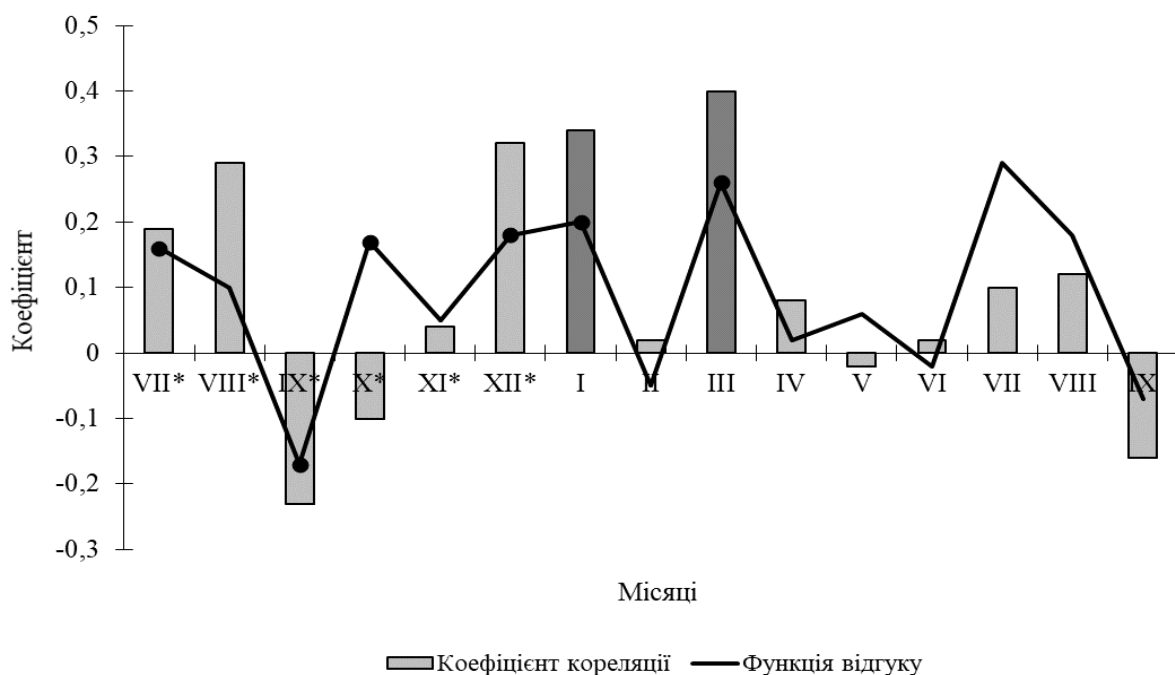
А)



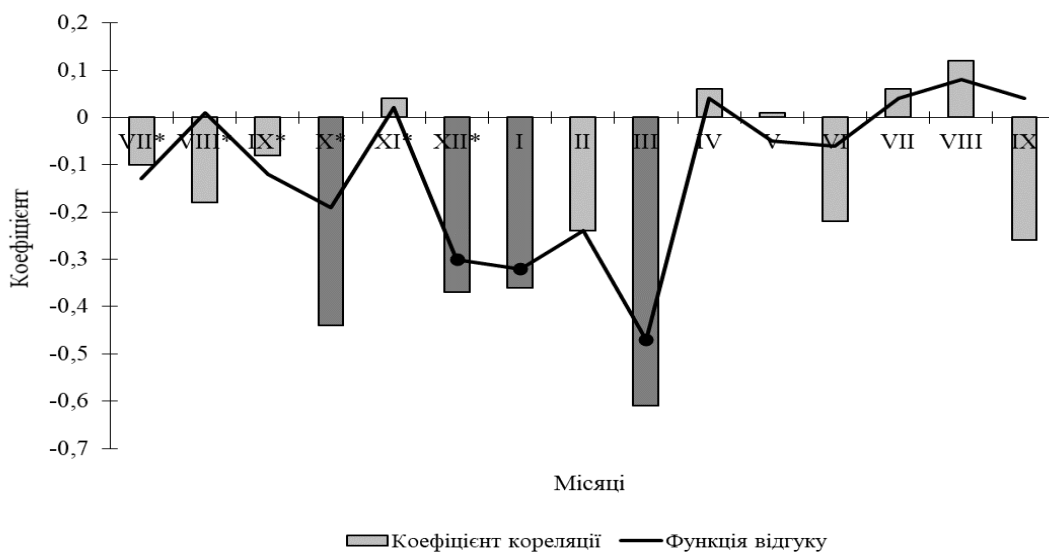
Б)

Рис. 4.44. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середніх місячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Поліссі: А) 1960–1988 рр.; Б) Температура.

1989–2013 рр. (значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($P \leq 0,05$), а місяці попереднього року – зірочками)

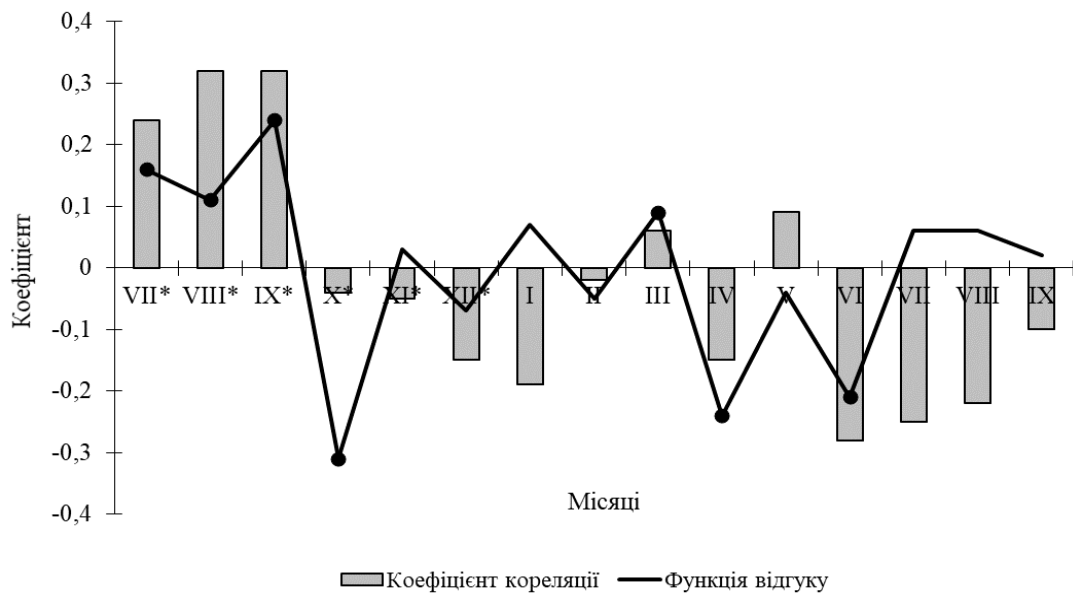


С)

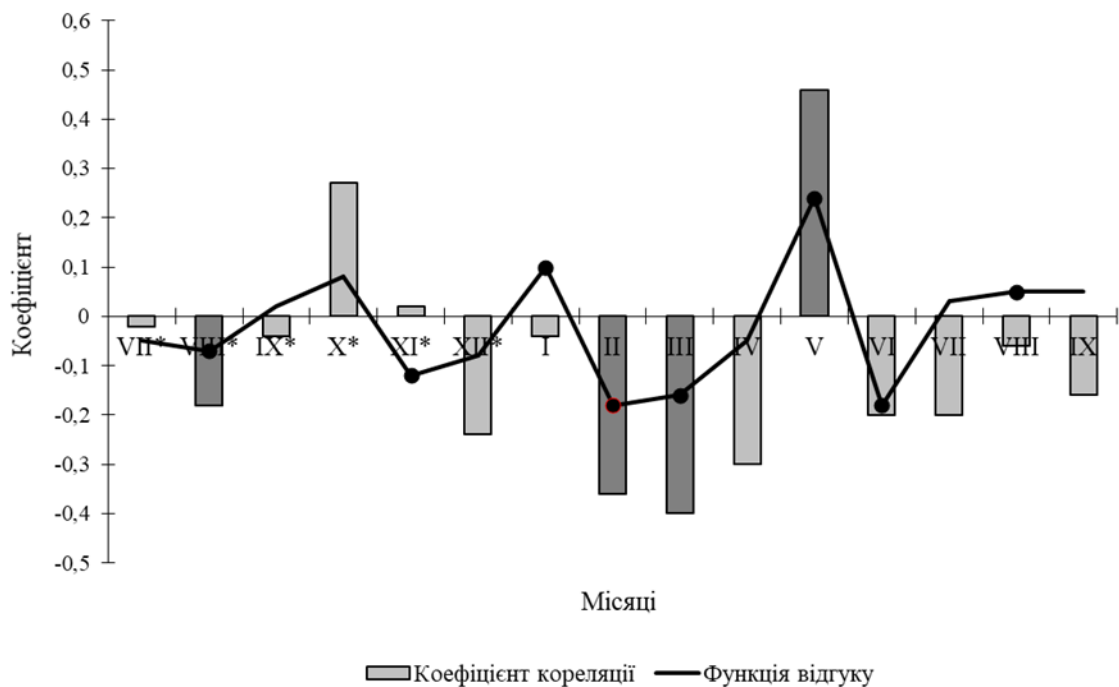


Д)

Продовж. рис. 4.44. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середніх місячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Поліссі: С) Опади. 1960–1988 рр.; Д) Опади. 1989–2013 рр. (значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($P \leq 0,05$), а місяці попереднього року – зірочками)

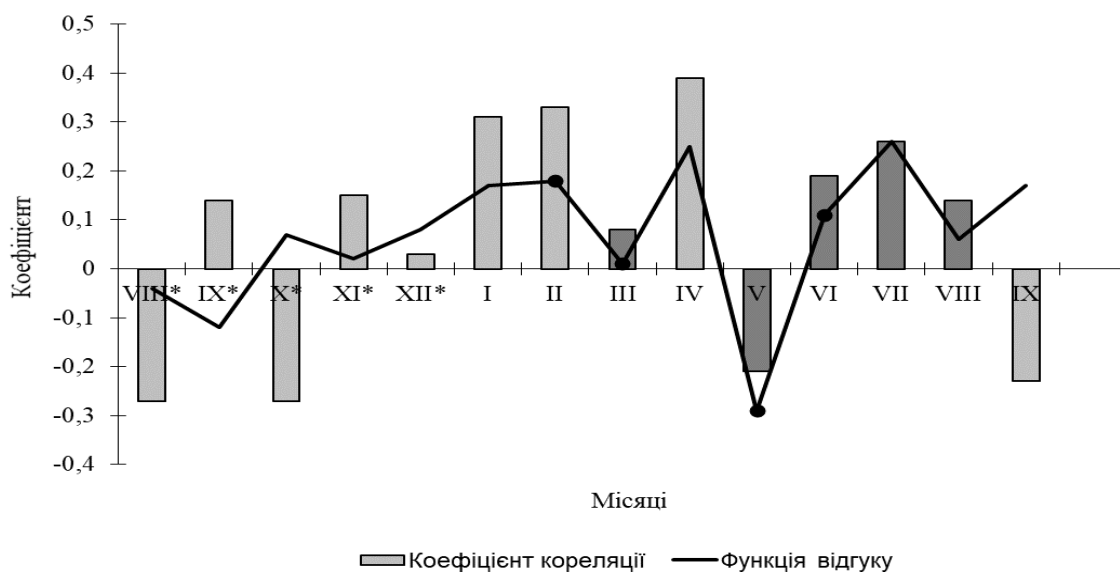


А)

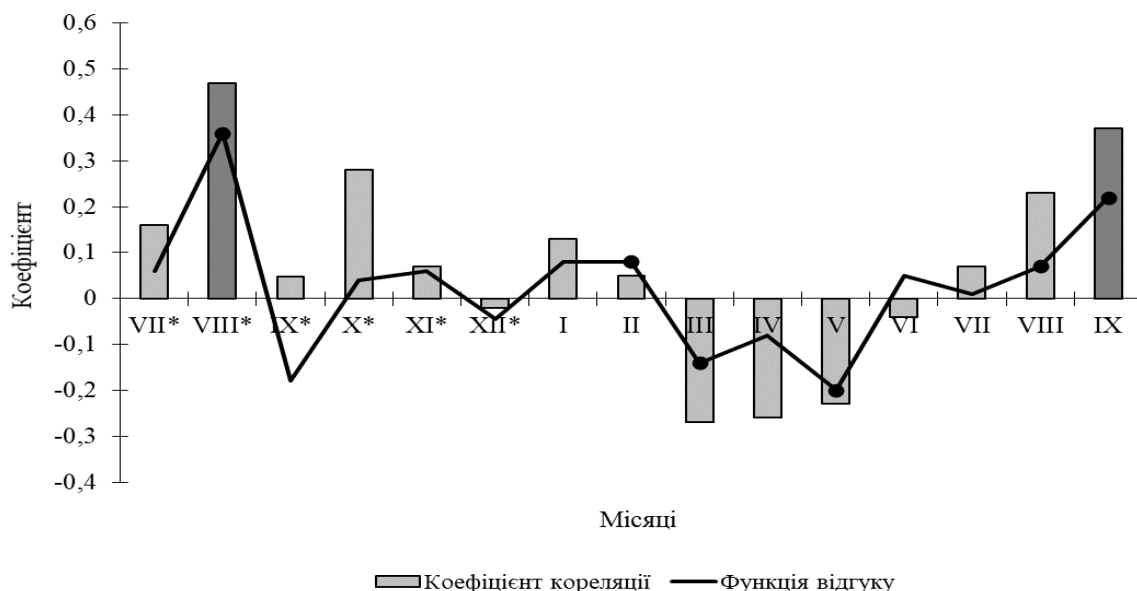


Б)

Рис. 4.45. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Лісостепу: А) Температура. 1960–1988 рр.; Б) Температура. 1989–2013 рр. (значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($P \leq 0,05$), а місяці попереднього року – зірочками).



С)



Д) Опади. 1989–2013 рр.

Продовж. рис. 4.45. Кореляційний аналіз та аналіз функції відгуку для середньомісячних температур та індексної деревно-кільцевої хронології RESIDUAL для шарів річної деревини дуба звичайного в Лісостепу: С) Опади. 1960–1988 рр.; Д) Опади. 1989–2013 рр. (Значущі кореляції на рівні 0,05 вказано сірими стовпчиками, між температурами та радіальним приростом – чорними колами ($p \leq 0,05$), а місяці попереднього року – зірочками).

У першому періоді в Лісостепу, на відміну від Полісся, визначено значущий позитивний вплив температур декількох місяців вегетаційного періоду (липень–вересень) попереднього року на

радіальний приріст дуба. У Поліссі ж виявлено негативний вплив липневих температур попереднього року на формування річних кілець. У лісостепу негативно вплинули на приріст жовтневі температури, тобто їхнє підвищення у цей період могло негативно вплинути на накопичення вологи в ґрунті і, як наслідок, відбулося зменшення приросту в наступному році.

Березневі температури, які є важливими для початку процесу ксилогенезу, позитивно та достовірно впливали на радіальний приріст дуба у Лісостепу. Негативний вплив температур квітня – вересня виявлено для обох насаджень, але значущі негативні впливи розраховано для Полісся в квітні-травні (інтенсивний приріст) та вересні (завершення вегетаційного сезону) та для Лісостепу в квітні та червні.

У другому періоді в Поліссі виявлено значущий позитивний вплив температур серпня, вересня та грудня попереднього року на приріст, на відміну від лісостепу. Негативний вплив температур лютого і березня на приріст визначено в обох насадженнях. У порівнянні з першим періодом, ці зв'язки посилилися, а для Лісостепу у першому періоді навіть виявлено позитивний вплив березневих температур на приріст. У Поліссі травневі температури позитивно впливали на приріст, а в Лісостепу, навпаки – негативно. Для Полісся позитивний вплив температур на приріст є характерним для вересня: підвищення температур у цьому місяці могло продовжити процес ксилогенезу, тобто процес формування річних кілець. Отже, для обох насаджень є спільним те, що у другому періоді, порівняно з першим, значно посилився негативний вплив температур на приріст наприкінці зими – на початку весни.

Під час порівняння впливу опадів на радіальний приріст дуба у Поліссі та Лісостепу у першому періоді виявлено, що для обох насаджень характерний позитивний вплив опадів на приріст у зимово-весняний період. Однак для Полісся він починається раніше – у грудні й закінчується в березні, тоді як для Лісостепу цей позитивний вплив виявляється з грудня і завершується у квітні. У Лісостепу приріст обмежують квітневі температури. Для Полісся характерний позитивний вплив для місяців попереднього року та місяців холодного періоду (від грудня попереднього року до березня поточного року, виняток – лютий) та ранньої весни (березень). Для Лісостепу характерним є позитивний вплив опадів від січня до квітня, за винятком березня, для

якого значущих зв'язків не виявлено. Для літньо-ранньоосінного періоду характерний позитивний вплив опадів лише для Лісостепу.

Упродовж другого періоду для Полісся та Лісостепу спільним є те, що вплив опадів на приріст протягом зимово-весняного періоду став негативним, на відміну від першого періоду, коли він був позитивним. Для Полісся цей період триває з листопада по квітень, а для Лісостепу – від березня до травня. Упродовж вегетаційного періоду опади значуще обмежували приріст лише у серпні-вересні у Лісостепу. Отже, упродовж другого періоду значною мірою втрачено позитивний вплив опадів на приріст у насадженнях як Полісся, так і лісостепу.

Дендрокліматологічний аналіз *Taxus baccata* L. у Польщі вказав на негативний вплив температури взимку та рано навесні як основний чинник, що обмежує приріст. Літня посуха була додатковим чинником, який обмежив формування річних кілець [243]. Для дерев *Sorbus torminalis* L. прохолодні та вологі літні місяці сприяли формуванню широких річних кілець [243].

У південних районах регіону Балтійського моря радіальний приріст *Quercus robur* найбільш сильно та значуще пов'язаний із червневими та літніми опадами для 1943–1972 та 1973–2002 рр. Ширина річного кільця дуба найбільш послідовно та позитивно пов'язана з червневими опадами в рік формування річного кільця. Найбільшу зміну реакції радіального приросту дуба виявлено до температур лютого упродовж двох періодів – 1943–2002 рр. та 1973–2002 рр. [281]. Деревно-кільцеві хронології *Quercus robur* країн Східної Європи показали, що протягом 1943–1972 рр. формування річних кілець позитивно пов'язане із середньою температурою лютого, однак тіснота цих взаємозв'язків знижується за останні десятиліття. Радіальний приріст дуба залежить насамперед від кількості опадів. Висока щорічна кількість опадів, зокрема рясний дощ навесні та влітку, призводить до появи широких кілець дерева. Опади у вигляді дощу та снігу взимку також покращують ріст дерев, підвищуючи рівень ґрунтових вод і покращуючи водопостачання в середовищі існування протягом наступної весни. Посухи навесні та влітку у поєднанні з високою температурою повітря призводять до формування вузьких кілець. Висока чутливість дуба до тривалих дій посухи, що безпосередньо впливають на ріст дерев, може використовуватися як ознака раннього попередження необхідності прийняття належних планів і стратегій управління лісами, які мають вирішальне значення

для підвищення їхньої стійкості до майбутніх екстремальних подій [364].

Радіальний приріст дуба звичайного з південно-східної України має значущі зв'язки з весняними та літніми опадами, а також із температурами квітня, червня та липня, з пізно-зимовими та ранньовесняними температурами [349]. Кореляційним аналізом виявлено негативний вплив опадів на радіальний приріст дуба у липні – серпні 1951–1987 рр. У наступні 1988–2011 рр. зимові опади позитивно вплинули на формування шарів річної деревини дуба. Для 1988–2011 рр. значущих зв'язків індексів радіального приросту дуба з опадами за вегетаційний період не виявлено [113].

Загальний кліматичний сигнал в кільцях дуба в Центральній Європі вказав на спільну позитивну реакцію приросту на опади навесні та влітку (березень і червень) та негативну реакцію на температуру навесні та влітку (квітень та червень), а також на спільну позитивну реакцію на опади, особливо навесні (травень), та негативну – на високі літні температури (особливо в серпні), з вираженим градієнтом з півночі на південь. Теплий попередній грудень і теплий поточний вересень позитивно впливають на ріст дерев, особливо у південно-західній частині досліджуваної території [254].

Аналіз функцій відгуку приросту на кліматичні чинники виявив, що радіальний приріст дуба в заплавних умовах найбільшою мірою пов'язаний із температурами на початку вегетаційного сезону. У мезотрофних умовах на приріст найбільшою мірою впливає режим опадів [124].

Середні значення величин шарів пізньої деревини за 1914–2014 рр. становили $1,59 \pm 1,01$ мм, шарів ранньої деревини – $1,01 \pm 0,03$ мм, шарів річної деревини – $2,60 \pm 0,12$ мм, частки пізньої деревини – $57,46 \pm 1,01$ %. З віком частка пізньої деревини зменшувалася. Так у перше десятиріччя росту насадження (1914–1924 рр.) вона становила близько 80 %, а у 2006–2016 рр. – близько 50 %, тобто зменшилася на 30 %. Найбільш варіабельною виявилася частка пізньої деревини, стандартне відхилення (δ)=14,75. Друге місце посідала річна деревина (δ =1,18), третє – пізня деревина (δ =0,96), а четверте – рання деревина (δ =0,28).

Приріст пізньої, ранньої, річної деревини та частка пізньої деревини апроксимовано кривими другого порядку, причому достовірними виявилися всі рівняння, крім такого для ранньої

деревини. Дані можна використати для короткочасного прогнозу приросту деревини (від 1 року до 3 років).

Найбільш варіабельними чинниками виявилися частка пізньої деревини, річна та пізня деревина, найменш варіабельною – рання деревина. Криві частки пізньої, ранньої та річної деревини апроксимовано кривими другого порядку, що дає змогу зробити короткотерміновий прогноз радіального приросту дуба (рис. 4.46 табл. 4.40).

Таблиця 4.40

Апроксимація річної деревини

Показник	Рівняння	Коефіцієнт детермінації	Кореляційне відношення, η	$t_{\text{факт.}}$	$t_{\text{теор.}}$
Пізня деревина	$y=0,0001x^2-0,0396x+3,1446$	0,6111	$0,78\pm 0,08$	10,04	$3,290_{0,01}$
Рання деревина	$y=-8E-05x^2+0,002x+1,902$	0,4931	$0,70\pm 0,05$	12,93	$3,290_{0,01}$
Річна деревина	$y=-6E-05x^2-0,0374x+4,332$	0,6244	$0,79\pm 0,07$	4,27	$3,290_{0,01}$
Частка пізньої деревини, %	$y=0,0017x^2-0,4172x+72,935$	0,4970	$0,704\pm 0,18$	9,98	$3,290_{0,01}$

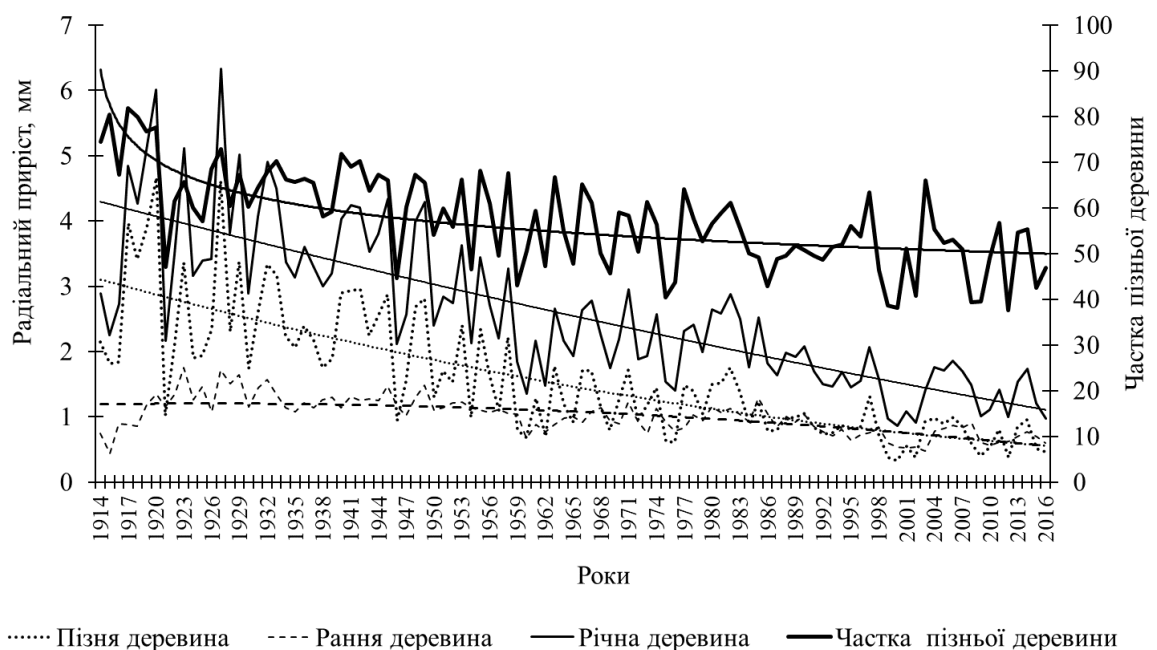


Рис. 4.46. Динаміка річної, ранньої, пізньої деревини та частки пізньої деревини

4.6. Вплив рівня ґрунтових вод на стан дубових деревостанів у Поліссі

4.6.1. Сезонні та річні коливання рівня ґрунтових вод. Масштабні роботи щодо осушення лісових земель і боліт розпочалися в Поліссі у другій половині 19 сторіччя експедицією під керівництвом І. І. Жилинського. Найбільший обсяг цих робіт виконано в 60–70 роки минулого сторіччя. Внаслідок осушення знижуються рівні ґрунтових вод, прискорюється стік талих і дощових вод, змінюються водний і повітряний режими ґрунтів, трансформується рослинність [171].

Загальна характеристика меліоративних систем у Новоград-Волинському фізико-географічному районі. У Новоград-Волинському районі станом на 01.01.2014 року нараховується 54029 га осушуваних земель різних форм власності, зокрема 45575 га сільськогосподарських угідь, із яких 41854 га гончарного дренажу, де на площі 25913 га створюється оптимальний водний режим за допомогою двобічного регулювання. Технічний контроль за гідрогеолого-меліоративним станом меліорованих земель здійснюють Житомирська гідрогеолого-меліоративна експедиція та Новоград-Волинське міжрайонне управління водного господарства [52].

На території Житомирської області тип водного живлення переважно ґрунтово-атмосферний та атмосферний. Основними факторами, які вплинули на РГВ на меліорованих землях, стали кількість атмосферних опадів, температурний режим повітря та особливості рельєфу місцевості. Доступність ґрунтових вод може кардинально впливати як на видовий склад, так і на продуктивність лісів. Важливу роль відіграють для стану насаджень саме глибини залягання РГВ, амплітуди їхніх змін і структури рівня, тривалості періодів підйому та спаду рівня, водно-фізичних властивостей водовмісних порід і ґрунтів зони аерації [122].

За аналітичною довідкою про меліоративний стан осушуваних сільськогосподарських угідь і заходи щодо підвищення ефективності використання меліорованих земель Новоград-Волинського району, наданою співробітниками Житомирської гідрогеолого-меліоративної експедиції та її начальником І. В. Данилком, у Новоград-Волинському районі станом на 01.01.2014 року нараховувалося 54029 га осушуваних земель різних форм власності, зокрема 45575 га сільськогосподарських угідь, із них 41854 га гончарного дренажу [52]. Технічний контроль за

гідрогеолого-меліоративним станом меліорованих земель проводять Житомирська гідрогеолого-меліоративна експедиція та Новоград-Волинське міжрайонне управління водного господарства. Гідрогеолого-меліоративне обстеження є одним із основних видів комплексу робіт, які виконуються гідрогеолого-меліоративною експедицією з метою оцінювання меліоративного стану осушуваних земель, технічного стану гідромеліоративних систем і впливу меліорації на прилеглі території. У процесі обстеження візуально оцінюють заболоченість земель, вологість ґрунтів, стан і розвиток сільськогосподарських культур, технічний стан гідротехнічних споруд, визначають площі та причини переосушення та перезволоження земель, несвоєчасного відводу поверхневих вод і проявів екзогенних процесів, оцінюють ефективність використання земель і проведення на них агро-меліоративних та інших заходів [171].

Причинами незадовільного стану лісостанів залишаються близьке залягання рівнів ґрунтових вод, несвоєчасне відведення поверхневих вод, а також не проведення культуртехнічних заходів. Несприятливий меліоративний стан осушувальних систем припадає переважно на їхні понижені ділянки, де відбувається нестійке та періодичне перезволоження. Основною причиною несприятливого стану є незадовільний технічний стан частини внутрішньогосподарських меліоративних систем (дренажу, каналів, споруд), які не забезпечують оперативне регулювання рівнів ґрунтових вод, потребують ремонту або технічної реконструкції.

У Новоград-Волинському районі спостереження за рівнями ґрунтових вод проводили на Марушівській, Повчинській, Церемській осушувальних системах і ділянках гончарного дренажу с. Пилиповичі, с. Гульськ, с. Токарів, с. К. Майдан, с. Красилівка, с. Сусли, на яких знаходяться 38 спостережних свердловин. Коливання РГВ в постійних спостережних свердловинах, закладених на меліорованих землях, відповідає коливанню РГВ під лісовими масивами, які знаходяться під їхнім впливом [52].

Сезонна динаміка РГВ обумовлена тим, що в холодні періоди року витрати вологи на випаровування та транспірацію практично відсутні, і в цей період волога накопичується у вигляді снігу та льоду. РГВ у холодні періоди року міняється мало і може навіть дещо понижуватися за рахунок дренажу річками та внаслідок ґрунтового стоку. Водночас, у зв'язку з невеликою глибиною промерзання ґрунту, частими відлигами, зменшенням транспірації починаючи з вересня,

найчастіше РГВ поступово зростає, досягаючи максимальних значень у березні – квітні. Від травня до вересня, навпаки, РГВ поступово знижується. Таким чином, у квітні визначають максимум РГВ, а в жовтні-листопаді – його мінімум (рис. 4.47).

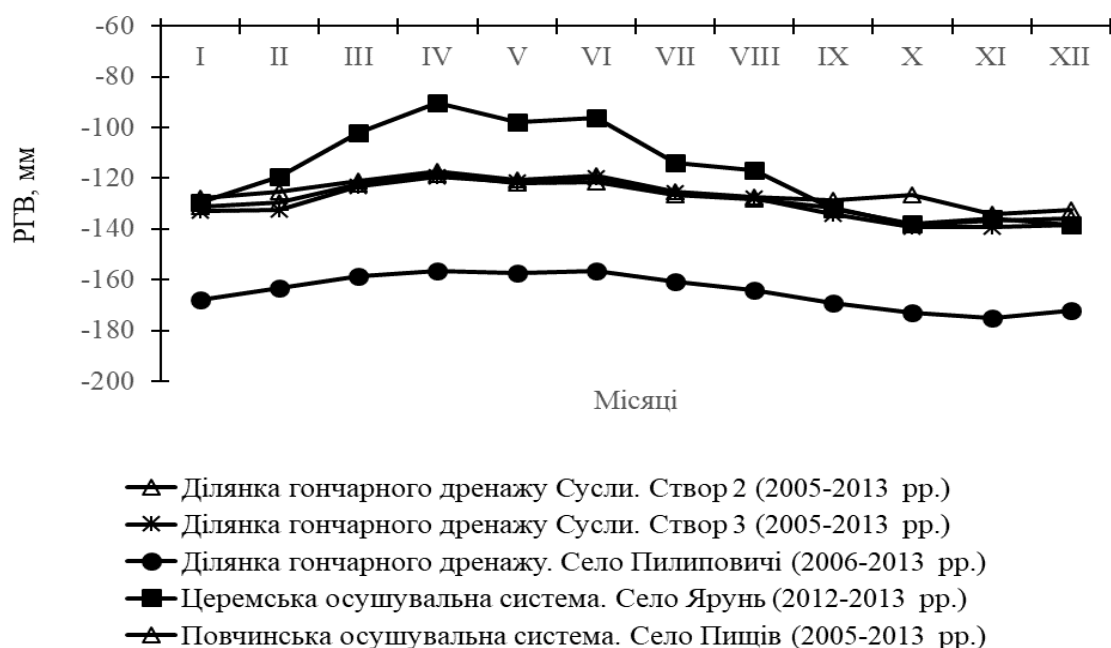


Рис. 4.47. Сезонні коливання РГВ у Новоград-Волинському районі

Кореляційний аналіз зв'язку між рядами динаміки РГВ виявив їхню високу синхронність для всіх свердловин ($r -0,90-0,99$; $p < 0,001$).

Сезонна динаміка РГВ найчіткіше виявляється в зимово-весняних підйомах, весняно-літніх спадах, осінніх підйомах і порівняно стабільному зимовому стані під час промерзання верхніх ґрунтових горизонтів. Узимку внаслідок незначної інфільтрації опадів РГВ знижується, навесні – значно підвищується з максимумом у березні. Влітку РГВ поступово підвищується. Найвищі значення РГВ зафіксовано на півночі району досліджень (на ділянці гончарного дренажу Пилиповичі) та на півдні (Церемська осушувальна система. Село Велика Горбаша). Криві коливання РГВ для ділянок гончарного дренажу Сусли-2 та Сусли-3, Церемської осушувальної системи (с. Ярунь) та Повчинської осушувальної системи (с. Пищів) є подібними.

В зв'язку з тим, що упродовж періоду спостережень за РГВ відбувалася зміна свердловин, а тривалість спостережень була різною, для аналізу відібрано свердловини, де збереглися дані за максимальний період (рис. 4.48–4.53).

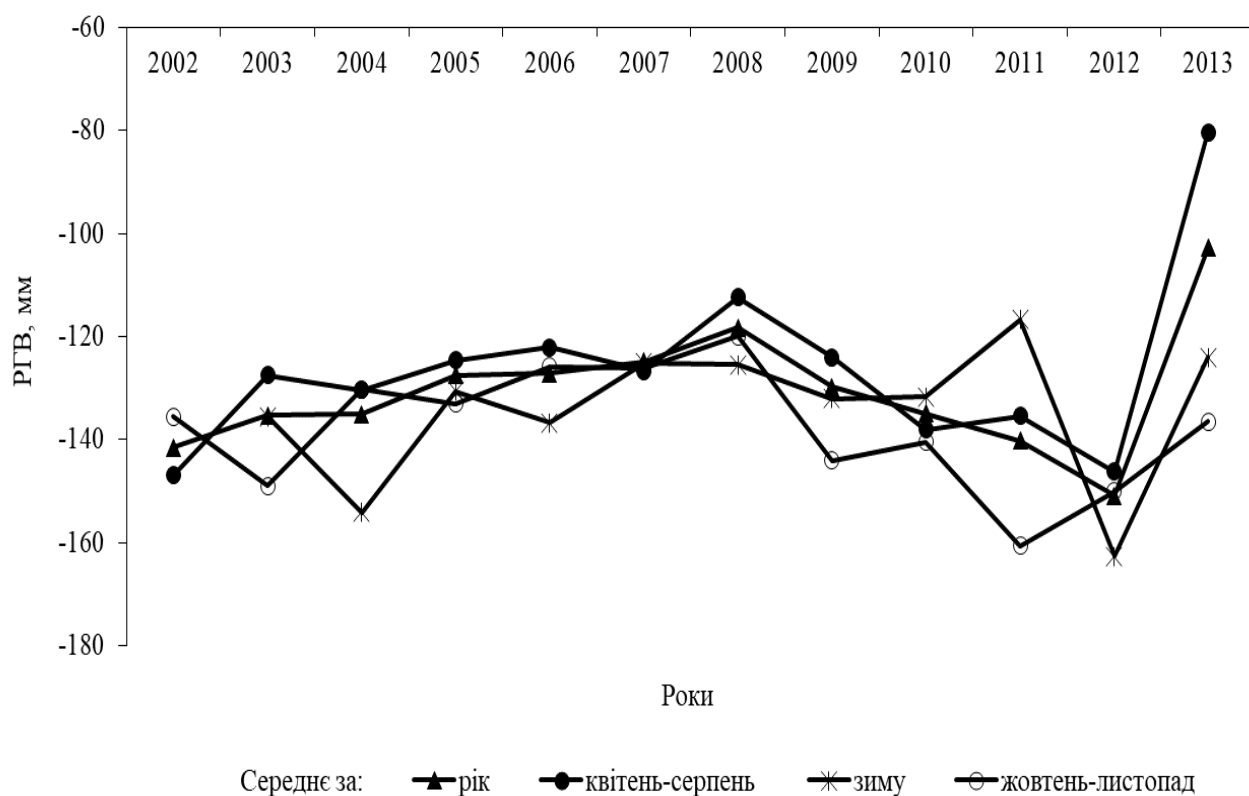


Рис. 4.48. Багаторічна динаміка РГВ у свердловині Сусли-2

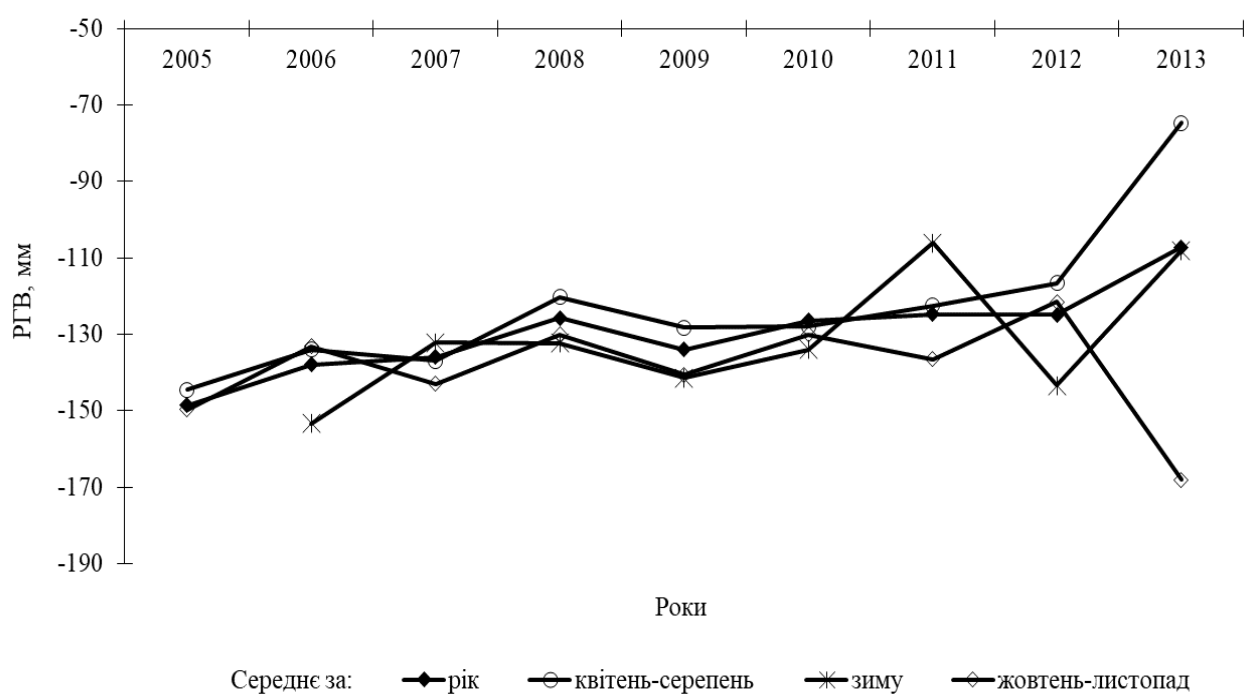


Рис. 4.49. Багаторічна динаміка РГВ в свердловині Сусли-3

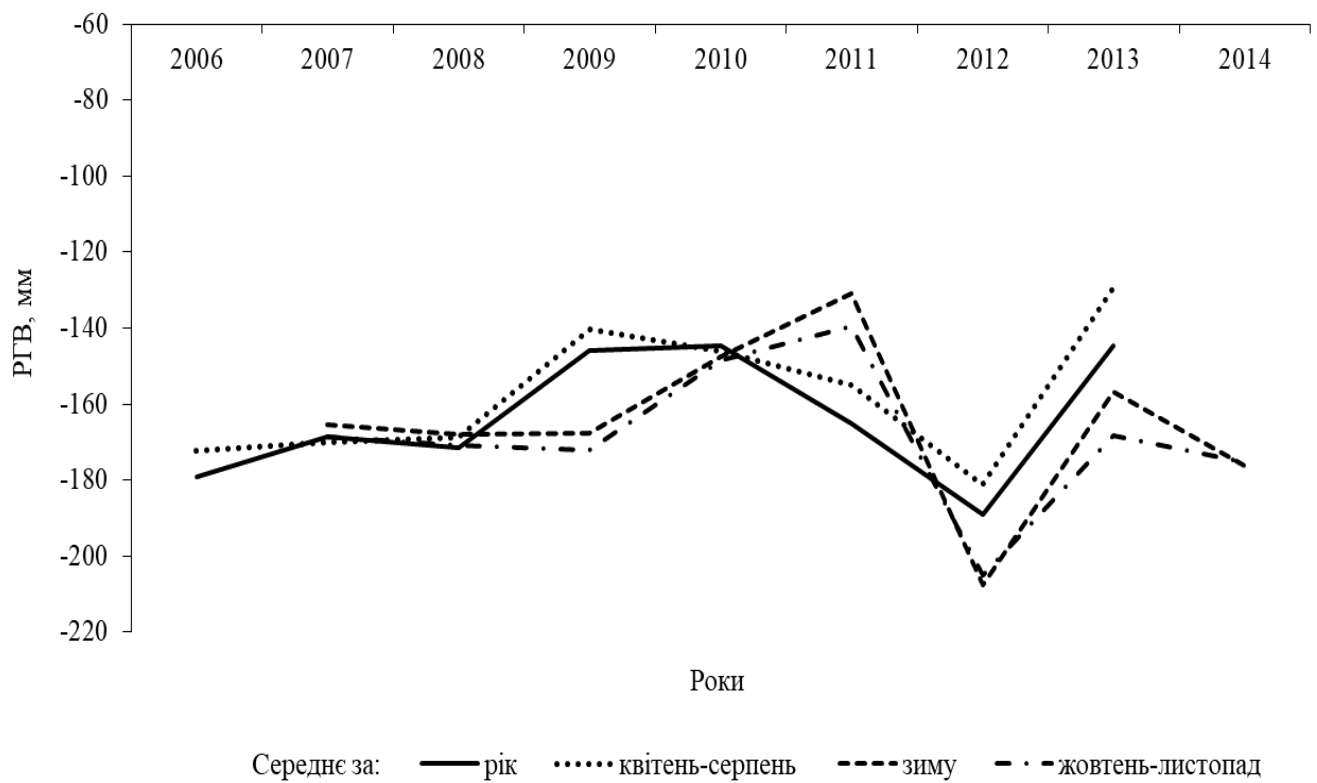


Рис. 4.50. Багаторічна динаміка РГВ в свердловині Пилиповичі

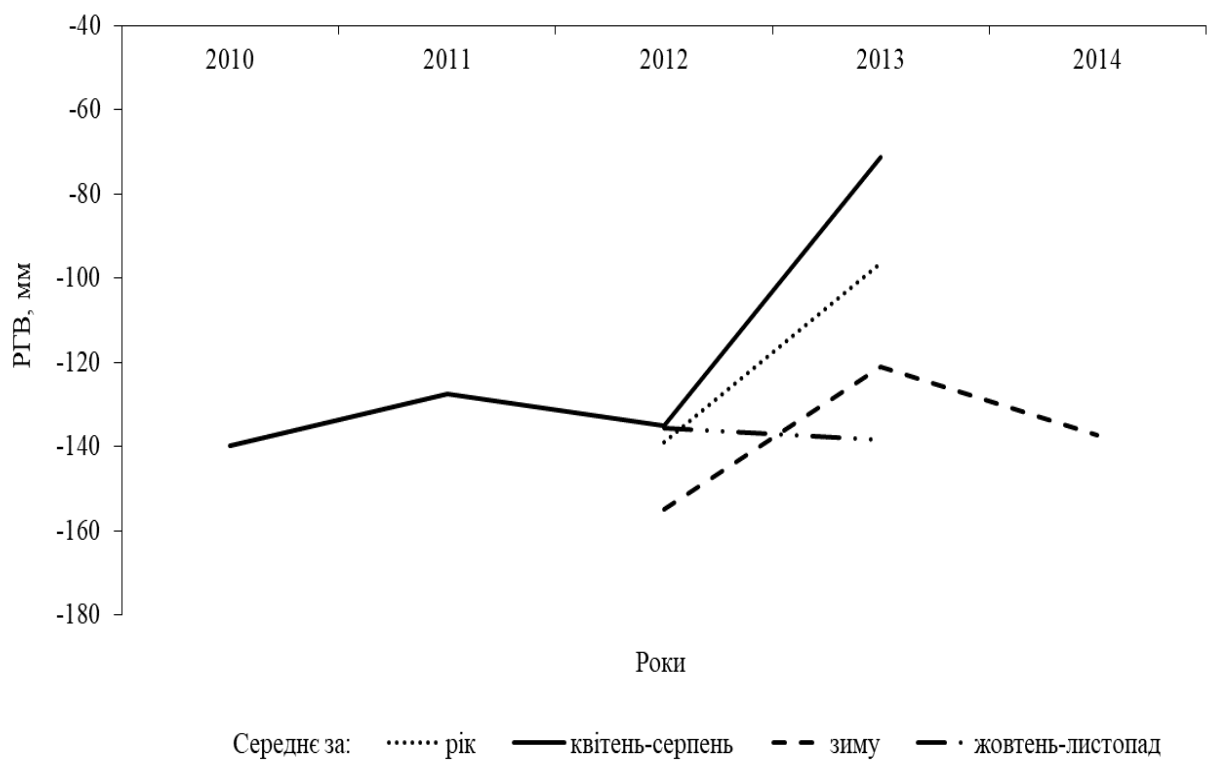


Рис. 4.51. Багаторічна динаміка РГВ на Церемській осушувальній системі с. Ярунь

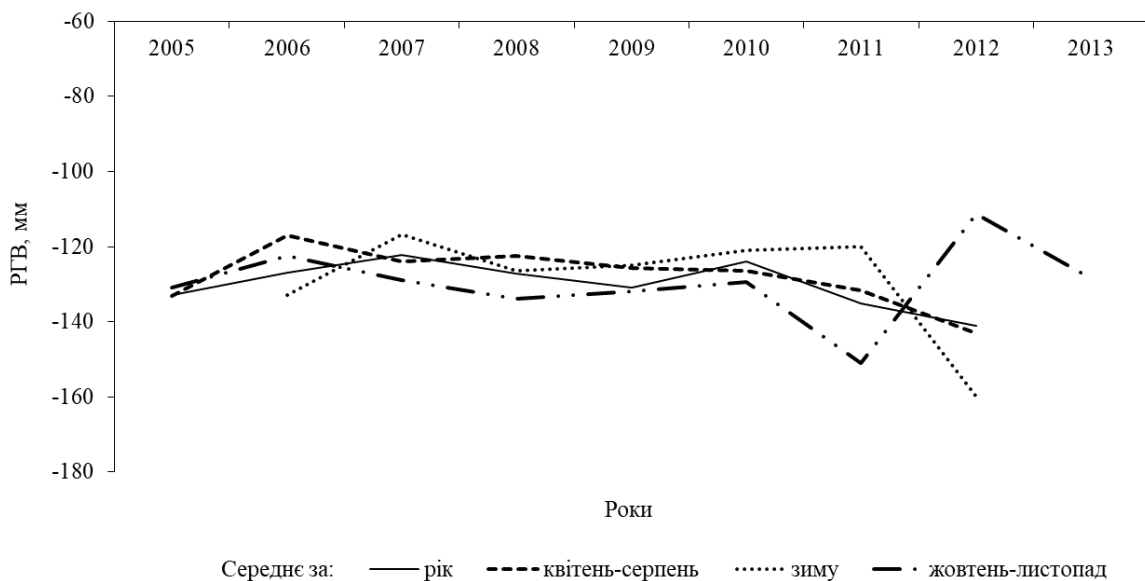


Рис. 4.52. Багаторічна динаміка РГВ на Церемській осушувальній системі с. Велика Горбаша

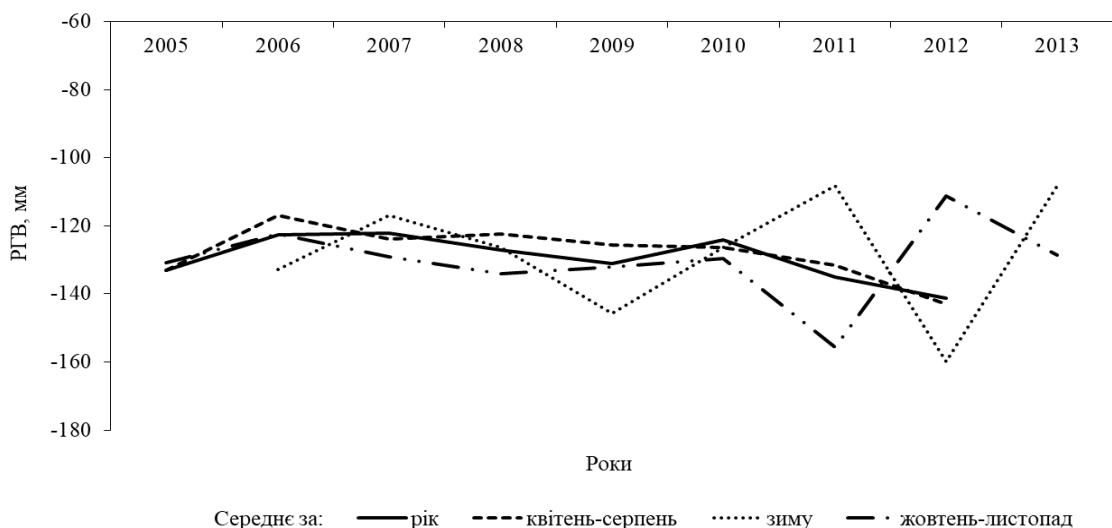


Рис. 4.53. Багаторічна динаміка РГВ на Повчинській осушувальній системі с. Пищів

Виявлено, що упродовж 2008–2013 рр. РГВ знижується в більшості свердловин: на ділянках гончарного дренажу Пилиповичи, Сусли-2 та Сусли-3, а також Повчинської осушувальної системи (с. Пищів). Водночас на Церемській осушувальній системі відбувається зворотній процес – підвищення РГВ (рис. 4.49–4.50). Встановлено високі рівні РГВ для 2006, 2007, 2008, 2009, 2010 та 2013 рр. Причинами цього явища є наднормова кількість опадів за рік в 2010 та 2013 рр., коли випало на 25 % більше норми. У 2009 році випало на 56 % більше норми опалів у жовтні-листопаді. Причини високого РГВ у 2006 та 2008 рр. не встановлено.

Низькі значення РГВ виявлено у 2004 році внаслідок того, що середньорічна сума опадів була на 13 % меншою від середнього значення, у 2005 році – на 10 %. У 2007 році опадів випало вище норми, але зимові температури перевищували норму в 5 разів, а березневі – втричі, що призвело до поверхневого інтенсивного стоку та не сприяло накопиченню вологи в ґрунтах. У 2012 році опадів випало на 24 % більше від норми, але березневі температури перевищували норму на 47 %, що призвело збільшення інтенсивності поверхневого стоку внаслідок швидкого танення снігу. Це сприяло зниженню РГВ (рис. 4.49–4.50).

За останнє десятиріччя за даними Житомирської гідрогеолого-меліоративної експедиції та Новоград-Волинського міжрайонного управління водного господарства відбулося зниження рівня ґрунтових вод як упродовж вегетаційного періоду, так і упродовж зими (рис. 4.49–4.51).

За даними 11-річних спостережень (2003–2013 рр.) виявлено, що внаслідок збільшення посушливості клімату та зменшення кількості атмосферних опадів значно знизилися РГВ в більшості свердловин. У 2014 році вони становили 1,46 м за норми 1,00–1,20 м. Винятком є Церемська осушувальна система, де внаслідок вторинного підтоплення РГВ підвищився.

4.6.2. Взаємозв'язок між РГВ та кліматом. Кореляційний аналіз між РГВ та кліматичними чинниками проведено для свердловини Сусли-22, що має найдовший ряд даних РГВ (табл. 4.41).

Таблиця 4.41

Кореляційні зв'язки між РГВ в свердловині Сусли-2 та температурами

t°C	РГВ за місяцями та періодами							
	II	VI	VII	VIII	IX	Рік	IV–X	XII
II	–0,61 ⁺	–0,68 ⁺	–0,71 ⁺	–0,65 ⁺	–0,61 ⁺	–0,75 ⁺	–0,69 ⁺	–
VII	–	–	0,82*	0,87*	0,81*	0,74 ⁺	–	–
VIII	–	–	–	–	–	–	–	–0,68 ⁺

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05; * – значущість на рівні 0,01; ** – значущість на рівні 0,001; – зв'язки не значущі; римськими цифрами показано місяці року.

Кореляційним аналізом виявлено суттєві зв'язки між березневими опадами, які негативно впливають на РГВ протягом березня–серпня, та середніми значеннями за рік та квітень–серпень. Травневі

опади впливають негативно на рівень РГВ в грудні, а опади грудня значуще впливають на середньорічний РГВ. Тобто, найбільш чіткі зворотні взаємозв'язки виявлено між температурами упродовж лютого та РГВ упродовж лютого-вересня та середньорічними значеннями, а також між липневими температурами та РГВ липня-вересня та середньорічними значеннями (табл. 4.42).

Таблиця 4.42

Кореляційні зв'язки між РГВ в свердловині Сусли-2 та опадами

Опади, мм	РГВ за місяцями та періодами							
	III	IV	V	VI	VIII	Рік	IV–VIII	XII
III	–0,72 ⁺	–0,85 ^{**}	–0,86 ^{**}	–0,78 [*]	–0,84 [*]	–0,77 [*]	–0,85 ^{**}	–
V	–	–	–	–	–	–	–	–0,76 [*]
XII	–	–	–	–	–	0,65 ⁺	–	–

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05; ^{*} – значущість на рівні 0,01; ^{**} – значущість на рівні 0,001; римськими цифрами показано місяці року.

Кореляційним аналізом виявлено суттєві зворотні зв'язки між температурами за лютий, з одного боку, та РГВ за лютий, червень, липень, серпень, вересень, середньорічними значеннями та середніми значеннями ґрунтових вод за квітень-жовтень – з іншого. Тобто чим вищі температури в лютому, тим глибше залягають ґрунтові води в червні-вересні, в зв'язку з тим, що при підвищенні температури в холодні періоди року тала вода не поповнює ґрунтові води, а формує поверхневий стік. Температури упродовж лютого важливі для РГВ, оскільки в цей період відбувається танення снігу, що впливає на запаси вологи у ґрунті та РГВ. Обчислено негативні кореляції між РГВ та річними й липневими температурами. Серпневі температури негативно вплинули на РГВ у грудні.

Опади за квітень суттєво позитивно вплинули на липневі та серпневі РГВ в свердловині Пилиповичі. Травневі опади негативно вплинули на РГВ у вересні-грудні. Опади за листопад та жовтень–листопад негативно вплинули на РГВ в листопаді і грудні. Опади упродовж листопада також негативно вплинули на РГВ грудня. Опади упродовж серпня та вегетаційного періоду позитивно вплинули на середньорічні значення РГВ (табл. 4.43). Для свердловини Пилиповичі значущих зв'язків між РГВ та температурами не виявлено.

Проведено аналіз зв'язків між кліматичними чинниками та РГВ на Повчинській осушувальній системі (с. Пищів) за період 2005–

2013 рр. Виявлено додатні зв'язки між середньорічними значеннями РГВ та температурами за серпень ($R=+79$, $t=0,05$).

Таблиця 4.43

Кореляційні зв'язки між РГВ у свердловині Пилиповичі та опадами (2006–2013 рр.)

Опади, мм	Рівень ґрунтових вод, см							
	VII	VIII	IX–	X	XI	XII	Рік	IV– VIII
IV	0,72 ⁺	0,76 ⁺	–	–	–	–	–	–
VIII		0,83 ⁺					0,82 ⁺	0,84 ⁺
V	–	–	–0,79 ⁺	–0,74 ⁺	–0,78 ⁺	–0,92 [*]	–	–
XI	–	–	–	–	–0,73 ⁺	–0,71 ⁺	–	–
X–XI	–	–	–	–	–0,73 ⁺	–	–	–

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05; ^{*} – значущість на рівні 0,01; римськими цифрами показано місяці року.

Кількість опадів у березні негативно вплинула на РГВ у квітні, травні, червні, липні, жовтні. Зворотні зв'язки виявлено також між березневою кількістю опадів і середньорічними значеннями РГВ та за квітень-серпень. Кількість опадів у травні негативно вплинула на РГВ у грудні. Червнева кількість опадів негативно вплинула на річні РГВ (табл. 4.44).

Таблиця 4.44

Кореляційні зв'язки між РГВ на Повчинській осушувальній системі (с. Пищів) за період 2005–2013 рр.

Опади, мм	Рівень ґрунтових вод, см							
	IV	V	VI	VII	X	XII	Рік	IV–VIII
Місяць								
III	–0,80 [*]	–0,79 ⁺	–0,71 ⁺	–0,78 ⁺	–0,75 ⁺	–	–0,70 ⁺	–0,75 ⁺
VIII	–	–	–	–	–	–	–	–
V	–	–	–	–	–	–0,87 [*]	–	–
XI	–	–	–	–	–	–0,73 ⁺	–	–
VI	–	–	–	–	–	–	–0,71 ⁺	–

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05; ^{*} – значущість на рівні 0,01; римськими цифрами показано місяці року.

Кореляційний аналіз між кліматичними чинниками та РГВ на Церемській осушувальній системі (с. Велика Горбаша) за 2007–2013 рр. виявив, що високі температури протягом березня сприяють

високому РГВ протягом березня–вересня и впливають також на середньорічні значення РГВ. Температури січня суттєво позитивно впливають на РГВ протягом листопада, грудня, та грудня-листопада. Квітневі температури негативно впливають на РГВ протягом жовтня–листопада та температури протягом листопада негативно впливають на РГВ в жовтні-листопаді. Березнева кількість опадів негативно впливає на РГВ у травні, травневі опади негативно впливають на РГВ грудня, червневі – мають також негативний вплив на РГВ червня-серпня, а зимові опади мають негативний вплив на РГВ лютого та березня. Однією із причин зниження РГВ вод за вегетаційний період є також незначне промерзання ґрунту, що дає змогу значній кількості атмосферних опадів і талих вод фільтруватися на глибину і в короткий термін досягти рівня ґрунтових вод. У зв'язку з цим поверхнєве перезволоження ґрунту було незначним. Отже, упродовж 2008–2013 рр. РГВ знижується в більшості свердловин: на ділянках гончарного дренажу Пилиповичи, Сусли-2 та Сусли-3, а також Повчинської осушувальної системи (село Пищів), які розташовані в лісовій зоні. Водночас на Церемській осушувальній системі в лісостеповій зоні відбувається підвищення РГВ протягом останнього десятиріччя. Цьому сприяють особливості ґрунтового покриття, материнських порід та стоку району (табл. 4.45–4.46).

Таблиця 4.45

Кореляційні зв'язки між температурами та РГВ на Церемській осушувальній системі (с. Велика Горбаша) за 2007–2013 рр.

t°C	III	IV	V	VI	VII	VIII
III	0,88*	0,91*	0,96**	0,97**	0,95*	0,96**
I	—	—	—	—	—	—
IV	—	—	—	—	—	—
XI	—	—	—	—	—	—
III	0,92*	—	—	—	0,96**	0,97**
I	—	0,84 ⁺	0,89*	0,83 ⁺	—	—
IV	—	—	—	–0,83 ⁺	—	—
XI	—	—	—	–0,85 ⁺	—	—

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05; * – значущість на рівні 0,01; ** – значущість на рівні 0,001; римськими цифрами показано місяці року; tr.°C – середньорічна температура

Таблиця 4.46

Кореляційні зв'язки між опадами та РГВ на Церемській осушувальній системі (с. Велика Горбаша) за 2007–2013 рр.

Опади, мм	Рівень ґрунтових вод, см						
	II	III	V	VI	VII	VIII	XII
III	–	–	–0,76 ⁺	–	–	–	–
V	–	–	–	–	–	–	–0,79 ⁺
VI	–	–	–	–0,78 ⁺	–0,79 ⁺	–0,77 ⁺	–
Зима	–0,77 ⁺	–0,73 ⁺	–	–	–	–	–

Примітка. ⁺ – значущість на рівні 0,05 римськими цифрами показано місяці року.

Виявлено високі рівні РГВ у 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 рр. Причинами цього явища є наднормова кількість опадів на рік – у 2010 та 2013 рр. випало на 25 % більше норми. В 2009 році випало на 56 % більше норми в жовтні-листопаді. Причин високого РГВ в 2006 та 2008 рр. не знайдено.

Низькі значення РГВ виявлено у 2004 році внаслідок того, що середньорічна сума опадів була на 13 % меншою від середнього у 2005 році – на 10 %. У 2007 році опадів випало вище норми, але зимові температури перевищували норму в п'ять разів, а березневі – в три рази, що призвело до поверхневого інтенсивного стоку та не сприяло накопиченню вологи ґрунтів. У 2012 році опадів випало на 24 % більше від норми, але березневі температури перевищували норму на 47 %, що спричинило швидке танення снігу, збільшення поверхневого стоку та зниження внаслідок цього РГВ.

Проведений кореляційний аналіз між кліматичними чинниками та РГВ на Церемській осушувальній системі (с. Велика Горбаша) за 2007–2013 рр. виявив, що високі температури протягом березня сприяють високому РГВ протягом березня – вересня и впливають також на середньорічні значення РГВ. Температури січня суттєво позитивно впливають на РГВ протягом листопада, грудня, та грудня-листопада. Квітневі температури негативно впливають на РГВ протягом жовтня – листопада, а температури протягом листопада негативно впливають на РГВ в жовтні – листопаді.

Березнева кількість опадів негативно впливає на РГВ травня, травневі опади негативно впливають на РГВ грудня, червневі – мають також негативний вплив на РГВ червня-серпня та зимові мають негативний вплив на РГВ лютого та березня.

Для свердловини Сусли-2 чим вищі температури в лютому, тим, нижчим є РГВ протягом не тільки лютого, але й червня-вересня. Високі липневі температури призводять до зниження РГВ протягом липня – вересня. Чим вища кількість березневих опадів – тим нижчий РГВ протягом березня – травня.

Для свердловини Пишиповичі суттєвих зв'язків між температурами та РГВ не виявлено, водночас виявлено позитивні кореляції між опадами протягом квітня та РГВ за липень та серпень. Також серпневі опади позитивно вплинули на РГВ цього місяці. Негативно вплинули опади травня на РГВ вересня – грудня, а опади протягом листопада – на РГВ протягом листопада – грудня

Для Повчинської осушувальної системи виявлено, що чим більша кількість опадів у березні – тим вищий РГВ протягом квітня – липня та жовтня. Опади за листопад негативно впливають на опади в грудні. Серпневі температури значуще вплинули на середньорічні температури.

Проведений кореляційний аналіз між кліматичними чинниками та РГВ на Церемській осушувальній системі (с. Велика Горбаша) за 2007–2013 рр. виявив, що високі температури протягом березня сприяють високому РГВ протягом березня – вересня і впливають також на середньорічні значення РГВ. Температури січня значуще позитивно впливають на РГВ протягом листопада, грудня, та грудня–листопада. Квітневі температури негативно впливають на РГВ протягом жовтня–листопада та температури протягом листопада негативно впливають на РГВ в жовтні – листопаді.

Кількість опадів у березні негативно впливає на РГВ травня, травневі опади негативно впливають на РГВ грудня, червневі – мають також негативний вплив на РГВ червня – серпня, а зимові мають негативний вплив на РГВ лютого та березня.

Тобто в лісовій зоні визначено менший вплив температур на РГВ, ніж у лісостеповій зоні, що пояснюється вищим РГВ.

У лісовій зоні тренд РГВ невинно підвищується внаслідок підвищення температур протягом зими, весни та літа в період 2006–2013 рр. До того ж у холодний період випадає більше опадів, що також сприяє підвищенню РГВ. Недостатні запаси вологи склалися на осушувальних системах, що переважно розташовані на підвищених ділянках місцевості. Ремонтні роботи проводяться переважно на міжгосподарській мережі (ремонт споруд та очищення каналів). На внутрішньогосподарській мережі, яка знаходиться на балансі

сільськогосподарських і фермерських господарств, у зв'язку з відсутністю коштів експлуатаційні заходи майже не проводяться.

В лісостеповій зоні протягом 2006–2010 рр. тренд РГВ підвищувався, а пізніше – протягом 2011–2013 рр. РГВ невпинно зменшувався внаслідок особливостей стоку в цьому районі.

Високі рівні РГВ на осушуваних системах зумовлені затопленням понижених ділянок талими водами через незадовільний стан бічної осушувальної мережі та гідротехнічних споруд на ній, неможливістю регулювання водного режиму через несправність шлюзів-регуляторів на магістральних каналах, замущеністю та забур'яненістю значних площ осушуваних земель.

Таким чином, виявлено високі рівні РГВ в 2006, 2007, 2008, 2009, 2010, 2013 рр. Причинами цього явища є наднормова кількість опадів на рік (25–56 %). Упродовж 2008–2013 рр. РГВ знижується в більшості свердловин: на ділянках гончарного дренажу Пилиповичи, Сусли-2 та Сусли-3, а також Повчинської осушувальної системи (село Пищів), які розташовані в лісовій зоні. Водночас на Церемській осушувальній системі в лісостеповій зоні відбувається підвищення РГВ протягом останнього десятиріччя. Цьому сприяють особливості ґрунтового покриву, материнських порід, особливості стоку району та незадовільний стан осушувальної системи, яка призвела до вторинного підтоплення.

4.6.3. Стан дубових насаджень. Дубові насадження інтенсивно всихали в 2007–2008 рр., але стан стабілізувався. Крони починають всихати знизу. Коренева гниль присутня в усіх деревостанах, але найбільше її відмічено в насадженнях, які ростуть в надзвичайно вологих умовах.

Площа всихаючих дубових насаджень невпинно збільшувалася до 2012 року. Найбільш інтенсивні рубки проведено у 2009–2010 рр. В 2011 р. їх обсяг значно зменшився. Дані для 2008 та 2012 рр. є лише для Новоград-Волинського та Малоцвілянського лісництв (табл. 4.47, рис. 4.54–4.55).

Найбільшу групу дерев представляють дерева із сильним ступенем пошкодження крон (рис. 4.56). Всі дерева потерпають від кореневої гнилі та біля семи відсотків від раку.

Створені для Полісся та Лісостепу регіональні деревно-кільцеві хронології дуба звичайного придатні для дендрокліматичного аналізу, бо мають високі значення межсерійного коефіцієнту кореляції, коефіцієнта EPS (перевищує поріг 0,85) та середньої чутливості.

Таблиця 4.47

**Площа всихаючих дубових насаджень та запас зрубаної
деревини в ДП Новоград Волинське ДГ»**

Площа всихаючих насаджень, га					
Лісництва	2008	2009	2010	2011	2012
Куртинське	—	27,6	67,7	25,6	
Малоцвілянське	—	—	17,7	6,2	
Новоград-Волинське	16,1	28,7	13,6	14,1	
Пилиповецьке	—	37,5	63,6	462	
Пищівське	—	167,6	176	50,4	
Ярунське	—	70,9	23,5	64,8	
Разом	16,1	332,3	362,1	623,1	
Запас зрубаної деревини, м ³					
Куртинське	—	562	1883	567	
Малоцвілянське	—	13,6	137	495	23,9
Новоград-Волинське	839	702	612	378	
Пилиповецьке	—	802	989	776	
Пищівське	—	2357	3539	1006	
Ярунське	—	1911	967	1204	
Разом	839	6347,6	8127	4426	23,9

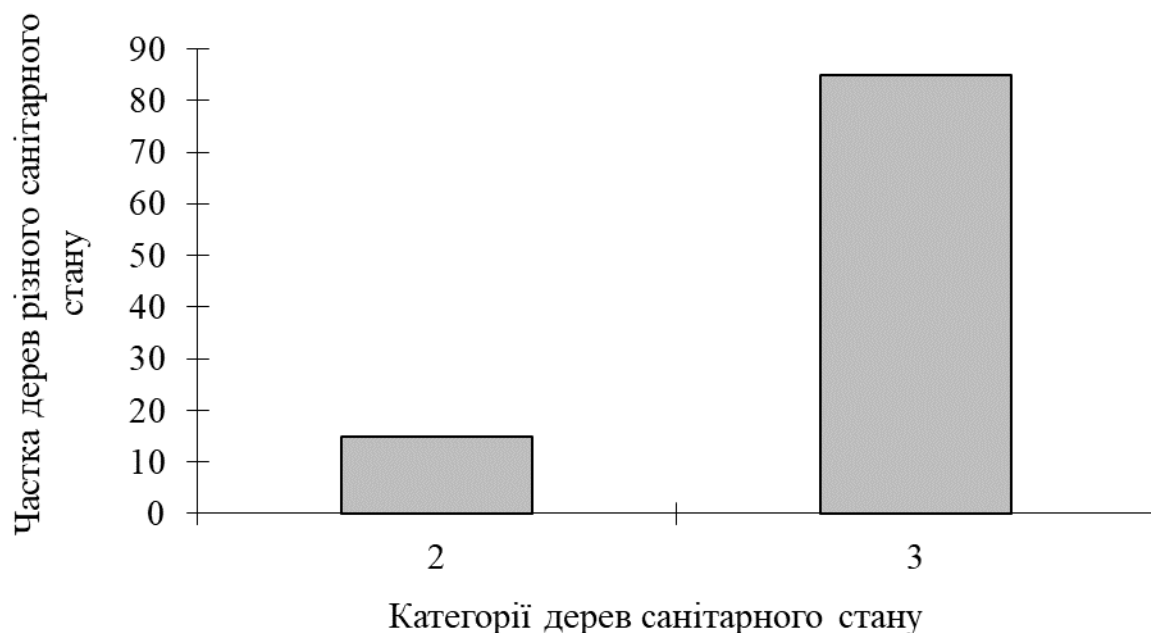


Рис. 4.54. Частка дерев різних категорій санітарного стану на ППП в Пилиповецькому лісництві (кв. № 57, вид. 1)

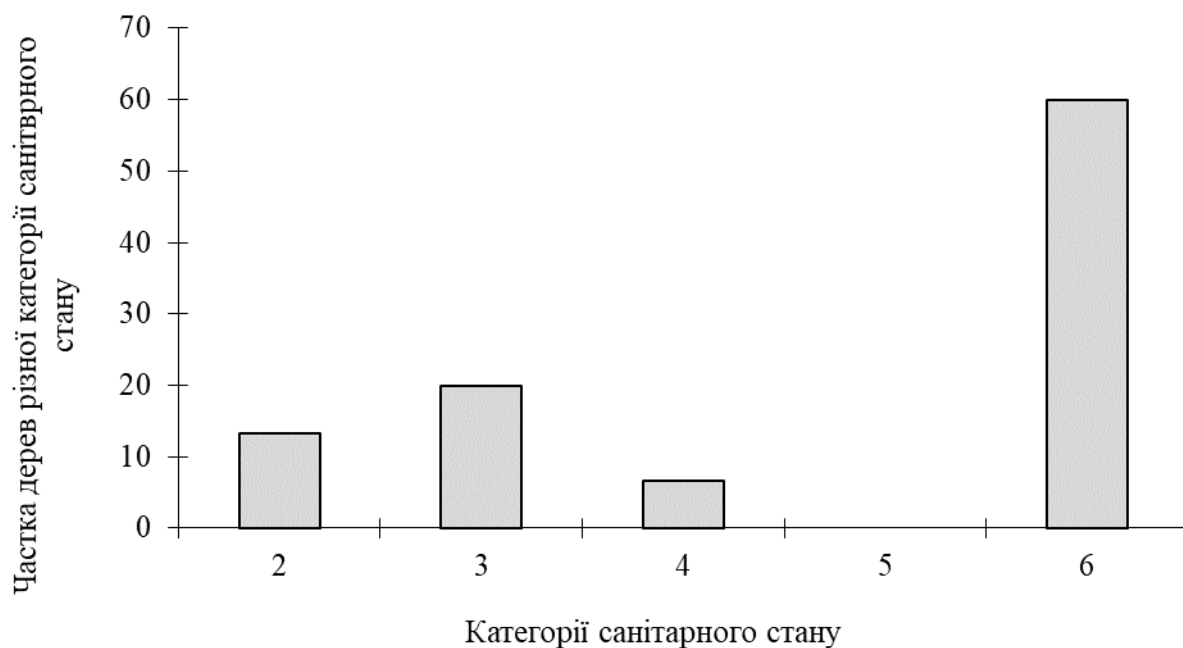


Рис. 4.55. Частка дерев різних категорій санітарного стану на ППП в Ярунському лісництві (кв. № 57, вид. 1)

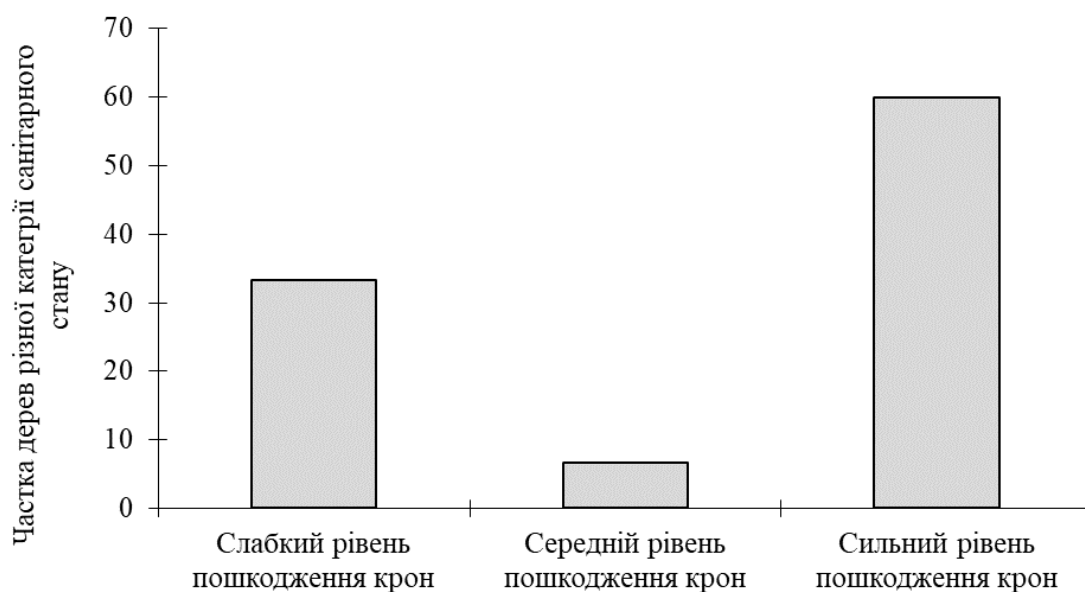


Рис. 4.56. Частка дерев різного ступеня дефоліації на ППП в Ярунському лісництві

У Поліссі реперні роки мінімального приросту дуба звичайного (1950, 1976, 1995, 1999, 2002, 2008, 2011 рр.) обумовлені переважно дефіцитом опадів упродовж вегетаційного сезону, холодними або надзвичайно теплими зимами та ранніми весняними температурами.

Сприятливе співвідношення тепла та вологи для росту дерев виявлено упродовж реперних позитивних років: 1875, 1902, 1906, 1912, 1967, 1997, 2001 та 2007 рр. Реперні роки максимального приросту: 1875, 1902, 1906, 1912, 1967, 1997, 2001 та 2007 рр. характеризуються сприятливим співвідношенням тепла та вологи.

Дендрокліматичний аналіз регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного для Полісся виявив, що упродовж весняно-літнього періоду 1980–2013 рр. зменшився позитивний вплив температур на радіальний приріст у порівнянні з першим періодом, а також посилювався вплив температур попереднього року на приріст у цьому періоді у порівнянні з першим. У другому періоді посилювався вплив опадів на радіальний приріст. Виявлено, що негативний значущий вплив опадів упродовж холодного періоду – з листопада попереднього року до березня поточного посилювався у другому періоді. Виявлено негативний значущий вплив квітневих опадів на приріст для обох періодів, а також позитивний вплив опадів для липня у першому періоді та для червня-липня у другому періоді. Збільшення значущого впливу температур та опадів на радіальний приріст дуба у другому періоді свідчить про підвищення чутливості приросту дерев до змін клімату у другому періоді порівняно з першим.

Виявлено, що кліматичними чинниками, які найбільше обмежують радіальний приріст дуба звичайного, є високі температури в період вегетації, ранньої весни та взимку і збільшення кількості опадів протягом холодного періоду на фоні відлиг, що не сприяє накопиченню вологи ґрунтів. У 2011–2014 рр. дерева дуба адаптувалися до змін рівня ґрунтових вод і підвищення температур, про що свідчить підвищення радіального приросту.

Розроблено множинну регресійну модель залежності індексів радіального приросту від температур за квітень – серпень і рівня ґрунтових вод у лютому. Найбільш придатним чинником для короткочасного прогнозування є частка пізньої деревини в порівнянні з пізньою та річною деревиною.

У Поліссі та Лісостепу відбулося підвищення температури у другому періоді (1988–2013 рр.) у порівнянні з першим (1960–1988 рр.) на 17–19 %. Найшвидшими темпами підвищувалися зимові температури (на 34–41 %) та ранні весняні (березневі) температури – майже вчетверо в Поліссі та майже втричі – в Лісостепу. Тенденції зміни опадів подібні для обох природних зон:– відбулося підвищення

річної кількості опадів, але протягом вегетаційного періоду їх випало менше у Поліссі у квітні – червні на 11 %, а в Лісостепу упродовж липня – серпня та зимового періоду – на 10 % менше.

Виявлено реперні роки максимального (1891, 1902, 1924, 1931, 1957, 1971, 1987) та мінімального (1895, 1906, 1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) радіального приросту дуба звичайного для Полісся, а також позитивні (1971, 1978, 1987) та негативні (1918, 1922, 1929, 1936, 1950, 1976, 1992, 2000, 2005) реперні роки для Лісостепу. Негативні реперні роки характеризуються дефіцитом опадів, посухами вегетаційного періоду, холодними або занадто теплими зимовими та ранньовесняними періодами, а позитивні – сприятливим для росту дерев співвідношенням тепла і вологи.

Для першого періоду (1960–1988 рр.) виявлено позитивний вплив зимових і ранньовесняних температур на радіальний приріст дуба у Поліссі та Лісостепу. У другому періоді (1989–2013 рр.) значне підвищення зимових і ранньовесняних температур спричинило зменшення радіального приросту. У другому періоді дубові насадження Полісся більше потерпали від теплих зим, ніж насадження Лісостепу. Негативний вплив посух вегетаційного періоду на приріст посилювався у другому періоді для обох регіонів.

Упродовж другого періоду опади значною мірою втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу.

Отже, є підстава вважати підтвердженою гіпотезу щодо посилення чутливості реакції радіального приросту дуба звичайного до зміни клімату в Поліссі та Лісостепу.

Найбільш варіабельними чинниками виявилися частка пізньої деревини, приріст річної та пізньої деревини, найменш варіабельним – приріст ранньої деревини.

Порівняльним аналізом приросту дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся з різним ступенем зволоження доведено, що опади за періоди від серпня – березня до серпня – вересня (тривалість періоду залежить від ступеня зволоження місць виростання дерев) негативно впливають на радіальний приріст дерев. Зі зменшенням ступеня зволоження умов, в яких знаходяться досліджувані деревостани, цей період зменшується.

Виявлено позитивний вплив опадів на приріст протягом травня – серпня (період формування, в основному, ранньої деревини). Отримано слабкі та середні додатні зв'язки приросту з температурами за листопад – жовтень та відносною вологістю повітря.

Високі зворотні кореляції індексів радіального приросту з рівнем болотних вод і середні зворотні зв'язки індексів із показниками сумарного стоку річки Прип'ять під час повені виявлено для деревостану, розташованого в Поліському болотному заповіднику посеред евтотрофного болота. Деревостан, що росте біля м. Олевська в умовах С₄₋₅ (поряд із осушувальним каналом), підлягав впливу осушувальної меліорації, про що свідчать достовірні додатні середні зв'язки радіального приросту з рівнем ґрунтових вод болота для деревостану.

Висновки до розділу 4

1. Особливо швидкими темпами відбувається потепління взимку та рано навесні (в березні) у Поліссі та Лісостепу. На південному березі Криму знизилася температура взимку на відміну від інших регіонів України. Кількість опадів збільшилася незначно, але по-різному для регіонів. Так у Поліссі та гірському Криму відбувається деяке підвищення кількості опадів узимку та їхнє зменшення влітку, а на сході України – збільшення літніх опадів і зменшення зимових.

2. Після 1998 року в насадженнях Полісся, Лісостепу та південного узбережжя Криму збільшилася чутливість радіального приросту дерев до варіацій клімату, про що свідчить збільшення значущих взаємозв'язків між індексами приросту та кліматичними чинниками. Це підтверджує гіпотезу, що підвищення зимових, ранньовесняних та температур упродовж вегетаційного періоду значно знизило стійкість насаджень.

3. Насадження Лісостепу виявилися найстійкішими до зміни клімату. Висновок зроблено на основі виявлення більшої кількості значущих кореляцій та коефіцієнтів відгуку, оснований на регресійному аналізі. Коефіцієнти кореляції між радіальним приростом та кліматичними чинниками становлять від –33 до +47.

4. Для виявлення реакції радіального приросту до зміни клімату порівняли для Полісся 1959–1989 та 1990–2020 рр., а для Лівобережного Лісостепу 1960–1988 та 1989–2017 рр. У Поліссі температури червня – вересня попереднього року негативно впливали на приріст, але вже у другому періоді цей вплив покращився. У Лісостепу, навпаки, температури попереднього вегетаційного періоду у другому періоді з позитивного поміняли тренд на негативний.

5. Позитивний вплив зимових температур у Поліссі та Лісостепу ослабився у другому періоді. При цьому для Полісся значущий

негативний вплив був характерний для лютого – березня, а для Лісостепу – для грудня попереднього року.

7. В обох зонах погіршується вплив весняно-літніх температур на приріст у другому періоді. При цьому значущі негативні кореляції виявлено у Поліссі для березня – квітня, а в Лісостепу – для травня та серпня.

8. Дубові насадження інтенсивно всихали в 2007–2008 рр. Площа всихаючих дубових насаджень невпинно збільшувалася до 2012 року. Нині їх стан стабілізувався.

9. Для насаджень південного узбережжя Криму виявлено, що найбільш чутливим насадженням до варіацій клімату виявилось наймолодше насадження (>50 років) порівняно з насадженнями більше 100 років.

10. У Криму в першому періоді (1969–1989 рр.) приріст сосни кримської обмежували посухи вегетаційного періоду та позитивно впливали зимові температури. У другому періоді (1990–2011 рр.) посилилися негативний вплив температур упродовж квітня – серпня та залежність приросту від опадів упродовж квітня – серпня. Найбільше потерпало молоде насадження.

11. Найбільш чутливою до варіацій клімату виявилася пізня деревина сосни кримської.

РОЗДІЛ 5

ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ТА ДУБА ЗА РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ

5.1. Вплив рекреації на радіальний приріст сосни звичайної та дуба звичайного в деревостанах Лівобережного Лісостепу.

Річні кільця дерев фіксують не тільки вплив комплексу факторів на формування деревини, зокрема внутрішньовидову конкуренцію між деревами [2, 138], процеси, що відбуваються в лісових екосистемах і мають багаторічну мінливість [13], а також антропогенний вплив на лісові екосистеми (рекреацію, рубки, меліорацію, атмосферне забруднення тощо). В урбанізованих районах складніше відокремити природні зміни радіального приросту від змін, обумовлених діяльністю людини, оскільки антропогенний вплив співпадає з проявами ритмів розвитку рослин та інших процесів [48]. Необхідно правильно розшифрувати інформацію, записану в малюнку деревних кілець.

Динаміка радіального приросту дерев, які ростуть в умовах рекреаційного навантаження, залежить від породи, віку насаджень, типу лісорослинних умов, термінів початку дії рекреації в насадженні [138]. На відміну від звичайних методів моніторингу, які полягають у спостереженні за тим чи іншим впливом на лісові екосистеми, дендрохронологічний підхід дає змогу встановити зміни в насадженнях за декілька десятиліть і навіть століть [120].

5.1.1. Вплив рекреації на радіальний приріст сосни звичайної. Досліджено радіальний приріст сосни в зеленій зони м. Харкова, який є індикатором стійкості лісових екосистем. Лісові екосистеми саморегулюються, мають значну стійкість і здатні підтримувати динамічну рівновагу в широкому діапазоні умов. Тракткування стійкості лісових екосистем залишається неоднозначним. Стійкість – це внутрішня спроможність екосистеми витримувати зміну, викликану зовнішнім впливом, або відновлюватися після нього. Лише стійкі насадження мають шанс залишатися високопродуктивними або виконувати інші функції до віку стиглості. Стійке функціонування екосистем тісно пов'язано з поняттям критичного стану, яке трактується також по-різному [184, 185, 190]. Л. А. Жукова зі

співавторами під критичним станом розуміє незворотні зміни в екосистемі, що призводять до її повної катастрофи [184]. М. Ф. Реймерс виділяє урівноважений, критичний і катастрофічний стани, не прирівнюючи критичний рівень до повної катастрофи [185]. О. Д. Армад вказує, що в критичному стані відбувається перебудова екосистеми із заміною деяких або всіх елементів, після чого може статися або повний її розпад, або навпаки – формування нового гомеостатичного рівня [5].

Лісові екосистеми зелених зон міст і населених пунктів беруть участь в оздоровленні навколишнього середовища міст і водночас знаходяться під антропогенним впливом (рекреації, забруднення повітря викидами підприємств тощо), внаслідок чого мають низьку стійкість до стресфакторів (посух, ущільнення ґрунту тощо).

Реакція деревостанів на антропогенний вплив визначається не тільки характером та інтенсивністю навантажень, але й особливостями ґрунтів, віком і еколого-біологічними характеристиками лісоутворювальних порід [138].

Аналізуючи антропогенну динаміку лісів, деякі автори оцінюють стійкість лісових екосистем за стадіями дигресії: першої та другої стадій – стійкі, третьої – порівняно стійкі, четвертої та п'ятої стадій – нестійкі. Інші дослідники як критичну виділяють вже другу стадію дигресії. Ще одна точка зору на цю проблему: на передостанній – четвертій стадії порушення процесів авторегуляції (самовідновлення едифікатора) не є критичним [59].

Характерні зовнішні ознаки порушення життєдіяльності деревостанів і статистично достовірні зміни таксаційних показників з'являються лише у разі руйнівного впливу антропогенних факторів, коли найчастіше зміни в екосистемі є незворотними, тому є сенс під час оцінювання антропогенних впливів використовувати дендрохронологічні методи досліджень, які враховують також невеликі, зворотні зміни в лісових екосистемах.

Аномалії радіального приросту, пов'язані з негативним впливом кліматичних і рекреаційних чинників, можна визначити за коефіцієнтом кореляції між індивідуальними кільцево-деревними серіями в насадженнях із різним ступенем дигресії [9]. Для визначення стійкості насаджень використовується коефіцієнт чутливості між серіями річних кілець [269].

Метою дослідження було вивчення динаміки радіального приросту сосни в деревостанах із високим рівнем пошкодження

рекреацією в зеленій зоні м. Харкова для виявлення аномалій приросту дерев, визначення рівня стійкості насаджень, виділення періодів розвитку деревостанів і здатності радіального приросту дерев до відновлення після впливу стрес-факторів.

Об'єктами досліджень буди середньовікові чисті соснові деревостани в гідропарку м. Харкова (4–5-ої та 5-ої стадій дигресії) та в Бабаївському лісництві (контроль), розташовані на борових терасах річок Харків та Уди. В насадженні 5-ої стадії дигресії відзначено подвійний антропогенний вплив: рекреаційний і вплив автомобільного транспорту.

Попередніми дослідженнями щодо впливу рекреації в дубових насадженнях зеленої зони м. Харкова виявлено, що у разі збільшення рекреаційного навантаження також зменшується коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями та збільшується коефіцієнт чутливості [96].

Статистична обробка матеріалу показала, що коефіцієнт кореляції між серіями деревно-кільцевих хронологій пошкоджених деревостанів становить 0,274, а на контролі він вищий – 0,330. Зниження значення коефіцієнта кореляції між серіями деревно-кільцевих хронологій у пошкоджених деревостанах у порівнянні з контролем свідчить про аномальність радіального приросту дерев, яка є, вірогідно, наслідком нерівномірного ущільнення ґрунту в результаті його витоπτування. Тобто нерівномірне витоπτування ґрунту призвело до зменшення синхронності в деревно-кільцевих хронологіях. Коефіцієнт автокореляції першого порядку, який характеризує, наскільки тісно товщина річного кільця поточного року пов'язана з товщиною кільця попереднього, зменшується залежно від ступеня пошкодження деревостану. Всі серії деревно-кільцевих хронологій виявилися чутливими. Найстійкішим виявилось контрольне насадження (AC_1 для деревно-кільцевої хронології на цій ППП становив 0,338); менш стійкими виявилися насадження 4-ої та 5-ої стадій дигресії (AC_1 для цих ППП становили 0,476 та 0,565 відповідно) (табл. 5.1). Стандартні відхилення абсолютних величин річних кілець дерев для всіх ППП варіювали в межах 0,714–0,773 (табл. 5.1).

Деревостани знаходяться під впливом рекреаційного навантаження протягом усього періоду виростання, але різке збільшення антропогенного пресу відбулося після 1976 р., коли було побудовано новий мікрорайон поряд із цими насадженнями.

Таблиця 5.1

**Статистична характеристика радіального приросту сосни
в насадженнях, пошкоджених рекреацією, та на контролі**

Стадія дигресії	Період досліджень, роки	m, мм	R_{bar}	AC_1	MS_x	$S_{\text{td.dev}}$
Контроль	1959–2006	1,10	0,330	0,651	0,338	0,733
4–5 стадія	1959–2006	1,00	0,274	0,559	0,476	0,773
5 стадія	1959–2006	0,71	0,274	0,394	0,565	0,714

Динаміку радіального приросту сосни в контрольному та пошкоджених насадженнях можна розподілити на три періоди: 1960–1975 рр., які характеризуються максимальним приростом і найменшим рекреаційним впливом за період розвитку деревостанів; 1976–1999 – роки зі значним зменшенням величин деревних кілець у пошкоджених деревостанах у порівнянні з відповідними величинами на контролі; 2000–2006 рр. характеризуються різким зменшенням радіального приросту на контролі внаслідок посух 1998–1999 рр. і збільшенням величин річних кілець, або стабілізацією приросту в пошкоджених деревостанах за рахунок збільшення площі живлення дерев, яке відбулося в результаті значного відпаду частини дерев (рис. 5.1).

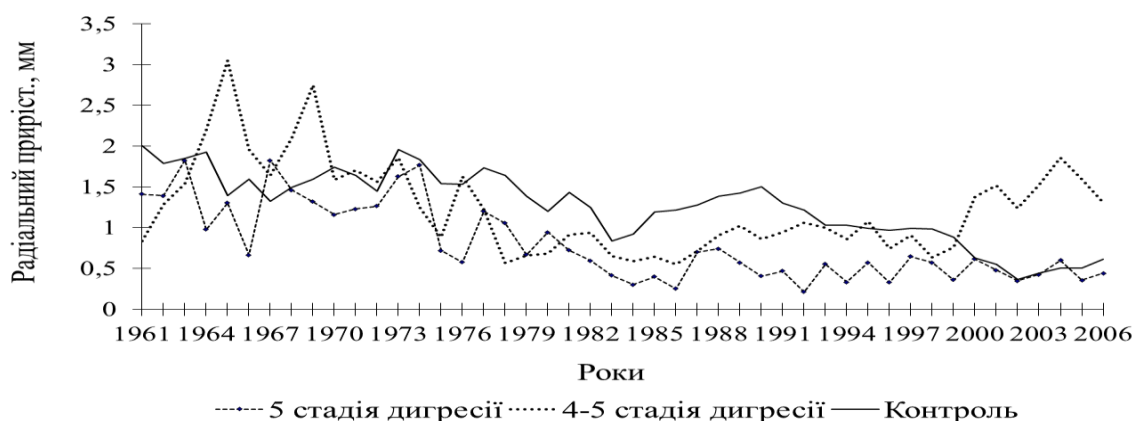


**Рис. 5.1. Динаміка радіального приросту сосни під впливом рекреації
в зеленій зоні м. Харкова**

Статистичний аналіз довів, що протягом 1960–1975 рр. на контролі та в деревостані 4–5 стадії дигресії відсутні значущі різниці між середніми величинами річних кілець. Насадження 5-ої стадії

дигресії суттєво відрізнялося від контрольного деревостану вужчими шарами деревини внаслідок сильнішого антропогенного пресу (рекреації та впливу вихлопних газів автомобілів). Упродовж 1976–1999 рр., після початку інтенсивного рекреаційного навантаження на всіх ППП відбулося значуще зменшення товщини шарів річної деревини в порівнянні з контролем.

У 2000–2006 рр. динаміка радіального приросту дерев характеризується збільшенням величин річних кілець сосни на ППП 4–5-ої стадії дигресії в порівнянні з контролем майже втричі. Як зазначено вище, внаслідок антропогенного впливу відбулося ослаблення дерев та їхнє всихання, в результаті чого проведено санітарні рубки. За цей період у насадженні 4–5-ої стадій дигресії втрачено близько 8 % дерев, на ППП 5-ої стадії – близько 5 %, на контролі – 1,5 %. У зв'язку із цим відбулося значне збільшення площі живлення та освітлення дерев у пошкоджених насадженнях.

За літературними джерелами [194] внаслідок освітлення радіальний приріст може збільшитися на 60 %. На ППП 5-ої стадії дигресії тренд радіального приросту майже не змінився, незважаючи на освітлення та сприятливі погодні умови. Це пов'язано із більш інтенсивним впливом не тільки рекреації, але й автотранспорту на це насадження. На тлі сприятливих погодних умов протягом 2003–2006 рр. відбулося певне збільшення радіального приросту на всіх ППП. Це свідчить, що пошкоджені дерева на ППП 4–5-ої стадії дигресії зберігають властивості реагувати на зміни зовнішніх умов і відновлювати приріст (табл. 5.2).

Пошкоджені деревостани мають значно менший запас деревини та середній приріст за запасом у порівнянні з контролем. Так, у насадженнях 4–5 та 5-ої стадій дигресії на 2006 р. він становив – $5\text{--}7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$, а на контролі – $7 \text{ м}^3 \cdot \text{га}^{-1}$.

Проведено графічне зіставлення величин річних кілець із сумами опадів і температур (див. рис. 3.5, 3.6 та рис. 5.1). Низькі температури холодного періоду разом із посухами протягом вегетації призвели до депресій приросту у 1972, 1975–1976, 1986, 1996 та 2002 рр. Формування вузьких деревних кілець протягом 1984, 1994 та 1998–2000 рр. викликано переважно посухами.

Відновлення радіального приросту дерев у пошкоджених деревостанах після дії стрес-факторів тривало не тільки довше (наприклад, у 1972 р. в деревостані 5-ої стадії дигресії депресії радіального приросту тривали протягом двох років на відміну від

контролю, де приріст відновився за рік), але й був глибшим (величини річних кілець сосни в пошкоджених деревостанах у середньому на 20 % вужчі в період впливу несприятливих погодних умов, ніж у роки зі сприятливим для росту дерев співвідношенням тепла та вологи).

Таблиця 5.2

Статистичні показники шарів річної деревини в контрольному та пошкоджених рекреацією соснових деревостанах зеленої зони м. Харкова

Стадія дигресії	m, мм та похибка середнього	S _{td.dev}	Достовірність відмінності між середніми значеннями різних видів деревини на контролі та в пошкодженому дерево стані	
			t фактичне	t теоретичне
1960–1975 рр. (період до початку посилення рекреаційного навантаження)				
Шари річної деревини				
контроль	1,70±0,06	0,23	—	—
4–5	1,77±0,15	0,60	0,43	2,0 _{0,001}
5	1,34±0,09	0,35	3,44	2,8_{0,01}
1976–1999 рр. (період після початку інтенсивного рекреаційного навантаження)				
Шари річної деревини				
контроль	1,22±0,05	0,25	—	—
4–5	0,86±0,05	0,22	5,10	3,50_{0,001}
5	0,57±0,05	0,25	14,88*	3,50_{0,001}
2000–2006 рр. (період подальшого збільшення рекреаційного навантаження)				
Шари річної деревини				
контроль	0,51±0,03	0,09	—	—
4–5	1,49±0,08	0,21	11,37	4,30_{0,001}
5	0,47±0,04	0,11	0,97	2,00 _{0,05}

У роки максимального приросту (1973, 1985, 1995, 1997 рр.) відмічено теплі зими та велику кількість опадів упродовж вегетаційного періоду.

Кореляційний аналіз виявив надзвичайну чутливість радіального приросту сосни до мінливості кліматичних факторів у деревостані 5-ої стадії дигресії. У цьому насадженні приріст обмежують низькі зимові температури та невелика кількість опадів протягом вегетаційного періоду. Це, ймовірно, пов'язано з тим, що у пригнічених рекреаційним навантаженням соснових насадженнях порушені екзогенні

зв'язки з гідрологічними умовами екотопу, які змінилися внаслідок ущільнення ґрунтів під впливом рекреації та порушення підстилки, яка, зазвичай, зберігає вологу та має добрі дренажні властивості. На дуже щільних ґрунтах ослаблюється розвиток кореневих систем і зменшується кількість коренів. У посушливі роки сильніше виявляється негативний вплив ущільнення ґрунту, ніж у роки з достатнім зволоженням (табл. 5.3).

Таблиця 5.3

Кореляційні зв'язки індексів річного радіального приросту (версія STANDART) з кліматичними чинниками в зеленій зоні м. Харкова за період 1976–2006 рр.

Кліматичний показник	Стадії рекреаційної дигресії		
	контроль	4–5	5
Середні t°C за календарний рік	–0,33	–0,27	–0,20
Середні температури за IV–VIII місяці	–0,37 ⁺	0,06	–0,20
Середня температура за I місяць	–0,28	0,23	–0,44 ⁺
Середня температура за гідрологічний рік	–0,34	0,22	–0,21
Суми опадів за III–X місяці	0,15	0,18	0,51 [*]
Суми опадів за IV–VIII місяці	0,24	0,13	0,41 ⁺
Суми опадів за календарний рік	0,24	0,03	0,52 [*]
Суми опадів за гідрологічний рік (1976–2006)	0,23	0,05	0,55 [*]

Примітка. 1. ^{*} – тіснота зв'язку вірогідна на 0,01 рівні значущості;
2. ⁺ – тіснота зв'язку достовірна на 0,05 % рівні значущості.

За останні шість років у результаті санітарних рубок у насадженні 5-ої стадії дигресії втрачено, як зазначено вище, близько 5 % дерев, до складу яких входили переважно дерева найменших класів Крафта і, відповідно, найменших діаметрів. Унаслідок цього найтісніші зв'язки між кліматом та індексами деревних кілець у найбільш пошкодженому деревостані визначені не тільки в результаті ослаблення деревостану (тобто збільшилася чутливість насадження до впливу зовнішніх факторів), а також завдяки тому, що в насадженні залишилися дерева

переважно I-го та II-го класів Крафта, які здатні найбільш чутливо реагувати на зовнішні зміни.

Досліджено реакцію радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату в насадженнях із різним ступенем рекреаційного навантаження в зеленій зоні м. Зміїв Харківської області. Об'єкти досліджень – чисті соснові середньовічні насадження на чотирьох ППП з різним рівнем рекреаційної дигресії. Типи лісорослинних умов A_1 та A_2 .

В результаті аналізу динаміки радіального приросту сосни в насадженнях з різним рівнем рекреаційної дигресії для 1967–2008 рр. виділено три періоди розвитку деревостанів. Перший період тривав від 1967 до 1975 рр. Тренд зменшення радіального приросту дерев визначено на всіх пошкоджених ППП. Найшвидше приріст зменшувався в деревостані четвертої стадії дигресії, де виявлено найглибшу його депресію у 1975 році, який характеризувався мінімальною кількістю опадів та високими температурами протягом вегетаційного періоду. В результаті цього в насадженнях третьої та четвертої стадій дигресії усихання дерев перевищило норму природного відпаду. Причиною різкого збільшення радіального приросту дерев протягом другого періоду (1976–1989 рр.) стало збільшення площ живлення дерев, що підтверджено обчисленням індексів змін їхнього радіального приросту (рис. 5.2, табл. 5.4).

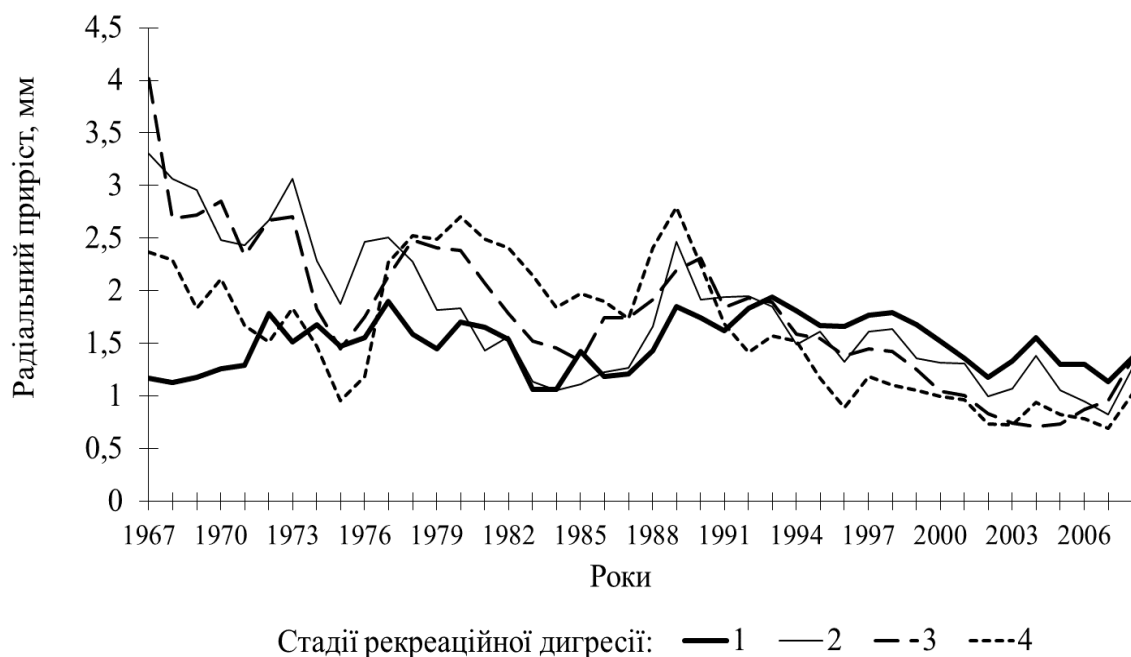


Рис. 5.2. Динаміка радіального приросту сосни звичайної в насадженнях із різним ступенем рекреаційного навантаження

Таблиця 5.4.

**Індекси змін приросту сосни (G_{Ct}) після посухи 1975 року
на соснові деревостани різного ступеня рекреаційної дигресії
в зеленій зоні м. Змійова**

Стадія рекреаційно ї дигресії	Індекс зміни приросту (G _{Ct})	Період n1 (до «збурення» в деревостані), рр.	Період n2 (після «збурення» в деревостані
1	5	1968–1974	1975
2	–39*	1968–1974	1975
3	–43*	1968–1974	1975
4	–210**	1968–1974	1975

Примітка. * – незначне порушення; ** – значне порушення.

Незначні порушення відбулися в деревостанах третьої та четвертої стадій дигресії, а значні – в насадженні IV-ої стадії рекреаційної дигресії.

Третій період (1990–2008 рр.) відзначився зменшенням тренду радіального приросту дерев на всіх ППП. Протягом 1997–2008 рр. визначено чітку закономірність у формуванні річних деревних кілець – зменшення їхніх величин у міру збільшення рівня пошкодження деревостанів: вони були меншими в порівнянні з контролем на ППП другої стадії дигресії – на 7 %, третьої – на 16 % і четвертої – на 27 %.

Виявлено роки мінімального приросту для всіх насаджень: посушливі 1975, 1983, 1984, 1990, 1994 та 2002 рр. і 1987 та 1996 рр., які характеризуються низькими зимовими та ранньовесняними температурами. Вірогідно, внаслідок значного підвищення температур взимку та навесні 2007 року відбулося формування вузьких річних кілець у результаті порушення зимового спокою дерев, що призвело до порушення фізіологічних процесів.

Роки максимального приросту сосни для всіх ППП: 1980, 1989, 1997 та 2004 рр. (виняток – найбільш пошкоджений деревостан для 2004 року), які мали сприятливе співвідношення тепла та вологи для росту дерев. Проаналізовано динаміку опадів і температур за десятиліттями у порівнянні з динамікою індексних деревно-кільцевих хронологій. У 1969–1988 рр. збільшення кількості опадів відмічено тільки для холодного періоду, наступні 1989–2008 рр. були вологішими (табл. 5.5).

Таблиця 5.5

Зміни кількості опадів за десятиліттями у порівнянні із середньою кількістю опадів за даними метеостанції м. Харків (1969–2008 рр.)

Періоди, роки	Рік, %	Гідрологічний рік*, %	IV–VIII місяці, %	III–IX місяці, %	Холодний період**, %
1969–1978	–5	–6	–3	–5	0,4
1979–1988	–2	–1	–2	–8	13
1989–1998	2	1	0,04	6	–5
1999–2008	5	7	5	7	8

Примітка. * – сума опадів від попереднього жовтня до поточного вересня; ** – сума опадів від попереднього грудня до поточного березня.

Температури переважно поступалися нормі (за норму взяті середні температури 1969–2008 рр.) у 1969–1988 рр., але за 1989–2008 рр. вони збільшилися. Прискорення потепління відбувалося найбільш швидкими темпами протягом холодного періоду, особливо швидко – упродовж 1999–2008 рр. (табл. 5.6).

Таблиця 5.6.

Зміни температур за десятиліттями за сорок років (1969–2008 рр.) у порівнянні із середніми температурами за даними метеостанції м. Харків

Період, роки	Рік, %	Гідрологічний рік*, %	III–X місяці, %	IV–VIII місяці, %	III місяць, %	Холодний період**, %
1969–1978	–5	–5	–3	–2	33	–22
1979–1988	–6	–6	–3	–2	–19	–32
1989–1998	2	2	0	1	97	21
1999–2008	11	9	6	1	184	40

Примітка. * – сума опадів від попереднього жовтня до поточного вересня; ** – сума опадів від грудня попереднього року до березня поточного року.

Деревно-кільцеві хронології STANDART свідчать про збільшення приросту на менш пошкоджених ППП у 1969–1978 рр., що

пов'язано зі сприятливими погодними умовами у цей період. Погіршення приросту на більш пошкоджених ділянках, ймовірно, викликано ущільненням ґрунту, що порушило водопостачання для кореневих систем дерев і спричинило механічні пошкодження (табл. 5.7).

Таблиця 5.7

**Зміни індексів радіального приросту STANDART
за десятиліттями (1969–2008 рр.) в порівнянні
із середніми значеннями**

Стадії рекреаційної дигресії	1969– 1978 рр., %	1979– 1988 рр., %	1989– 1998 рр., %	1999– 2008 рр., %
1 стадія	+11,42	–18,41	+14,4	–14,4
2 стадія	+10,21	–14,92	+15,09	–10,38
3 стадія	–0,86	+3,03	+8,85	–10,13
4 стадія	–20,07	+68,41	+7,8	–22,32

У наступні 1979–1988 рр. – навпаки, відбувається підвищення радіального приросту дерев у пошкоджених деревостанах, що пояснюється усиханням дерев після посушливого 1975 року (табл. 5.7). Упродовж 1989–1998 рр. величини річних кілець збільшилися, ймовірно, внаслідок підвищення температур, особливо зимових та ранньовесняних, і кількості опадів. У наступні 1999–2008 рр. радіальний приріст дерев зменшився на всіх ділянках, а особливо на найбільш пошкоджених. Вірогідно, збільшення березневих і зимових температур досягло порогового рівня, що негативно відобразилося на формуванні річних кілець сосни в усіх деревостанах. Період спокою є основною причиною високої морозостійкості й обов'язковою фазою проходження процесів оновлення клітин і відновлення ростових процесів у весняний період. Порушення цього спокою може призвести до зменшення приросту. Часті тривалі перепади температур особливо небезпечні в кінці зими, коли рослини знаходяться в стані зимового спокою [194, 217].

Отримано кореляційні зв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями RESIDUAL, які виявилися найбільш чутливими до виявлення відгуку дерев до варіацій клімату, та кліматичними чинниками упродовж 1969–2008 рр. (табл. 5.8).

Таблиця 5.8

Кореляційні зв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями RESIDUAL для деревостанів із різним рівнем рекреаційної дигресії та кліматичними чинниками за десятиліттями (1969–2008 рр.)

Кліматичні показники	Ступінь дигресії	1969–1988 рр	1979–1988 рр	1989–1998 рр	1999 – 2008 рр
Сума опадів за VI місяць, мм	1	0,78*	0,61	–0,14	–0,32
Сума опадів за VII місяць, мм	1	–0,09	0,03	0,70 ⁺	0,27
Сума опадів за холодний період	1	0,16	–0,11	–0,68 ⁺	0,28
Сума опадів за VI місяць, мм	2	0,13	0,69 ⁺	0,21	–0,21
Сума опадів за IV–VIII місяці, мм	2	0,61	0,72 ⁺	0,58	0,12
Сума опадів за III–IX місяці, мм	2	0,57	0,65 ⁺	0,63	0,00
Сума опадів за VII місяць, мм	2	0,23	0,07	0,74 ⁺	0,00
Сума опадів за I–XII місяці, мм	3	0,83*	0,29	0,25	–0,36
Сума опадів за V–VI місяці, мм	3	0,59	0,53	–0,30	0,04
Сума опадів за III–IX місяці, мм	3	0,81*	0,15	–0,30	–0,28
Сума опадів за гідрологічний рік	3	0,78*	–0,17	–0,11	–0,33
Сума опадів за VI місяць, мм	4	0,50	0,77 ⁺	0,17	–0,54
Сума опадів за I–XII місяці, мм	4	0,89**	0,51	0,45	–0,49
Сума опадів за IV–VIII місяці, мм	4	0,74 ⁺	0,77 ⁺	0,31	–0,16
Сума опадів за V–VI місяці, мм	4	0,70 ⁺	0,68 ⁺	0,08	–0,52
Сума опадів за III–IX місяці, мм	4	0,80*	0,68 ⁺	0,40	–0,52
Сума опадів за гідрологічний рік	4	0,74 ⁺	0,45	0,10	–0,37
Середня температура за холодний період	1	–0,32	–0,70 ⁺	–0,05	–0,21
Сума опадів за гідрологічний рік	1	–0,34	–0,69 ⁺	–0,27	–0,42
Середня температура від попереднього червня до поточного червня	1	–0,42	–0,81*	–0,13	–0,39
Середньорічна температура, tC	4	–0,68 ⁺	–0,37	0,04	0,01

Примітка. ** – тіснота зв'язку вірогідна на 0,001 рівні значущості; * – тіснота зв'язку вірогідна на 0,01 рівні значущості; ⁺ – тіснота зв'язку вірогідна на 0,05 рівні значущості.

Лише у 1999–2008 рр. не виявлено зв'язків між індексами приросту та кількістю опадів на всіх ППП. Це свідчить, що опади меншою мірою обмежують радіальний приріст сосни внаслідок збільшення їхньої кількості.

Температури меншою мірою обмежували приріст сосни в Лісостепу, ніж опади. За останні три десятиліття не виявлено достовірних кореляцій між деревно-індексними хронологіями та температурами.

5.1.2. Вплив рекреації на радіальний приріст дуба звичайного.

Об'єкти досліджень – порослеві стиглі насадження дуба звичайного (дубняки яглицеві із осокою волосистою свіжої ясенєво-липової діброви) 100-річного віку III–IV генерації у Лісопарковому господарстві м. Харкова на трьох постійних пробних площах (ППП), які формують екологічний ряд за рівнем рекреаційного навантаження: 2-ої, 3-ої та 4-ої стадії дигресії).

Під час кореляційного аналізу між індексами приросту та кліматичними показниками використані такі кліматичні чинники: суми середньомісячних температур та суми опадів за жовтень-вересень, листопад-лютий, березень-жовтень, червень-липень, липень-серпень і гідрологічні (з 1 жовтня по 31 вересня) та календарні роки; а також середньомісячні температури березня, суми середньомісячних температур за листопад – березень, березень – липень, квітень – червень і гідротермічний показник O_3 . Отримано статистичну характеристику деревно-кільцевих хронологій.

Усі дерева на PPP мають високу подібність за приростом дерев, про що свідчить коефіцієнт кореляції між серіями деревних кілець (табл. 5.9).

Таблиця 5.9

Статистичні характеристики деревних кілець дуба звичайного на пробних площах різного ступеня дигресії

С.р.д.	R_{bar}	m, мм	$S_{\text{td.dev}}$	AC_1	MS_x
2 стадія	0,65	1,43	0,75	0,55	0,32
3 стадія	0,55	1,75	0,92	0,56	0,32
4 стадія	0,57	1,92	0,96	0,47	0,36

Примітка. С.р.д. – стадія рекреаційної дигресії.

Амплітуда мінливості ширини річного кільця є більшою в деревостані 4-ї стадії дигресії. Це, ймовірно, пов'язано з великою кількістю доріжок на цій PPP, що призвело до створення нерівномірного ущільнення ґрунту. Тобто, різноманітні умови викликали значні коливання величин річних кілець. Про це також свідчить показник чутливості.

Коефіцієнт автокореляції першого порядку, який характеризує, наскільки тісно товщина річного кільця пов'язана з товщиною кільця попереднього року, є найменшим у деревостані 4-ої стадії дигресії.

Упродовж 1917–1965 рр. значущих відмінностей у динаміці радіального приросту дерев на всіх ППП не визначено. Пізніше, в 1966–1974 рр., абсолютні значення радіального приросту дерев та їхніх індексів у деревостанах різних ступенів дигресії збільшувалися в такій послідовності: друга, третя та четверта стадії (рис. 5.3).

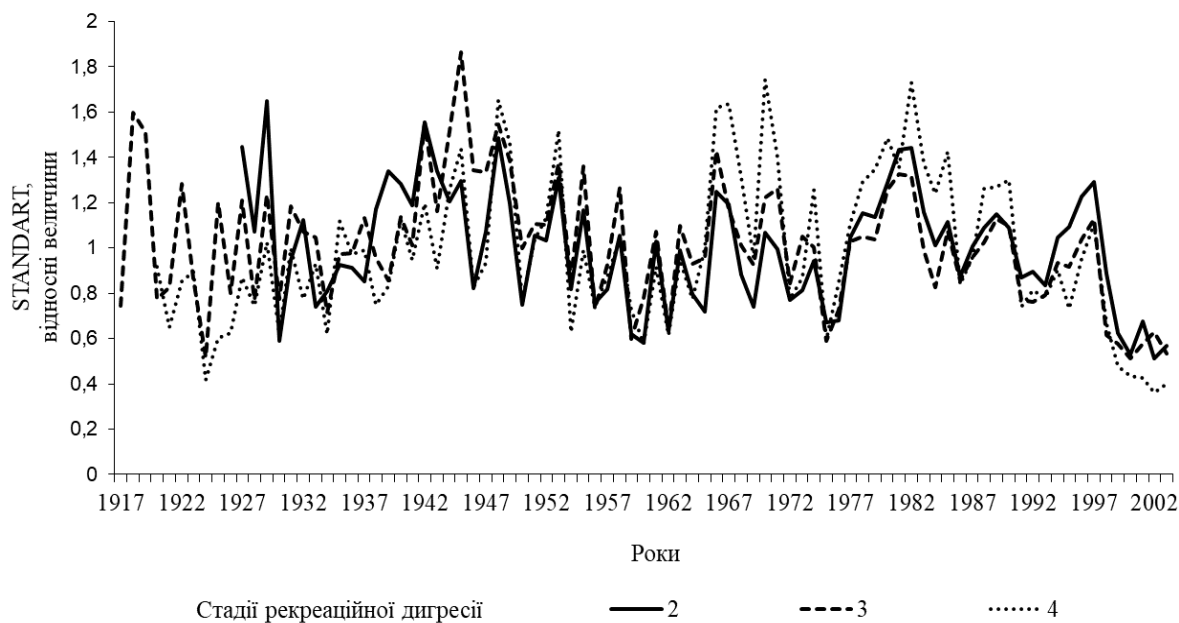


Рис. 5.3. Динаміка індексів STANDART дуба звичайного в зеленій зоні м. Харкова під впливом рекреаційного навантаження

У 1975–1990 рр. найбільшим приростом характеризуються дерева в деревостані 4-ї стадії дигресії, водночас дерева в насадженнях 2-ої та 3-ої стадій мали менші абсолютні значення річного кільця.

У 1991–1996 рр. визначено тренд збільшення приросту на всіх ППП. І нарешті період 1997–2002 рр. характеризується надзвичайно швидким зниженням приросту на всіх ділянках. Найглибші депресії приросту за цей період визначені на ППП 4-ої стадії рекреаційної дигресії.

Ми маємо ряд метеорологічних даних для періоду 1952–2002 рр. Можна припустити, що депресії приросту 1924, 1930, 1933, 1946 та 1950 рр. були також викликані несприятливими метеорологічними умовами: посухами та низькими температурами.

Верифікація наявних погодних даних за 1952–2002 рр. та приросту свідчить, що формування вузьких річних кілець відбулося

під впливом посух 1954, 1959, 1962, 1965, 1969, 1972, 1974, 1975, 1983, 1984, 1992, 1995 та 1999 рр. Низькі температури упродовж гідрологічного року також викликали депресії приросту в 1960, 1964, 1987 та 1994 рр. (рис. 5.4).

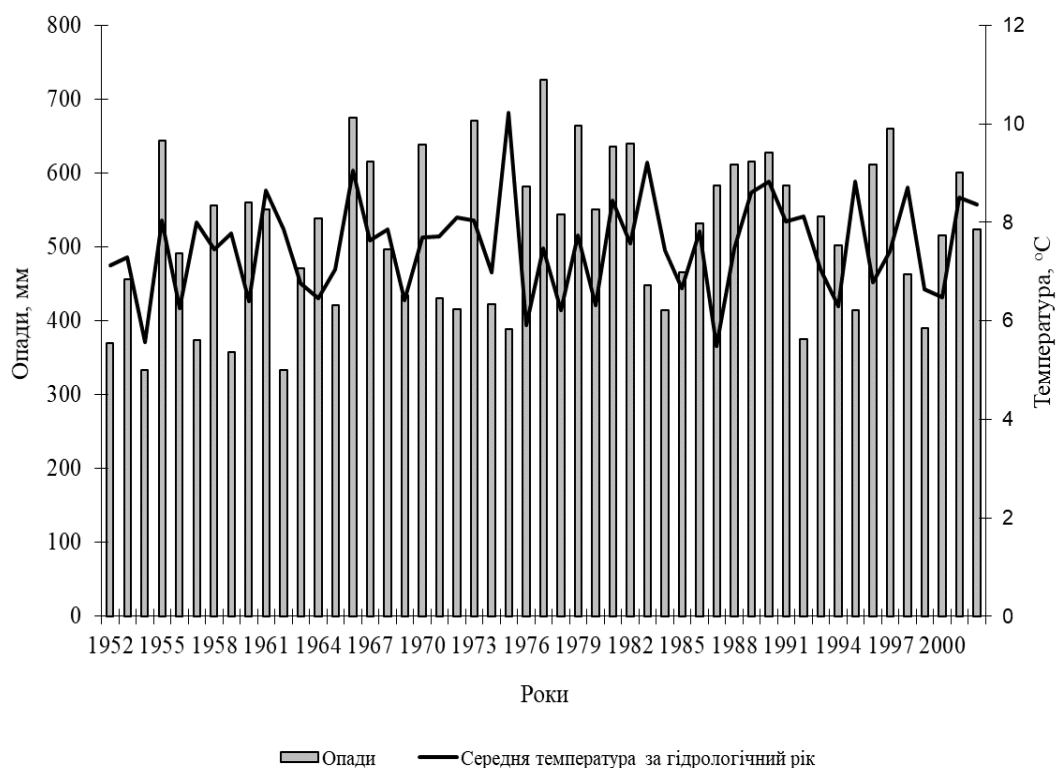


Рис. 5.4. Динаміка температур та опадів за гідрологічні роки за даними метеостанції м. Харків

Найглибші депресії приросту визначені в найбільш пошкодженому деревостані, тобто в насадженні 4-ої стадії дигресії.

Виявлено, що радіальний приріст за останні 20 років в порівнянні з таким самим попереднім періодом з найбільшою швидкістю зменшувався на ППП 4-ої стадії дигресії: на 32,3 %; на ППП 3-ої стадії дигресії – на 31,6 % та 2-ї – на 21,2 %. Ці відмінності достовірні на 0,05 рівні значущості. Кореляційним аналізом встановлено, в основному, достовірні позитивні середні зв'язки між індексами приросту та сумами опадів за гідрологічний рік, за холодний період (від грудня до березня та за квітень-серпень на всіх ППП. В деревостанах 2-ї та 3-ої стадії дигресії отримано також достовірні кореляції з сумами опадів за календарні роки та за квітень-серпень. У найбільш пошкодженому деревостані такі зв'язки були відсутні. Це, ймовірно, пов'язано з тим, що у пригнічених рекреаційним навантаженням дубових насадженнях порушенні екзогенні зв'язки з гідрологічними умовами екотопу, які

змінилися внаслідок ущільнення ґрунтів, яке викликане дією рекреації (табл. 5.10).

Таблиця 5.10

Кореляційний аналіз між індексами приросту та кліматичними факторами за різні частини гідрологічного року

Кліматичний показник	Ступінь дигресії	Версії хронологій**		
		S	R	A
Опади з X місяця попереднього по IX місяць поточного року, мм	2	0,46**	0,57**	0,49**
Опади за XII–III місяці, мм	2	0,29	0,37*	0,25
Опади за I–XII місяці, мм	2	0,21	0,32	0,34*
Опади за IV–XIII місяці, мм	2	0,23	0,33*	0,33*
Опади з X місяця попереднього по IX місяць поточного року, мм	3	0,45**	0,53**	0,24
Опади за XII–III місяці, мм	3	0,31*	0,38**	0,13
Опади за I–XII місяці, мм	3	0,25	0,37 ⁺	0,11
Опади за IV–VIII місяці, мм	3	–0,21	–0,30*	–0,21
Опади з X місяця попереднього по IX місяць поточного року, мм	4	0,37 ⁺	–0,03	0,35*
Опади за XII–III місяці, мм	4	0,40 ⁺	0,22	0,43 ⁺
Опади за I–XII місяці, мм	4	0,17	0,0	0,17
Опади за IV–VIII місяці, мм	4	–0,20	0,05	–0,14

Примітка. 1. * – тіснота зв'язку вірогідна на 99% рівні значущості; 2. ⁺ – тіснота зв'язку вірогідна на 95% рівні значущості; 3. ** S – STANDART; R – RESIDUAL; A – ARSTAN.

Кореляції з Оз, сумами опадів за березень-жовтень, червень-серпень і з середніми температурами за квітень-серпень, березень-жовтень, за гідрологічний та календарний роки виявилися недостовірними. Середні кореляції між індексами радіального приросту дерев та кліматичними показниками в помірній зоні отримано також В. І. Важовим та В. Т. Ярмишко [22, 222].

Таким чином, виявлено періоди розвитку деревостанів, пов'язані із впливом рекреації, а також швидше зниження радіального приросту в найбільш пошкодженому рекреацією насадженні. Це аналогічно передчасному старінню деревостану. Отримано середні позитивні зв'язки між індексами радіального приросту та опадами за гідрологічні, календарні роки та за холодний період від грудня до березня в усіх насадженнях. У менш пошкоджених рекреацією деревостанах 2-ої та 3-ої стадій дигресії виявлено достовірні кореляції

із сумами опадів за квітень – серпень і календарний роки. Тобто, зв'язки приросту з кліматом найбільш слабкі в насадженнях 4-ої стадії рекреаційної дигресії. Це пов'язано з тим, що у пригнічених рекреаційним навантаженням дубових насадженнях порушені зв'язки між поглинанням води деревами та гідрологічними умовами екотопу, які були змінені під впливом ущільнення ґрунтів рекреантами.

5.2. Вплив забруднення і клімату на радіальний приріст сосни звичайної

В епоху розвитку виробництва повітряне забруднення є значним фактором, який впливає на стан і розвиток лісових екосистем. Цей вплив може бути: синергічним, тобто негативні фактори (несприятливі кліматичні явища, суворі умови місцезростання) можуть посилювати вплив забруднення; сумарним, коли негативні впливи сумарно доповнюють один одного; позитивним, коли забруднення може діяти (зазвичай протягом короткого періоду) як добриво.

Деревні кільця – це унікальний інструмент для виявлення чинників навколишнього середовища, які впливають на розвиток насаджень протягом його життя. Кожний фактор знаходить відображення в своєрідному малюнку деревних кілець, ширина яких залежить від умов поточного періоду (погодні умови, антропогенне навантаження тощо) та типу умов місцезростання. Ці зв'язки є криволінійними. Чітко виділити складову впливу атмосферного забруднення в річному кільці неможливо. Можливо за статистичними характеристиками (коефіцієнтом чутливості, авторегресії тощо) деревно-кільцевих хронологій оцінити стан насадження та його реакцію на кліматичні варіації в лісових екосистемах, які потерпають від промислового забруднення [250].

5.2.1. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення викидами підприємства ВАТ «Балцем». Дослідження впливу клімату та викидів підприємства ВАТ «Балцем» на соснові насадження дендрохронологічними методами є продовженням низки робіт, присвячених дослідженням впливу викидів підприємством ВАТ «Балцем» на стан і розвиток лісових екосистем [27–29].

Потепління та збільшення кількості опадів почали прискорюватися протягом 2000–2010 рр. (кількість опадів збільшилася на 8 %,

середньомісячні температури – на 10 %, зимові температури – на 21 %, березневі – більше, ніж удвічі (на 240 %).

Як зазначено вище, об'єкти досліджень – чисті соснові дерево-стани борової тераси р. Сіверський Донець, які ростуть на різній відстані (0,8; 1,5; 2,2 та 20,6 км) від ВАТ «Балцем» на Харківщині.

Першу технологічну лінію на ВАТ «Балцем» введено в дію у 1963-му році, другу – у 1970-му. Основним компонентом забруднення є пил. Його частка в загальному обсязі викидів становить понад 70 %. Пил майже на 60 % складається з оксидів Ca та Mg, які й зумовлюють сильну лужну реакцію пилу, окрім цього є домішки Mn, Zn, Pb [29].

Виявлено коефіцієнти кореляції середньої тісноти між деревно-кільцевими хронологіями в всіх вибірках. Чутливість деревно-кільцевих хронологій переважно збільшується у міру підвищення рівня забруднення. Автокореляція індексної хронології STANDART зменшується у міру наближення ПП до комбінату, що свідчить про зменшення впливу умов (погодних, антропогенних тощо) попередніх років на формування річних кілець дерев. Це є ознакою ослаблення насаджень (табл. 5.11).

Таблиця 5.11

Статистична характеристика деревно-кільцевої хронології STANDART для насаджень, розташованих на різній відстані від ВАТ «Балцем»

Відстань від ВАТ «Балцем», км	R_{bar}	MS_x	$S_{\text{td.dev}}$	AC_1
0,8	0,422	0,280	0,604	0,620
1,0	0,325	0,345	0,650	0,703
2,2	0,337	0,253	0,576	0,700
30,0 (контроль)	0,460	0,234	0,965	0,708

На рис. 5.5 наведено динаміку індексів радіального приросту сосни STANDART у насадженнях, пошкоджених викидами комбінату. Динаміку радіального приросту сосни розподілено на чотири етапи згідно з рівнем промислового навантаження:

- 1950–1962 рр. – період до забруднення, який характеризується коливаннями радіального приросту дерев майже на одному рівні;
- у 1963–1977 рр. почалося промислове забруднення лісових екосистем із введенням в дію комбінату ВАТ «Балцем». Найбільше потерпало від забруднення насадження, яке росте на відстані 0,8 км від

комбінату. Посушливі 1967–1969 рр. призвели в цьому деревостані до відпаду тонкомірних дерев, унаслідок чого збільшилися величини річних кілець дерев, які залишилися, за рахунок збільшення площі живлення та покращення світлових умов. Посуха 1975 р. та сувора зима 1976 р. також призвели до відпаду найбільш ослаблених дерев у деревостані на відстані 2,2 км від джерела забруднення, що сприяло збільшенню величини річних кілець для дерев, які залишилися;

– 1978–1988 рр. – період максимального обсягу викидів. У міру збільшення рівня забруднення зменшується радіальний приріст сосни. Посушливий 1983 рік та 1986 рік із суворою зимою поглибили депресії приростів дерев у найбільш пошкоджених насадженнях.

– 1989–2010 рр. характеризуються зменшенням обсягу викидів майже вдвічі. У 1996 році посуха як спусковий гачок вплинула на насадження, яке росте за 1 км від комбінату, внаслідок чого відбулося зрідження деревостану і, відповідно, збільшення приросту. Протягом останніх 2005–2010 рр. тренд радіального приросту дерев, вірогідно, знизився внаслідок хронічного забруднення і підвищення температур, особливо зимових та ранньовесняних, що призвело до перевищення порогу оптимуму для росту дерев, тобто дерева стали більш уразливими до екстремальних умов (рис. 5.5).

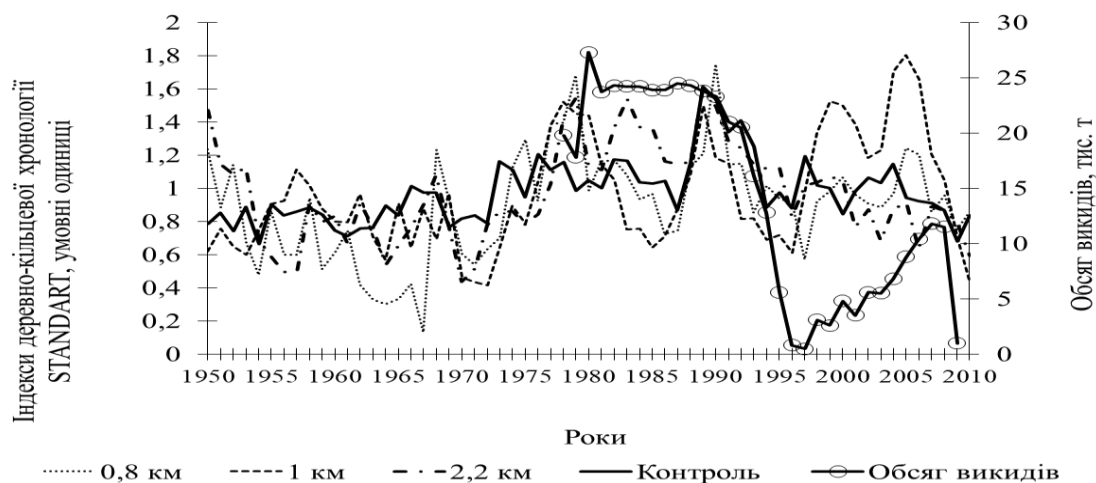


Рис. 5.5. Динаміка індексів радіального приросту STANDART і динаміка викидів підприємства ВАТ «Балцем»

Проведено кореляційний аналіз між індексами радіального приросту та обсягом викидів для двох періодів: 1978–1988 рр., які характеризуються максимальним обсягом викидів, та для 1989–2009 рр., коли обсяг поллютантів значно зменшився (табл. 5.12). Для 1978–1988 рр. виявлено зворотні сильні достовірні кореляції між індексами радіального приросту та обсягом викидів на ПП, розташованих на відстані 0,8 км від джерела забруднення, та середні

зв'язки для насадження, що росте на відстані 2,2 км від комбінату. Це обумовлено дещо гіршими ґрунтовими умовами (ППП розташована у верхній частини схилу). В наступні 1989–2009 рр. обчислено додатні кореляції між приростом і обсягом забруднювачів (пилу, NO_x та SO₂) на всіх ПП, що свідчить про розповсюдження повітряних забруднювачів на значні відстані.

Таблиця 5.12

Кореляції між індексами радіального приросту STANDART та обсягами викидів на ППП, розташованих на різних відстанях від ВАТ «Балцем»

Періоди	0,8 км	1 км	2,2 км	Контроль
Загальний обсяг викидів, тис. т				
1978–1988	–0,78*	–0,42	–0,62 ⁺	0,02
1989–2009	0,68**	–0,17	0,72**	0,75**
Пил				
1980–1988	0,10	0,78 ⁺	–0,35	–0,05
1989–2009	0,70**	0,08	0,71**	0,76**
NO _x				
1980–1988	–0,19	0,10	–0,42	–0,28
1989–2009	0,59*	–0,07	0,69**	0,69**
SO ₂				
1978–1988	–	–	–	–
1989–2009	0,69**	–0,27	0,69**	0,70**

Примітка. ⁺ – рівень значущості 0,05; * – рівень значущості 0,01; ** – рівень значущості 0,001; – дані відсутні.

Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту сосни пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу (1978–1988 рр.) та прямі – у період зменшення обсягу викидів – у 1989–2009 рр..

Посухи й високі зимові та ранньовесняні температури поглиблюють депресії радіального приросту сосни в насадженнях, пошкоджених викидами. Синергічний вплив забруднення та несприятливих погодних умов викликає зрідження насаджень, що призводить до збільшення величин річних кілець за рахунок збільшення площі живлення дерев і покращення світлових умов. Зменшення тренду радіального приросту сосни у 2005–2010 рр. викликане не тільки

хронічним забрудненням лісових екосистем, але й підвищенням зимових і ранньовесняних температур, що перевищили поріг оптимуму росту дерев.

5.2.2. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення викидами Змійвської теплової електростанції. Метою досліджень було вивчення реакції радіального приросту сосни на зміни клімату та емісії Змійвської теплової електростанції.

Особливістю забруднення соснових деревостанів ЗТЕС є надходження SO_2 , NO_x і попелу в атмосферу через труби від 180 до 250 м, що створює умови для поширення забруднювачів на значну відстань (рис. Т.12 Дод. Т). Об'єкти досліджень – чисті соснові середньовікові насадження, що ростуть на дерново-підзолистих середньо розвинених ґрунтах, тип лісорослинних умов В₂. Три ППП, розташовані на відстані 5,5, 8,5 та 13 км (умовний контроль) від ЗТЕС.

Для 1964–1979 рр. характерна подібність кривих індексів радіального приросту. У 1980–1995 рр. відбулося значне зменшення величин річних кілець унаслідок впливу на лісові екосистеми значного обсягу викидів і посух протягом 1983, 1990, 1992–1994 рр. У 1983–1987 рр. відмічено найглибшу депресію приросту та віддзеркалення кривої індексної хронології STANDART та кривої викидів. У 1984–1986 рр. на найбільш пошкодженій ППП відбувся відпад тонкоміру, внаслідок чого покращилися світлові умови та збільшилася площа живлення дерев, які залишилися, потім різко збільшилася величина деревних кілець (рис. 5.6).

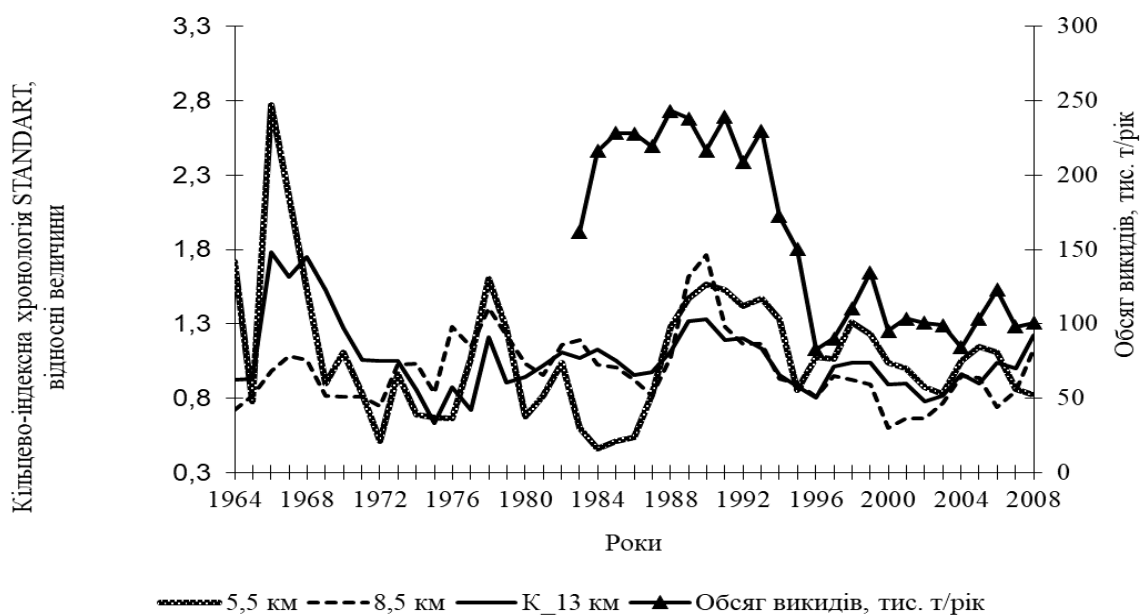


Рис. 5.6. Динаміка обсягів викидів ЗТЕС та кільцево-індексних хронологій STANDART для насаджень, пошкоджених промисловими викидами (К_13 км – контроль)

Різким зменшенням величин деревних кілець характеризувалися деревостани протягом 1996–2008 рр., за винятком ППП, розташованої на відстані 5,5 км від ЗТЕС. Останнє є результатом хронічного забруднення лісових екосистем та кліматичних змін. Про це свідчить кореляційний аналіз між індексами радіального приросту STANDART та показниками забруднення, який виявив значущі середні та тісні зв'язки для всіх деревостанів. Тобто, незважаючи на зменшення обсягу викидів майже вдвічі протягом 1996–2008 рр., забруднення продовжує обмежувати радіальний приріст дерев, пошкоджених цими викидами (табл. 5.13).

Таблиця 5.13

Кореляційні коефіцієнти між кільцево-деревними індексами STANDART і показниками забруднення у 1989–2008 рр.

Види забруднювачів	5,5 км	8,5 км	Контроль (13 км)
Попіл	0,81**	0,66*	0,59*
SO ₂	0,68*	0,74**	0,75**
NO _x	0,83**	0,75**	0,73**
Усього	0,82**	0,75**	0,73**

Примітка. ** – рівень значущості 0,001; * – рівень значущості 0,01.

Виявлено, що у 1969–1978 рр. на радіальний приріст дерев у пошкоджених насадженнях позитивно впливали опади та температура за рік і за вегетаційний період. На контролі відповідних зв'язків не знайдено, що свідчить про посилення чутливості пошкоджених лісових екосистем до забруднення. Як було визначено попередніми дослідженнями [80], у наступні 1979–1988 рр. відбулося збільшення кількості опадів і зимових та ранньовесняних температур, що призвело до виявлення позитивних значущих зв'язків на пошкоджених ППП між радіальним приростом дерев, з одного боку, і березневими температурами та кількістю опадів за вегетаційний період, – з іншого. У наступні 1989–1998 рр. виявлено суттєвий позитивний вплив березневих температур на радіальний приріст сосни. Пізніше, у 1999–2008 рр., виявлено лише зворотні зв'язки з опадами на контролі, а додатних зв'язків із температурою не визначено. Ймовірно, подальше потепління взимку та рано навесні, яке відбувалося найбільш інтенсивно у 1999–2008 рр. [99] на фоні хронічного забруднення лісу, призвело до погіршення радіального приросту сосни, крім найбільш пошкодженого деревостану, який було проріджено (табл. 5.14).

Таблиця 5.14

Кореляційні зв'язки між індексними деревно-кільцевими хронологіями STANDART для деревостанів із різним рівнем пошкодження викидами ЗТЕС та кліматичними чинниками за десятиліттями (1969–2008 рр.)

Кліматичні показники	Відстань до ЗТЕС, км	1969 – 1978 рр.	1979 – 1988 рр.	1989 – 1998 рр.	1999 – 2008 рр.
Сума опадів за рік, мм	5,5	0,57	0,55	–0,41	–0,22
Сума опадів за рік, мм	8,5	0,67 ⁺	0,04	0,05	–0,20
Сума опадів за рік, мм	Контроль	–0,18	–0,11	0,01	–0,56
Сума опадів за III–X, мм	5,5	0,43	0,85*	0,07	–0,20
Сума опадів за III–X, мм	8,5	0,72 ⁺	0,05	0,20	–0,39
Сума опадів за III–X, мм	Контроль	–0,09	0,13	0,15	–0,69 ⁺
Середньорічна температура, t°C	5,5	–0,43	0,05	0,18	0,09
Середньорічна температура, t°C	8,5	–0,82*	0,47	0,61	0,28
Середньорічна температура, t°C	Контроль	–0,17	0,14	0,47	0,37
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	5,5	–0,51	0,12	–0,51	0,09
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	8,5	0,79**	0,23	–0,45	–0,10
Середня температура за IV–VIII місяці, t°C	Контроль	–0,13	0,02	–0,52	0,23
Середня температура за III місяць, t°C	5,5	0,51	0,33	0,28	–0,27
Середні температури за III місяць, t°C	8,5	0,24	0,64 ⁺	0,69 ⁺	0,27
Середня температура за III місяць, t°C	Контроль	–0,22	0,02	0,70 ⁺	0,41
Середня темпер. холодного періоду, t°C ***	5,5	0,06	0,04	0,47	0,02
Середня темпер. холодного періоду, t°C, ***	8,5	–0,23	0,36	0,79**	0,19
Середня темпер. холодного періоду, t°C, ***	Контроль	–0,30	0,34	0,78**	0,22

Примітка. ** – вірогідно на 0,001 рівні значущості; вірогідно на 0,01 рівні значущості; + – вірогідно на 0,05% рівні значущості; ***середні температури холодного періоду (від попереднього грудня до поточного березня).

Висновки до розділу 5

1. Коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями дерев, коефіцієнт чутливості, авторегресію першого порядку та коефіцієнт варіації для деревно-кільцевих хронологій сосни звичайної можна використовувати як індикатори стану насаджень Лівобережного Лісостепу під впливом рекреації та промислових викидів.

2. Депресію радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією соснових і дубових деревостанах поглиблюють переважно посухи та аномальні зимові й ранньовесняні температури. Відновлення радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією деревостанах після впливу на них несприятливих погодних умов триває на 1–2 роки довше, ніж на контролі.

3. Соснові насадження під впливом викидів ВАТ «Балцем» не змогли відновити радіальний приріст дерев до 2008 року на відміну від соснових деревостанів, пошкоджених викидами ЗДРЕС, які не зважаючи на хронічне забруднення відновили радіальний приріст.

4. Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту сосни пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу (1978–1988 рр.) та прямі – у період зменшення обсягу викидів ВАТ «Балцем» – у 1989–2009 рр.

5. Залежність ширини кільця приросту від показників клімату залежить від відстані до джерел забруднення та його інтенсивності.

6. Підвищення температур упродовж вегетаційного та холодного періодів призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни в пошкоджених рекреацією та промисловими викидами насадженнях внаслідок порушення зимового спокою дерев, який негативно став впливати на формування річних кілець дерев після 1999 року.

ВИСНОВКИ

Наведено теоретичні узагальнення та аналіз даних стосовно особливостей реакції радіального приросту сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного на екологічні зміни в лісових екосистемах під впливом кліматичних та антропогенних факторів у різних зонах України.

1. У Поліссі потепління відбувається більш швидкими темпами, ніж у Лісостепу. Річні температури повітря в Лісостепу та Поліссі у 2001–2020 рр. у порівнянні з 1981–2000 рр. підвищилися на 13–17 % порівняно з нормою, середні температури за квітень–серпень – на 7 %, зимові температури за цей період підвищилися майже вдвічі, а в Лісостепу – на 22 %. У Поліссі річна кількість опадів у другому періоді збільшилася на 30 %, а у Лісостепу – на 0,18 %, причому розподіл опадів за сезонами в цих зонах суттєво відрізняється. У Криму у 2002–2011 рр. у порівнянні з 1992–2001 рр. річні температури підвищилися на 6 %; кількість річних опадів зросла на 27 %, зокрема у квітні–серпні на 8,8 %), а в зимові місяці зменшилася на 25 %. Реакція радіального приросту дерев на зміну клімату залежить від її напрямку, інтенсивності та розподілу цих змін упродовж року.

2. Підтверджено гіпотезу про негативний вплив зимових, ранніх весняних температур і температур вегетаційного періоду на стійкість насаджень у Поліссі, Лісостепу та на південному узбережжі Криму, що виявилось у збільшенні кількості значущих зв'язків між індексами приросту та кліматичними чинниками, які коливаються в межах 0,33–0,40.

3. Коефіцієнт кореляції між деревно-кільцевими хронологіями дерев, коефіцієнт чутливості, авторегресію першого порядку, коефіцієнт варіації, результати кореляційного аналізу між деревно-кільцевими хронологіями та кліматичними чинниками слід використовувати як індикатори стану насаджень Полісся, Лісостепу та гірського Криму під впливом клімату, рекреації та промислових викидів.

4. Соснові та дубові насадження Лісостепу на даному етапі змогли адаптуватися до зміни клімату на відміну від соснових насаджень у Поліссі, які найбільше потерпають від цих змін. Разом із тим, всі деревостани стали більш чутливими до змін клімату.

5. Після посухи 2008 року почалося масове всихання дубових насаджень в Поліссі, але після вибіркового санітарного рубок відбулася стабілізація радіального приросту і навіть незначне його підвищення

для деяких насаджень, що свідчить про адаптацію дерев, які залишилися живими, до зміни клімату та зниження рівня ґрунтових вод у 2011–2014 рр.

6. Упродовж 1989–2014 рр. радіальний приріст дуба звичайного у Поліссі обмежували високі температури в період вегетації, ранньої весни та зими та збільшення кількості опадів упродовж холодного періоду на тлі відлиг, що перешкоджало накопиченню вологи у ґрунті.

7. Порівняння реакції радіального приросту до зміни клімату в Поліссі та Лісостепу виявило позитивний вплив зимових і ранньовесняних температур на радіальний приріст дуба у Поліссі та Лісостепу у 1960–1988 рр. У 1989–2013 рр. – навпаки, значне підвищення зимових і ранньовесняних температур спричинило зменшення радіального приросту. У другому періоді дубові насадження Полісся більше потерпали від теплих зим, ніж насадження Лісостепу.

Негативний вплив посух вегетаційного періоду на приріст посилювався у другому періоді для обох регіонів. Упродовж другого періоду опади значною мірою втратили позитивний вплив на приріст у насадженнях як Полісся, так і Лісостепу. У надзвичайно вологих умовах Полісся опади за періоди від серпня–березня до серпня–вересня негативно впливають на радіальний приріст дуба. Зі зменшенням ступеня зволоження ділянок цей період скорочується.

8. Різке зниження рівня ґрунтових вод стало причиною погіршення стану дубових насаджень, що росли в умовах осушувальної меліорації, проведеної в 60-х роках минулого століття в Поліссі. Упродовж 2008–2013 рр. рівень ґрунтових вод знизився у більшості свердловин, що є наслідком зменшення середньорічної суми опадів на 10–13 % у порівнянні з нормою й підвищення температур, особливо зимових і ранньовесняних.

Це призвело до швидкого танення снігу, збільшення поверхневого стоку та зменшення вмісту вологи у ґрунті, що негативно вплинуло на радіальний приріст дуба. Кореляційний аналіз індексів деревно-кільцевих хронологій дуба звичайного виявив значущі зв'язки з рівнями ґрунтових вод у створі Сусли-3. Найтісніші зворотні зв'язки виявлено між індексними хронологіями дуба та рівнем ґрунтових вод за лютий і березень.

9. Депресію радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією соснових і дубових деревостанах поглиблюють переважно посухи та аномальні зимові й ранньовесняні температури. Відновлення радіального приросту дерев у пошкоджених рекреацією деревостанах

після впливу на них несприятливих погодних умов триває на 1–2 роки довше, ніж на контролі.

10. Соснові насадження під впливом викидів підприємства виробничого акціонерного товариства «Балцем» не змогли відновити радіальний приріст дерев до 2008 року на відміну від соснових деревостанів, пошкоджених викидами Зміївської теплоелектростанції, які незважаючи на хронічне забруднення відновили радіальний приріст дерев.

11. Виявлено зворотні зв'язки між індексами радіального приросту сосни пошкоджених емісіями насаджень у роки найбільшого техногенного пресу (1978–1988 рр.) та прямі – у період зменшення обсягу викидів виробничого акціонерного товариства «Балцем» – у 1989–2009 рр. Залежність ширини кільця приросту від показників клімату залежить від відстані до джерел забруднення та його інтенсивності.

12. Підвищення температур упродовж вегетаційного та холодного періодів призвело до зменшення тренду радіального приросту сосни у пошкоджених рекреацією та промисловими викидами насадженнях внаслідок порушення зимового спокою дерев, який негативно впливав на формування річних кілець дерев після 1999 року.

13. Пізня деревина сосни звичайної, сосни кримської та дуба звичайного має найвищий коефіцієнт чутливості до змін довкілля, а також найвищий міжсерійний коефіцієнт кореляції, тому цей показник є сенс використовувати у дендрокліматичному аналізі, що доведено експериментально.

ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ

Для практичного використання результатів дослідження на виробництві пропонується:

- проводити більш інтенсивні санітарні рубки після років значного впливу стрес-факторів на деревостани, коли відбувається підвищений відпад ослаблених дерев. Ці роки характеризуються відхиленням температур від норми на 15–56 % та зменшенням кількості опадів від норми на 30–70 %;

- застосовувати взаємозв'язки між індексами радіального приросту та кліматичними чинниками як характеристику для оцінювання рівня стійкості лісостанів;

- враховувати показник частки пізньої деревини дуба звичайного для прогнозування залежності індексів радіального приросту від температур за квітень – серпень і рівня ґрунтових вод у лютому;

- використовувати як індикатори стану соснових насаджень під впливом викидів коефіцієнт чутливості та авторегресію першого порядку деревно-кільцевих хронологій.

SUMMARY

Koval I. M. Dendrochronological principles of evaluation of pine and oak stands of Ukraine.

Theoretical generalizations and analysis of data on the peculiarities of the response of tree rings of *Pinus sylvestris* L., *Quercus robur* L., *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* to ecological changes in forest ecosystems under the influence of climatic and anthropogenic factors in different natural zones of Ukraine.

The research was based on the analysis of tree rings of Scots pine and English oak in Polissya and Forest-Steppe, Crimean pine growing in the stands of the southern part of the Crimean Mountains.

The hypothesis of the negative influence of winter, early spring, and vegetation temperatures on the stability of stands in Polissya, Forest-Steppe, and the southern coast of Crimea was confirmed, which was manifested in an increase in the number of significant links between growth indices and climatic factors.

The methods used include those common in forestry and forest assessment, comparative ecology, and dendrochronology. Dendrochronology studies of early wood, late wood, and annual tree ring width reveal the complex indicators that reflect the condition of forest stands.

The dissertation presents theoretical generalizations and data analysis on the peculiarities of the reaction of radial growth of Scots pine, Crimean pine and Scots oak to ecological changes in forest ecosystems under the influence of climatic and anthropogenic factors in different areas of Ukraine.

The methods used include those common in forestry and forest assessment, comparative ecology and dendrochronology. Dendrochronology studies the layers of summer, early and late wood as complex indicators that reflect the state of forest stands.

New regional tree-ring chronologies lasting 143 years for Scots pine were developed on the basis of samples from living trees and 143 years for English oak in Polissya stands; lasting 97 years for Scots pine and 114 years for English oak in the stands of the Left Bank Forest-Steppe. Two local tree-ring chronologies for the Crimean pine with a duration of 149 years and one 42 years for the stands of the southern slope of the Crimean mountains were developed.

Pine and oak forests of the Forest-Steppe at this stage were able to adapt to climate change in contrast to the pine stands in Polissya, which suffer the most from climate change. At the same time, stands have become more sensitive to climate change, as evidenced by the increasing

relationship between climatic factors and radial growth, which indicates a decrease in the resilience of forest ecosystems.

After the drought of 2008, an intensive decline of oak stands in Polissya began, but after selective sanitary felling, the radial growth stabilized and even increased slightly for some stands. This indicates the adaptation of surviving trees to climate change and groundwater levels in 2011–2014.

During 1989–2014, the radial growth of English oak in Polissya was limited by high temperatures during the growing season, early spring and winter, as well as an increase in precipitation during the cold period.

A comparison of the response of radial growth to climate change in 1960–1988 revealed a positive effect of winter and early spring temperatures on the radial growth of oak in Polissya and the Forest-Steppe. In 1989–2013, on the contrary, a significant increase in winter and early spring temperatures caused a decrease in radial growth. In the second period, the oak stands of Polissya suffered more from warm winters than the stands of Forest-Steppe. The negative impact of the growing season droughts on growth intensified in the second period for both regions. During the second period, precipitation significantly lost its positive effect on growth in the stands of both Polissya and Forest-Steppe.

In the Polissya part of the Novohrad-Volynskyi physical-geographical district, where mostly oak stands grow, during 2008–2013 the groundwater level decreased in most areas. It was a consequence of a decrease in the average annual precipitation by 10–13 % of the norm and rising temperatures, especially winter and early spring. This led to the rapid melting of snow, increased surface runoff, and reduced soil moisture, which negatively affected the radial growth. At the same time, in the drainage system which is located in the southern part of the Novograd-Volyn physical-geographical district (Forest-Steppe), the table water level increased due to the unsatisfactory condition of channels, soil cover, and parent rocks.

The sensitivity coefficient of the index tree-ring series, which increased in recreationally damaged pine stands by 41–67 % compared to the control, indicates a significant decrease in the stability of these stands. The correlation coefficient between the tree-ring chronologies, which is much lower in damaged stands than in the control, indicates an anomaly of the radial growth of pine. The depression of the radial tree growth in recreationally damaged stands is aggravated mainly by droughts and low winter temperatures. Restoration of the radial growth of trees in

recreationally damaged stands after exposure to adverse weather conditions takes 1–2 years longer than in the control.

As the recreational load increases, the radial growth of pine trees decreases, and the coefficient of variation increases. Restoration of radial growth of trees in recreationally damaged stands after exposure to adverse weather conditions (drought, low winter temperatures) lasts 1–2 years longer than in the control.

The radial growth of oak stands in the green zone of Kharkiv during 1995–2008 decreased as the level of damage increased: the width of the ring was decreased to the control at the plots of the second stage of digression – by 7 %, the third – by 16 % and the fourth – by 27 %. The pointer years of minimal growth (1975, 1983, 1984, 1987, 1990, 1994, 1996, 2002, and 2007) were characterized by droughts and low temperatures in winter and early spring, except for 2007 with extremely warm winters and early spring. Pointer years of the radial growth of pine were observed in 1980, 1989, 1997, and 2004 with a favorable ratio of heat and moisture for tree growth.

High synchronicity between annual ring thickness and late and early oak wood species was found in almost all research plots, except for the most damaged plantation with the fourth stage of recreational digression, where late wood has less close correlations with tree ring index and early wood index, indicating damage to pine stands by recreation.

For pine stands under the influence of cement plant emissions («Baltsem»), it has been established that the sensitivity coefficient and autoregression of the first order of tree-ring chronologies can be used as indicators of stand state. Correlations between radial growth indices for emission-damaged stands during the years of the largest industrial loading (1978–1988) were negative and positive correlations for the period of emission reductions – in 1989–2009 were revealed. Droughts and high winter and early spring temperatures deepen radial depressions of pine growth in stands damaged by emissions. The decrease in the trend of radial growth of pine in 2005–2010 is caused not only by chronic pollution of forest ecosystems but also by an increase in winter and early spring temperatures, which exceeded the optimal threshold for tree growth.

For pine stands under the influence of emissions from the Zmiiv Thermal Power Plant, it was found that in 1969–1978 the pine radial growth was limited by precipitation and temperatures during the year and the growing season. In the following 1979–1988, the increment in damaged stands was limited by March temperatures and precipitation during the growing season. In 1989–1998, further increases in temperatures during the

winter and March periods led to improved growth at all research plots. In 1999–2008, further intensive warming in winter and early spring exceeded the optimum threshold for tree growth, which led to a reduction in radial pine growth against the background of chronic pollution of forest ecosystems, despite decrease emissions.

The effectiveness of a combination of the dendrochronological, silvicultural, taxonomic, and comparative ecology methods is theoretically and practically proved.

The correlation coefficient between tree-ring chronologies of trees, sensitivity coefficient, first-order autoregression, coefficient of variation, results of correlation analysis between tree-ring chronologies, and climatic factors should be used as indicators of oak and pine stands condition under the influence of climate and anthropogenic load in Polissya, Forest-steppe and mountainous Crimea.

Key words: dendrochronological methods, Scots pine, Crimean pine, English oak, climate change, recreation, air pollution, Polissya, Forest-steppe, southern slopes of the Crimean mountains.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Агафонов А. Ф., Алексеев У. А. Усыхание чистых сосняков по пожарищам. Лесоведение. 1989. Вип. 12. С. 37–39.
2. Алексеев В. А. Лесные экосистемы и атмосферное загрязнение. Л.: Наука, 1990. 198 с.
3. Альошкіна У М. Акумуляція вуглецю лісовими екосистемами (на прикладі модельних ділянок у заказнику «Лісники», м. Київ). Наукові записки НаУКМА. Біологія та екологія. 2011. Вип. 119. С. 52–55.
4. Амосова И. Б., Феклистов П. А. Радиальный прирост и возрастная структура березы в условиях Северной и средней подзоны тайги. Экологические проблемы севера. 2008. Вып. 11. С. 53–57.
5. Арманд А. Д., Люри Д. И., Жерихин В. В. и др. Анатомия кризисов. М.: Наука, 1999. 238 с.
6. Андрущенко Р. О., Коваль. І. М. Радіальний приріст феноформ дуба звичайного в осередках масового розмноження п'ядуна зимового зимового (*Operophtera brumata* L.) в лісах центрального Полісся. Наукові доповіді Національного університету біоресурсів і природокористування України: електронний фаховий журнал. 2014. Вип. 5 (47). https://nd.nubip.edu.ua/2014_5/21.pdf
7. Антанайтис В. В., Загребев В. В. Прирост леса. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 200 с.
8. Анучин Н. П. Лесная таксация. М.: Лесн. пром-сть, 1982. 52 с.
9. Арефьев С. П. Корреляционный анализ аномальности прироста деревьев и кустарников Тазовского полуострова. Дендрохронология: достижения и перспективы: матер. всерос. совещ., г. Красноярск, 27–30 окт. 2003. С. 51.
10. Балабух В. О., Зібцев С. В. Вплив зміни клімату на кількість та площу лісових пожеж у північно-чорноморському регіоні України. Український гідрометеорологічний журнал. 2016. Вип. 18. С. 60–71.
11. Балыбина А. С. Климатические факторы динамики радиального прироста хвойных пород деревьев в лесных фитоценозах Предбайкалья: автореф. дис. канд. геогр. наук. по спец. 25.00.23 - физическая география и биогеография, география почв и геохимия ландшафтов. Иркутск. 2005. 23 с.
12. Барабаш М. Б., Татарчук О. Х., Гребенюк Н. П., Корж Т. В. Практичний напрямок досліджень змін клімату в Україні. Фізична

географія та геоморфологія. Науковий вісник Київського національного університету імені Тараса Шевченка. 2009. Вип. 57 (28). С. 28–36.

13. Битвинскас Т. Т. Дендроклиматические исследования. Л.: Гидрометеиздат, 1974. 170 с.

14. Битвинскас Т. Т. Возможности применения дендроклиматологического метода в практике лесного хозяйства в условиях Литвы. Вопросы древесного прироста в лесоустройстве. Каунас: Литовская сельскохозяйственная академия. 1967. С. 75–81.

15. Бондар В. Н. Причини та наслідки санітарного стану лісів і деградація лісових екосистем. Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення в Україні: Міжнародна науково-практична конференція, м. Київ, 12 червня 2019 р.: матер. конф. К., 2019. С. 8–17.

16. Борисова В. Л. Поширення ясена звичайного у лісових насадженнях лісостепової частини Харківської області. Лісівництво і агролісомеліорація. 2016. Вип. 128. С. 12–19.

17. Букша І. Ф., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., Пивовар Т. С., Букша М. І., Пастернак В. П. Прогноз життєздатності сосни звичайної і дуба звичайного у разі зміни клімату в рівнинній частині України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 130. С. 146–158.

18. Букша І. Ф. Изменение климата и лесное хозяйство Украины. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2009. Вип. 7. С. 11–17.

19. Букша І. Ф., Швиденко А. З., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., Пивовар Т. С., Букша М. І., Пастернак В. П., Краковська С. В. Методологія моделювання та оцінювання впливу зміни клімату на лісові фітоценози України. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. Вип. 266. 2017. С. 26–38.

20. Бурова Н. В., Феклистов П. А. Антропогенная трансформация пригородных лесов. Архангельск: Издательство Арханг. гос. техн. ун-та, 2007. 264 с.

21. Ваганов Е. А., Терсков И. А. Анализ роста дерева по структуре годовичных колец. Новосибирск: Наука, 1977. 95 с.

22. Важев В. І. Влияние осадков и температуры на годичный прирост древесных растений. Бюллетень Никитского ботанического сада. 1985. С. 75–79.

23. Ваколюк В. Д. Радіальний приріст дерев дуба звичайного у лісах Поділля, пошкоджених і непошкоджених льодоламом 2000 року.

Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2009. Вип. 19 (10). С. 37–47.

24. Валендик Э. Н., Иванова Г. А. Экстремальные пожароопасные сезоны и их реконструкция: V Всесоюз. совещ. Свердловск, 1990. С. 30.

25. Васи́лишин Р. Д., Домашовець Г. С. Фітомаса та депонований вуглець лісів Львівської області в контексті лісорослинного районування. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України, 2008. Вип. 18.3. С. 50–58.

26. Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю. Рекомендації щодо ведення лісового господарства в умовах антропогенного впливу [затверджені науково-технічною радою Держлісагенства протокол № 3 від 20.04.2017 року]. Х.: УкрНДІЛГА, 2017. 54 с.

27. Ворон В. П., Бондарук М. А., Коваль І. М., Целіщев О. Г. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Рекомендації щодо комплексної оцінки стійкості рекреаційно-оздоровчих лісів, організації їх моніторингу та оптимізації рекреаційного лісокористування в них. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово, 2011. С. 10–112.

28. Ворон В. П., Лавров В. В., Бондарук М. А., Стельмахова Т. Ф., Распопіна С. П., Коваль І. М., Романенко О. І., Леман О. В., Целіщев О. Г. Діагностика та зонування пошкодження лісів України аеротехногенним забрудненням. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово, 2011. С. 113–164.

29. Ворон В. П., Романенко О. І., Мельник Є. Є., Бологов О. Ю. Зміни соснових лісів в умовах забруднення атмосфери викидами Балаклійського ВАТ «Балцем». Лісовий журнал. 2011. Вип. С. 7–12.

30. Ворон В. П., Івашинюта С. В., Коваль І. М., Бондарук М. А. Ліси зеленої зони м. Рівне та їх еколого-захисні функції. Харків: Нове слово, 2008. 224 с.

31. Ворон В. П., Коваль І. М., Лещенко В. О. Вплив погодних умов і рекреації на динаміку радіального приросту дерев в сосняках зеленої зони м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2010. Вип. 117. С. 86–93.

32. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату та рекреаційного навантаження в лісостеповій зоні України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. Вип. 21 (2). С. 63–70.

33. Ворон В. П., Лавров В. В., Присада І. О., Стельмахова Т. Ф., Воронцова О. І., Коваль І. М. Попередні нормативи гранично-допустимих навантажень (ГДН) основних промислових екосистем України. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій Українського науково-дослідного інституту лісового господарства і агролісомеліорації. Харків: Нове слово, 2011. С. 165–175.

34. Ворон В. П., Бондарук М. А., Целіщев О. Г., Коваль І. М., Леман О. В. Вплив антротехногенних факторів на ліси зелених зон України. Ліс, наука, суспільство: Міжнародна ювілейна наукова конференція, присвячена 75-річчю із дня заснування УкрНДІЛГА, м. Харків, 30–31 березня 2005 року: тези доп. Харків, 2005. С. 68.

35. Ворон В. П., Коваль І. М. Вплив низових пожеж на динаміку радіального приросту сосни в лісостеповій зоні України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. Вип. 21.7. С. 45–50.

36. Ворон В. П., Коваль І. М. Динаміка радіального приросту сосни як критерій реакції лісових екосистем Волинського Полісся на дію кліматичних та антропогенних факторів. Збірник Національного аграрного університету. 1998. С. 44–47.

37. Ворон В. П., Коваль І. М. Формування шарів ранньої, пізньої та річної деревини в соснових насадженнях під впливом викидів ВАТ «Балцем» на північній межі степової зони України. Вісник Харківського Національного аграрного університету імені В. В. Докучаєва. 2013. № 1. С. 188–194.

38. Ворон В. П., Коваль І. М., Леман О. В., Воронцова О. І. Деякі методичні підходи до вивчення динаміки радіального приросту сосни під впливом промислового забруднення в умовах лісостепової зони. Лісівництво і агролісомеліорація. 2004. Вип. 105. С. 183–188.

39. Ворон В. П., Коваль І. М., Леман О. В., Воронцова О. І., Зібцев С. В. Розвиток соснових деревостанів в умовах зниження аеротехногенного забруднення Зміївської ТЕС. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2006. Вип. 103. С. 24–33.

40. Ворон В. П., Коваль І. М., Лещенко В. О. Динаміка радіального приросту сосни під впливом викидів Зміївської теплової

електростанції. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. Вип. 21 (14). С. 60–66.

41. Ворон В. П., Коваль І. М., Леман О. В. Методичні підходи до вивчення впливу негативних чинників на радіальний приріст сосняків в Поліссі. Наукові праці Лісівничої академії наук України: збірник наукових праць Львів: РВВ НЛТУ України. 2011. Вип. 9. С. 156–161.

42. Ворон В. П., Коваль І. М., Лещенко В. О., Романенко О. І., Мельник Є. Є. Вплив комплексу антропогенних чинників на лісові екосистеми зеленої зони міста Харків. Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи. Матеріали наукової конференції, присвяченої 80-річчю від дня заснування УкрНДІЛГА, 12–14 жовтня 2010 р. Харків, 2010. С. 164–166.

43. Ворон В. П., Коваль І. М., Лещенко В. О. Вплив погодних умов і рекреації на динаміку радіального приросту дерев в сосняках зеленої зони м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2010. Вип. 117. С. 86–93.

44. Ворон В. П., Коваль І. М., Сидоренко С. Г., Мельник Є. Є., Ткач О. М., Борисенко В. Г., Тимошук І. В., Бологов О. Ю. Пірогенна трансформація лісів України. Харків: ТОВ Планета-Прінт, 2021. 286 с.

45. Ворон В. П., Коваль І. М., Ткач О. М., Сидоренко С. Г. Постпірогенна динаміка радіального приросту в середньовіковому сосняку Рівненського Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. Вип. 30. С. 159–168.

46. Ворон В. П., Коваль І. М., Ткач О. Н. Влияние низовых пожаров на радиальный прирост *Pinus sylvestris* L. в лесной и лесостепной зонах Украины. Проблемы лесоведения и лесоводства: Сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Проблемы лесоведения и лесоводства: Сборник научных трудов ИЛ НАН Беларуси. Вып. 80. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2020. С. 267–274.

47. Гордієнко М. І., Гордієнко Н. М. Лісівничі властивості деревних рослин. К.: Вістка, 2005. 816 с.

48. Грейбилл Д. А. Дендрохронологическое изучение загрязнения воздушной среды в хвойных лесах западных районов США. Лесоведение. Вип. 2. 1990. С. 3–15.

49. Грейбилл Д. А., Шиятов С. Г. Реконструкция температуры воздуха летних месяцев за последнее тысячелетие на основе использования древесно-кольцевой хронологии по лиственнице сибирской (Полярный Урал) Проблемы дендрохронологии и

дендроклиматологии: Всесоюз.совещ. по вопр. дендрохронологии, г. Свердловск, 29–31 мая 1990 г.: тезисы докл. С. 45–46.

50. Гриневецкий В. Т., Давидчук В. С., Шевченко Л. М., Сорокіна Л. Ю., Чехній В. М., Голубцов О. Г. Ландшафтознавство в Інституті географії Національної академії наук України. Український географічний журнал, 2017. Вип. 4. С. 3–12.

51. Грицан Ю. И. Биометеорологический аспект дендроиндикации. Вопросы лесной биогеоценологии, экологии и охраны природы в степной зоне. Куйбышев: КуГУ, 1990. С. 29–46

52. Гульчак В. Державний облік лісів України – підсумки та прогнози. Лісовий і мисливський журнал. 2012. Вип 2. С. 6–8.

53. Данилко І. В. Аналітична довідка про меліоративний стан осушуваних сільськогосподарських угідь та заходи щодо підвищення ефективності використання меліорованих земель Новоград-Волинського району. Звіт Житомирської гідрогеолого-меліоративної експедиції. Житомир, 2013. 4 с.

54. Діагностика та зонування пошкодження лісів України аеротехногенним забрудненням. Ворон В. П., Лавров В. В., Бондарук М. А., Стельмахова Т. Ф., Распопіна С. П., Коваль І. М., Романенко О. І., Леман О. В., Целіщев О. Г. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА. Х.: Нове слово, 2011. С. 113–164.

55. Дідух Я. Глобальні зміни клімату: що робити екологам? Дзеркало тижня. 2008. 15–21 листопада, № 3 (722).

56. Дідух Я. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: причини, наслідки, дії. Вісник НАН України. 2009. Вип. 2. С. 34–44.

57. Ермохин М. В. Ретроспективный анализ распространения широколиственных лесов на территории Беларуси. Ботаника. Сборник научных трудов. Минск: институт экспериментальной батаники НАН Беларуси. 2011. Вып. 40. С. 186–195.

58. Железнова О. С., Тобратов С. А. Влияние климата на радиальный прирост сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в различных местообитаниях Мещерской низменности. Известия РАН: серия географическая. 2019. Вип. 5. С. 67–77.

59. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь / С. П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко; за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.

60. Зборовська О. В., Краснов В. П., Ландін В. П., Захарчук В. А. Радіальний приріст сосни звичайної на моренних відкладах

Житомирського Полісся. Агроекологічний журнал. 2018. Вип. 1. С. 7–13.

61. Ибрагимов А. К. Об уровнях устойчивости и критическом состоянии лесных экосистем. Вопросы экологии и охраны природы в лесостепной и степной зонах: (межвед. сб. науч. тр.). Самара, 1995. С. 81–87.

62. Иванов В.С. Радиальный прирост – достоверный признак определения степени рекреационной дигрессии насаждений. [Электронный ресурс]: http://www.science-bsea.bgita.ru/2002/les_2002/ivanov.htm.

63. Іванюк І. Д., Фучило Я. Д. Вплив метеорологічних чинників на радіальний приріст дуба звичайного в умовах свіжих і вологих сугрудків Полісся України. Наукові праці ЛАНУ. 2020. Вип. 20. С. 57–63.

64. Ковалев П. В., Черкасов П. А., Попов А. И., Иванов В. В., Острянин А. В. Реконструкция метеорологических условий прошлого по годичным кольцам деревьев. Вестник Харьковского университета. 1989. Вып. 341. С. 62–67.

65. Коваль І. М., Воронін В. О. Реакція радіального приросту *Pinus Sylvestris* L. на зміну клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2019. Вип. 135. С. 140–148.

66. Коваль И. М. Дендрохронологические аспекты устойчивости рекреационных лесов на востоке Украины. Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: материалы междунар. науч.-практ. конференции, Гомель, 09–11 октября 2013 г. Гомель: Институт леса НАН Беларуси, 2013. С. 221–224.

67. Коваль И. М., Костяшкин Д. С. Дендрохронологический анализ феноформ дуба обыкновенного под влиянием рекреации в Лесостепи Украины. Материалы XIII Международной научно-практической экологической конференции: «Биоразнообразие и устойчивость живых систем», г. Белгород, 6–11 октября 2014. Белгород, 2014. С. 34–35.

68. Коваль І. М. Реакція радіального приросту *Quercus robur* L. на зміни клімату Поліссі та Лісостепу. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2020. Вип. 20. С. 64–73.

69. Коваль І. М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно–кільцевій хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.)

Лівобережного Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2020. Вип. 137. С. 72–81.

70. Коваль І. М. Радіальний приріст розсіяно-судинних порід в умовах зміни клімату. Актуальні проблеми, шляхи та перспективи розвитку ландшафтної архітектури, садово-паркового-господарства, урбоекології та фіто меліорації: Міжнародна науково-практична конференція, м. Біла Церква, 16–17 вересня 2021 року. С. 106–107.

71. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни на зміни клімату в насадженнях Лівобережного Лісостепу України. Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції 12–13 червня 2019 року. Київ, 2019. С. 123–125.

72. Коваль І. М. Регіональна індексна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного (*Quercus Robur* L.) для лісової зони України. Збірник наукових статей XVI Всеукраїнських наукових Таліївських читань (29–30 жовтня 2020 року). Харків: національний університет імені В. Н. Каразіна. Навчально-науковий інститут екології, 2020. С. 55–56.

73. Коваль І. М., Браунинг А. Вплив клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженні Лівобережного Лісостепу. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: Освіта – наука – виробництво – 2018. XXI Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків 18–20 квітня 2018 р. С. 100–102.

74. Коваль І. М., Браунинг А., Воронін В. О., Невмивака М. А., Токарева Н. А. Особливості формування шарів ранньої, пізньої та річної деревини дуба звичайного в насадженні Лівобережного Лісостепу України. XIV Всеукраїнські наукові Таліївські читання: охорона довкілля. Харків, 2018. С. 61–64.

75. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в пірогенно пошкоджених соснових молодняках Лівобережного Лісостепу. Лісівництво і агролісомеліорація. 2018. Вип. 133. С. 78–84.

76. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в молодому сосновому насадженні Лівобережного Лісостепу, пошкодженого пожежею. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво: XXII Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 17–18 квітня 2019 р.: тези доп. Х., 2019. С. 46–47.

77. Коваль І. М. Біоіндикація стану насаджень ясена звичайного Західного Лісостепу на прикладі деревостану Ярунського лісництва ДП «Новоград-Волинське ДЛМГ». Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2016. Вип. 26 (8). С. 81–87.

76. Коваль І. М., Бологов О. В., Нусбаум С. А., Юзвинський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 126. С. 202–211.

77. Коваль І. М. Відгук радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату у лісостеповій зоні. Лісівнича наука: витоки, сучасність, перспективи: Наукова конференція, присвячена 80-річчю від дня заснування УкрНДІЛГА, м. Харків, 12–14 жовтня 2010 р. С. 173–174.

78. Коваль І. М. Відгук соснових насаджень зеленої зони м. Харків на стрес, викликаний рекреацією. Лісова типологія в Україні: сучасний стан, перспективи розвитку: XI Погребняківські читання, 10–12 жовтня 2007 р., м. Харків. С. 204–206.

79. Коваль І. М. Вплив клімату на динаміку радіального приросту *Pinus sylvestris* L. у лісовій і лісостеповій зонах України. Лісівництво і агролісомеліорація. 2007. Вип. 111. С. 53–58.

80. Коваль І. М. Вплив клімату та забруднення на динаміку радіального приросту сосни звичайної в лісостеповій зоні. Вісник Харківського національного аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. 2012. Вип. 3. С. 182–185.

81. Коваль І. М. Дендрохронологія та заповідна справа. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи: I Міжнародна Інтернет-конференція, м. Харків, 26 лютого 2021 р.. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 71–72.

82. Коваль І. М. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення в степовій зоні України. Біорізноманіття та стійкий розвиток: II Міжнародна науково-практична конференція «». Сімферополь: Кримський науковий центр НАН і МОН України, 2012. С. 86–90.

83. Коваль І. М. Дендрохронологічні дослідження в Україні. Посібник українського хлібороба. Науково-практичний збірник. 2016. Том. 2. С. 282–284.

84. Коваль І. М. Дендрохронологічні дослідження післяпожежного розвитку соснових деревостанів в лісостепу. Тези доповідей міжнародної конференції науково-педагогічних працівників, наукових співробітників та молодих вчених. Київ, 2011. С. 23–24.

85. Коваль І. М. Дендрохронологія в Україні: ретроспектива і перспективи розвитку. Лісове господарство, лісова, паперова і деревообробна промисловість. Науковий вісник НЛТУ України. 2006. Вип. 31. С. 221–227.

86. Коваль І. М. Дендрохронологія в Україні: ретроспектива та перспективи розвитку. Матеріали Міжнародної Науково-практичної конференції «Лісівництво України в контексті світових тенденцій розвитку лісового господарства» до 150-річчя витоків кафедри лісівництва. Львів, 2006. С. 98–100.

87. Коваль І. М. Депонування вуглецю сосновим насадженням під впливом пожежі в Лівобережному Лісостепу. International scientific and practical conference «Prospects for the development of natural sciences in EU countries and Ukraine». Wloclawek, Poland. 2018. С. 52–54.

88. Коваль І. М. Динамика радиального прироста *Pinus sylvestris* L. в степной зоне Украины под влиянием выбросов цементного предприятия «Балцем». Дендрохронология: достижения и перспективы: Всероссийское совещание, г. Красноярск 27–30 октября 2003 г.: тезисы докл. С. 27.

89. Коваль І. М. Динаміка радіального приросту дуба звичайного під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Конференція науково-педагогічних працівників і аспірантів та 60-а ювілейна студентська науково-виробнича конф. Київ, 2006. С. 78.

90. Коваль І. М. Динаміка радіального приросту дуба звичайного під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2006. Вип. 110. С. 229–234.

91. Коваль І. М. Динаміка радіального приросту дуба звичайного під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Доповіді учасників науково-педагогічних працівників, наукових співробітників і аспірантів та 60-ї ювілейної студентської науково-виробничої конференції. Київ, 2006. С. 80–81.

92. Коваль І. М. Застосування дендрохронологічних методів для вивчення особливостей радіального приросту *Quercus robur* L. під впливом рекреації в зеленій зоні м. Харкова. Науковий вісник Національного аграрного Університету. 2007. Вип. 106. С. 180–191.

93. Коваль І. М. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-

кільцевій хронології *Pinus sylvestris* L. у Лівобережному Лісостепу. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2021. № 22. С. 188–198.

94. Коваль І. М. Лісова екологія та заповідна справа. Актуальні проблеми формальної і неформальної освіти з моніторингу довкілля та заповідної справи: I Міжнародна Інтернет-конференція, м. Харків, 26 лютого 2021 р. Харків: ХНУ імені В. Н. Каразіна, 2021. С. 3–4.

95. Коваль І. М. Оцінювання стану соснових і дубових лісостанів України дендрохронологічними методами. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку: Наукова конференція, присвячена 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації ім. Г. М. Висоцького. м. Харків, 29–30 вересня 2015 року. С. 108–110.

96. Коваль І. М. Радіальний приріст як індикатор стійкості лісових екосистем на прикладі соснових лісів зеленої зони м. Харкова. Науковий вісник Національного університету біоресурсів і природокористування України. 2010. 147. С. 223–232.

97. Коваль І. М. Реакція лісових екосистем до змін клімату на межі лісостепової та степової зон. Ліс, довкілля, технології: наука та інновації. Науково-практична конференція, 29 березня, 2012 року. С. 273–274.

98. Коваль І. М. Реакція на зміни клімату радіального приросту сосни звичайної у насадженнях з різними лісорослинними умовами у Центральному Поліссі. Лісівництво і агролісомеліорація. 2012. Вип. 120. С. 113–119.

99. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни звичайної на зміни клімату та рекреаційне навантаження в лісостеповій зоні України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2011. Вип. 21(2). С. 63–70.

100. Коваль І. М. Реакція радіального приросту сосни на повітряне забруднення та зміни клімату в Лісостепу. Проблеми сталого розвитку агросфери: Міжнародна науково-практична конференція, присвячена 195-річчю від дня заснування ХНАУ ім. В. В. Докучаєва. Х.: ХНАУ, 2011. С. 257–259.

101. Коваль І. М. Реакція річної, ранньої та пізньої деревини *Pinus nigra* subsp. *pallasiana* на зміни клімату в Криму. Ліси, парки, технології: сьогодення та майбутнє: Науково-практична конференція,

м. Київ, 28–29 березня 2013 року. С. 37–38.

102. Коваль І. М., Сакс-Клаассен У., Волошинова Н. А., Присяжнюк А. А. Вплив клімату на формування деревних кілець дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся. Лісівництво і агролісомеліорація. 2006. Вип. 109. С. 127–134.

103. Коваль І. М., Сакс-Клаассен У., Волошинова Н. О., Присяжнюк А. А. Вплив осушення та клімату на радіальний приріст *Quercus Robur* L. в надзвичайно вологих умовах Полісся. Матеріали міжнародної ювілейної конференції, присвяченої 75-річчю із дня заснування УкрНДІЛГА, 30–31 березня 2005 р. С. 72.

104. Коваль І. М., Бологов О. В., Нусбаум С. А., Юзвинський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем в умовах Новоград-Волинського фізико-географічного району. Лісівництво і агролісомеліорація. 2015. Вип. 126. С. 202–211.

105. Коваль І. М., Бологов О. Ю. Вплив клімату та рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дуба звичайного в Поліссі. III Міжнародна науково-практична конференція, 25 березня 2021 р.: тези доп. Малин, 2021. С. 147–151.

106. Коваль І. М., Бологов О. В., Максименко Н. В. Кліматичний аналіз реперних років регіональної деревно-кільцевої хронології дуба звичайного (*Quercus robur* L.) в Поліссі. Екологічні проблеми навколишнього середовища та раціонального природокористування в контексті сталого розвитку: Третя Міжнародна науково-практична конференція, м. Херсон, 22–23 жовтня 2020 р.. С. 293–296.

107. Коваль І. М., Бологов О. В., Нусбаум С. А., Юзвинський Г. А. Радіальний приріст дуба звичайного та ясена звичайного як індикатор стану лісових екосистем Новоград-Волинського фізико-географічного району. Лісівнича наука в контексті сталого розвитку. Наукова конференція, присвячена 150-річчю від дня народження академіка Г. М. Висоцького, 90-річчю від дня народження професора П. С. Пастернака та 85-річчю від часу заснування Українського ордена «Знак Пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 29–30 вересня 2015 року: тези доповіді. м. Харків, 2015. С. 110–112.

108. Коваль І. М., Борисова В. Л. Реакція на зміни клімату радіального приросту ясена звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2019. № 29 (2). С. 53–57.

109. Коваль І. М., Ворон В. П., Романенко О. І. Динаміка радіального приросту сосни під впливом викидів Зміївської теплової електростанції. Матеріали IV міжнародної наукової конференції (м. Донецьк, 18–21 жовтня 2011 р.). Донецьк, 2011. С. 177–179.

110. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г. Депонування вуглецю в молодому сосновому насадженні Лівобережного Лісостепу, пошкодженого пожежею. Екологія, охорона навколишнього середовища та збалансоване природокористування: XXII Міжнар. наук. - практ. конф. національного університету імені В. Н. Каразіна: м. Харків, 17–18 квітня 2019 року: тези доповіді. Харків, 2019. С. 46–47.

111. Коваль І. М., Ворон В. П., Сидоренко С. Г., Бологов О. В., Мельнік Є. Є., Ткач О. М., Невмивака М. А., Воронін В. О. Дендрохронологічні аспекти після пірогенного розвитку соснових насаджень в Поліссі та Лісостепу. XIII Всеукраїнські наукові Таліївські читання: наукова конференція, м. Харків, 19–20 квітня 2017 року: тези доповіді. Харків, 2017. С. 28–31.

112. Коваль І. М., Воронин В. О. Дендрокліматологія як складова частина дендрохронології. Людина та довкілля. Проблеми неоекології. 2019. № 32. С. 85–94.

113. Коваль І. М., Костяшкін Д. С. Вплив клімату та рекреації на формування шарів річної деревини ранньої та пізньої форм *Quercus Robur* L. у зеленій зоні м. Харкова. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2015. № 25 (6). С. 52–58.

114. Коваль І. М., Кошеляєва Я. В. Дендроіндикація берези повислої в насадженні, пошкодженому бактеріальною водяною, на Харківщині. XIII Всеукраїнські наукові Таліївські читання: наукова конференція, м. Харків, 19–20 квітня 2017 року: тези доповіді. Харків, 2017. С. 32–34.

115. Коваль І. М., Леман О. В., Воронцова О. І. Вплив рекреаційного навантаження на динаміку радіального приросту в дубових деревостанах зеленої зони м. Харкова. Ліс, наука, суспільство: Міжнародна ювілейна наукова конференція, присвячена 75-річчю із дня заснування Українського ордена «Знак пошани» науково-дослідного інституту лісового господарства та агролісомеліорації імені Г. М. Висоцького, м. Харків, 30–31 березня 2005 року: тези доповіді. Харків, 2005. С. 72.

116. Коваль І. М., Максименко Н. В. Потенціал використання дендрохронологічної інформації для сталого розвитку лісового господарства Екологія, охорона навколишнього середовища та

збалансоване природокористування: освіта – наука – виробництво – 2020: XXIII Міжнародна науково-практична конференція, м. Харків, 17–18 грудня 2020 року: тези доповіді. Харків, 2020. С. 49.

117. Коваль І. М., Швець Ю. П., Плугатар С. А., Папельбу В. В., Грицай А. А. Дендрохронологічний аналіз сосни кримської на південних схилах Кримських гір. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2013. Вип. 23 (2). С. 70–77.

118. Колищук В. Г. Динамика прироста горной сосны (*Pinus tughus* Scop.) в связи с солнечной активностью. Доклады АН СССР. Вып. 167 (3). 1966. С. 236–242.

119. Колищук В. Г. Рост стлаников и динамика верхнего предела древесной растительности Карпат. Проблемы ботаники. Вип. 9. 1967. С. 87–95.

120. Комин Г. Е. Применение дендрохронологических методов в экологическом мониторинге лесов. Лесоведение. 1990. Вип. 2. С. 3–11.

121. Комин Г. Е. Лесоведение и дендрохронология. Лесоведение. Вып. 4. 1968. С. 78–86.

122. Котович О. В. Вологообіг у байрачних дібровах степового Придніпров'я. Грунтознавство. 2014. Vol. 15 (1, 2). С. 89–100.

123. Кошеляєва Я. В., Коваль І. М. Радіальний приріст берези повислої, ураженої бактеріальною водянюкою, в зеленій зоні м. Харкова. Лісівництво і агролісомеліорація. 2017. № 130. С. 208–214.

124. Колищук В. Г. Динамика прироста горной сосны (*Pinus tughus*) в связи с солнечной активностью. Докл. АН СССР. 1966. Т. 167, № 3. С. 710–713.

125. Краснов В. П., Мешкова В. Л., Усцький І. М. Сучасний санітарний стан лісів України. Науковий вісник Національного аграрного університету. 2001. Вип. 39. С. 133–140.

126. Лавний В. В. Особливості формування ясеневих насаджень Західного Лісостепу України.: дис... канд. с.-г. наук: 06.03.03 «Лісознавство і лісівництво». Український держ. лісотехнічний університет. Львів, 2000. 176 с.

127. Лакида П. І., Букша І. Ф., Пастернак В. П. Перспективи та напрямки діяльності у лісовому господарстві у зв'язку з ратифікацією Україною Кіотського протоколу до Рамкової конвенції ООН про зміни клімату. Аграрна наука і освіта. 2004. Т. 5. № 3–4. С. 116–121.

128. Лакида П. І. Фітомаса лісів України. Тернопіль: Збруч, 2002. 256 с.

129. Лакида П. І., Матушевич Л. М., Лакида І. П. Біопродуктивність дубових деревостанів Українського Полісся. Наукові праці Лісівничої академії наук України. Вип. 16. 2018. С. 99–105.
130. Лакида П. І., Сендзюк Р. В., Морозюк О. В. Ліси Полтавщини: біопродуктивність і динаміка. Корсунь-Шевченківський: ФОП Майдаченко І. С., 2011. 219 с.
131. Лакида П. І., Шамрай А. Є. Надземна фітомаса та депонований вуглець дерев сосни звичайної у штучних деревостанах Черкаського бору. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Вип. 23.1. 2013. С. 8–13.
132. Лакида П. І., Володимиренко В. М. Штучні ялинові деревостани Українських Карпат – прогноз росту та продуктивності. К.: ННЦ ІАЕ, 2008. 158 с.
133. Лакида П. І. Динаміка депонованого вуглецю в лісостанах України. Науковий вісник Українського державного лісотехнічного університету. Вип. 14 (5). 2004. С. 140–143.
134. Лакида П. І., Домашовець Г. С. Динаміка продуктивності головних лісоутворювальних порід Львівщини. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Вип. 31. 2006. С. 214–221.
135. Лакида П. І. Ліси Черкащини: біопродуктивність і динаміка. Корсунь Шевченківський: ФОП Гавришенко В. М. 2011. 222 с.
136. Лакида П. І., Лащенко А. Г., Лащенко М. М. Біологічна продуктивність дубових деревостанів Поділля. К.: ННЦ ІАЕ, 2006. 196 с.
137. Лакида П. І., Василишин Р. Д., Лащенко А. Г., Терентьев А. Ю. Нормативи оцінки компонентів надземної фітомаси дерев головних лісотвірних порід. К.: Видавничий дім «ЕКО-інформ», 2011. 192 с.
138. Лиєпа И. Я. Динамика древесных запасов. Прогнозирование и экология. Рига: Зинатне, 1980. 171 с.
139. Лісове господарство України: проблеми та перспективи / за ред. академіка НАН України І. Р. Юхновського. Міжвідомча аналітично–консультативна рада з питань розвитку продуктивних сил і виробничих відносин. К., 2003. 178 с.
140. Ловелиус Н. В., Грицан Ю. И. Лесные экосистемы Украины и тепловлагообеспеченность. Днепропетровский государственный университет: СПб., 1998. 335 с.
141. Ловелиус Н. В. Изменчивость прироста деревьев. Дендроиндикация природных процессов и антропогенных воздействий. Л.:

Наука, 1979. 232 с.

142. Мазепа В. Г., Криницький Г. Т., Леонтьяк Г. П. Наслідки впливу змін клімату та атмосферного забруднення на радіальний приріст сосняків в умовах Малого Полісся України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Вип. 19(15). 2009. С. 56–63.

143. Мазепа В. Г., Новак А. А., Сопушинський І. М. Особливості радіального приросту дубових деревостанів зеленої зони Львова. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Вип. 20(4). 2010. С. 36–42.

144. Максимовский А. Н. Гурзуфские тайны. Симферополь: Бизнес-Информ, 2006. 64 с.

145. Матвеев С. М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология. Воронеж: ФГБОУ ВПО ВГЛТА, 2013. 140 с.

146. Матвеев С. М. Дендроиндикация динамики состояния сосновых насаждений Центральной лесостепи. Воронеж: Изд. ВГУ, 2003. 272 с.

147. Матвеев С. М. Дендроиндикация динамики состояния экосистем сосны обыкновенной (*Pinus sylvestris* L.) в лесостепи: дис. ... д-ра биол. наук: 03.00.16. Воронеж, 2004. 456 с.

148. Матвеев С. М. Динамика состояния сосновых насаждений под воздействием рекреации. Вестник ВГУ. География и геоэкология. 2005. Вып. 2. С. 97–103.

149. Матвеев С. М. Цикличность в динамике радиального прироста в естественных и искусственных сосновых древостоях в борах Центральной лесостепи, Лесной вестник, 2014. Вып. 5. С. 110–116.

150. Матвеев С. М. Цикличность прироста сосновых древостоев Центральной лесостепи в 11-летнем цикле солнечной активности. Лесной журнал. 2005. Вып. 1–2. С. 14–21.

151. Матвеев С. М., Матвеева С. В., Шурыгин Ю. Н. Повторяемость сильных засух и многолетняя динамика радиального прироста сосны обыкновенной в Усманском и Хреновском борах Воронежской области. Журнал Сибирского Федерального университета. Биология. 2012. Вып. 1. С. 27–42.

152. Матвеев С. М., Мироненко А. В., Тимащук Д. А. Лесоводственный и дендроклиматический анализ искусственных сосновых фитоценозов, подверженных рекреационной дигрессии в пригородной зоне г. Воронежа. Журнал Сибирского Федерального университета. Биология. Вып. 4. 2015. С. 411–425.

153. Матвеев С. М., Чеботарев В. В. Дендроклиматическое исследование сосняков Усманского бора и моделирование пожароопасных сезонов. Лесной журнал. 2002. Вып. 2. С. 36–41.
154. Матвеев С. М., Румянцев Д. Е. Дендрохронология. Воронеж, 2013. 140 с.
155. Матюшевская Е. В. Радиальный прирост ели в техногенно загрязненной воздушной среде Минска при изменяющихся климатических условиях. Журнал Белорусского государственного университета. Естественные и точные науки: география. 2015. [Электронный ресурс]: <http://elib.bsu.by/handle/123456789/118431>
156. Мацях І. П. Всихання ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) на заході України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. Вип. 24.(7). С. 67–74.
157. Мацях І. П., Крамарець В. О. Всихання ясена звичайного (*Fraxinus excelsior* L.) на заході України. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2014. Вип. 24 (7). С. 67–74.
158. Мелехов И. С. Значение структуры годичных слоев и её динамики в лесоводстве и дендроклиматологии. Лесной журнал. 1979. Вып. 4. С. 6–14.
159. Метод закладання: СОУ 02.02–37–476: 2006. [Введ. з 2006–12–26]. К.: Мінагрополітики України, 2006. 32 с.
160. Мешкова В. Дослідження в Україні з питань прогнозування шкідливих організмів в соснових лісах. Матеріали міжнародної науково-практичної конференції. Соснові ліси: сучасний стан, існуючі проблеми та шляхи їх вирішення: тези доп. К., 2019. С. 137–140.
161. Мешкова В. Л. Сезонное развитие хвоелистогрызущих насекомых. Х.: Новое слово, 2009. 396 с.
162. Мешкова В. Л. Усыхание сосновых лесов Украины с участием короедов: причины и тенденции. Известия Санкт–Петербургской лесотехнической академии. 2019. Вып. 228. С. 312–335.
163. Мешкова В. Л., Давиденко Е. В. Насекомые и возбудители болезней ясеня на востоке Украины. Современное состояние и перспективы охраны и защиты лесов в системе устойчивого развития: Международная научно-практическая конференция (г. Гомель, 9–11 октября 2013 г.). Гомель, Беларусь, 2013. С. 96–100.
164. Мешкова В. Л. Динаміка санітарного стану дубових деревостанів у лівобережному Лісостепу України після проведення лісогосподарських заходів. Лісовий журнал. Вип. 1. 2011. С. 28–32.

165. Мешкова В. Л., Коленкіна М. С., Зінченко О. В. Радіальний приріст дерев сосни в осередках соснових пильщиків у Луганській області. Біологічне різноманіття і сучасна стратегія захисту рослин: Міжнародна науково-практична конференція до 90-річчя з дня народження доктора біологічних наук, професора Б. М. Літвінова. Х.: ХНАУ, 2011. С. 83–84.
166. Мешкова В. Л., Коленкіна М. С. Відпад дерев сосни в осередках соснових пильщиків у Луганській області. Лісівництво і агролісомеліорація. Вип. 117. 2010. С. 278–283.
167. Мешкова В. Л. Історія і географія масових розмножень комах–хвоєлистогризів. Харків: Майдан, 2002. 244 с.
168. Миленин А. И. Динамика радиального прироста дуба черешчатого в байрачных дубравах Воронежской области. Лесной журнал. 2010. Вып. 6. С. 39–45.
169. Моїсєєва Н. І., Кобченко Ю. Ф., Коваль І. М. Радіальний приріст як індикатор стійкості лісових екосистем на прикладі соснових лісів зеленої зони м. Харкова. Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. П. Василенка. 2017. Вип. 188. С. 16–127.
170. Молчанов А. А. Дендроклиматические основы прогнозов погоды. М.: Наука, 1976. 167 с.
171. Мошинський В. С., Солодка Т. М. Моніторинг осушуваних земель: біологічно–індикаційний підхід: [монографія]. Рівне: НУВГП, 2018. 220 с.
172. Національний Атлас України: [карти]. К.: ДНВП «Картографія», 2007. 440 с.
173. Нормативно-справочные материалы для таксации лесов Украины и Молдавии / под ред. А. З. Швиденко, А. А. Строчинского., Ю. Н. Савич и др. К.: «Урожай», 1987. 559 с.
174. Одум Ю. Основы экологии. М.: Мир, 1975. 740 с.
175. Паламарчук Л. В., Гнатюк Н. В., Краковська С. В., Шедеменко І. П., Дюкель Г. та інші. Сезонні зміни клімату в Україні в ХХІ столітті. Наукові праці Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту. Вип. 259. 2010. С. 104–120.
176. Парубец О. Е. Аналіз кліматических рядов Крымского полуострова. Экосистемы, их оптимизация и охрана. 2009. Вып. 20. С. 154–164.
177. Пастернак В. П. Оцінка запасів вуглецю у соснових насадженнях свіжого субору. Вісник Харківського національного

аграрного університету ім. В. В. Докучаєва. Вип. 1. 2009. С. 208–211.

178. Паризька кліматична угода (2015). Угода ООН від 12.12.2015. Офіційний вебпортал парламенту України. [Електронний ресурс]: <https://zakon.rada.gov.ua/go/995>

179. Ворон В. В., Лавров І. О., Присада І. О., Стельмахова О. І.. Попередні нормативи гранично-допустимих навантажень (ГДН) основних промислових екосистем України. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА. Х.: Нове слово, 2011. С. 165 –175.

180. Природа Украинской ССР. Ландшафты и физико–географическое районирование: [А. М. Маринич, В. М. Пащенко, П. Г. Шищенко]. К.: Наукова думка, 1985. 224 с.

181. Прогноз изменения окружающей природной среды Беларуси на 2010–2020 гг. / под ред. В. Ф. Логинова. Мн.: Минсктиппроект, 2004. 180 с.

182. Прокопюк Ю. С., Нецветов М. В. Динаміка депонування вуглецю у стовбуровій біомасі *Quercus Robur* L. парку «Феофанія». Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2016. Вип. 26 (3). С. 158–164.

183. Раманс К. К. К экологической диагностике состояния древостоев в рекреационных биоценозах. В кн.: Актуальные вопросы современной ботаники. Киев, 1977. 178 с.

184. Реймерс Н. Ф. Цена равновесия, 1987. М.: Агропромиздат. 64 с.

185. Рамкова конвенція Організації Об'єднаних Націй про зміну клімату (1992). Конвенція ООН від 09.05.1992. Офіційний вебпортал парламенту України. [Електронний ресурс]: https://zakon.rada.gov.ua/go/995_044

186. Рекомендації щодо комплексної оцінки стійкості рекреаційно-оздоровчих лісів, організації їх моніторингу та оптимізації рекреаційного лісокористування в них: [Ворон В. П., Бондарук М. А., Коваль І. М., Целіщев О. Г.]. Моніторинг та підвищення стійкості антропогенно порушених лісів. Збірник рекомендацій УкрНДІЛГА. Х.: Нове слово, 2011. С. 10–112.

187. Ресурсы поверхностных вод СССР. Том 5. Белоруссия и Верхнее Поднепровье. Часть 1. Ленинград, 1966. Стр. 718.

188. Рибалка І. О., Вергелес Ю. І., Коваль І. М. Вплив омели білої (*Viscum album* L.) на динаміку радіального приросту клена сріблястого (*Acer saccharum* L.) у лісостеповій зоні України. Науковий вісник

Національного лісотехнічного університету України. 2012. № 22(15). С. 57–63.

189. Риклефс Р. Основы общей экологии. М: Мир, 1979. 424 с.

190. Рудаков В. Е. Метод изучения влияния колебаний климата на толщину годовичных колец. Доклады АН Армянской ССР. 1951. Т. 13. Вып. 3. С. 75–79.

191. Румянцев Д. Е., Воробьева Н. С. Дендрохронологическое исследование роста осины в условиях Центрально-лесного заповедника. Международный научно-исслед. журнал. Вып. 1(103). 2021. С. 78–83.

192. Румянцев Д. Е., Мельник П. Г. Влияние экологических факторов на формирование технических свойств древесины ели в условиях Тверской области. Лесной журнал. Вып. 2. 2009. С. 8–34.

193. Русаленко А. И. Годичный прирост деревьев и влагообеспеченность. Минск: Наука и техника. 1986. 239 с.

194. Рысин Л. П., Рысин С. Л. Природные и социальные аспекты рекреационного использования лесов. Лесохозяйственная информация, Вып. 6–7. 2008. С. 37–51.

195. Зміна клімату: наслідки та заходи адаптації: аналіт. доповідь. С. П. Іванюта, О. О. Коломієць, О. А. Малиновська, Л. М. Якушенко за ред. С. П. Іванюти. К.: НІСД, 2020. 110 с.

196. Санітарні правила в лісах України. Постанова КМ України від 9 грудня 2020 № 1224. [Електронний ресурс]: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/1224-2020-%D0%BF#Text>

197. Сапанов М. К. Влияние погодных условий на радиальный прирост дуба в полупустыне Северного Прикаспия. Лесоведение. 1984. Вып. 2. С. 59–64.

198. Стойко С. М. Вплив глобальної зміни клімату на лісові формації Карпат. Наукові праці Лісівничої академії наук України. 2011. № 9. [Електронний ресурс]: <http://fasu.nltu.edu.ua/index.php/nplanu/article/view/360/277>.

199. Стрoение древесины: «Павловния Групп Украина». [Електронний ресурс]: <http://paulowniagroup.com.ua/wood-structure>

200. Солнцев Г. К., Маргашов А. С., Король Л. Г. и др. Эколого–экономические аспекты использования горных лесов в рекреационных целях. Лесное хозяйство Северного Кавказа, 1996. №. 22. С. 12–19.

201. Таранков В. И. Влияние климатических и антропогенных факторов на состояние и продуктивность сосновых насаждений зеленой зоны г. Воронежа. Тезисы Всероссийской конференции.

Сосновые леса России в системе многоцелевого лесопользования. 1993. С. 94–96.

202. Таранков В. И., Лазуренко Л. Б. Цикличность прироста сосны обыкновенной в восточно-европейской лесостепи. Лесоведение. Вып. 2. 1990. С. 12–19.

203. Тимащук Д. А. Дендроиндикация рекреационной дигрессии сосновых насаждений в Усманском бору Воронежской области. Воспроизводство, мониторинг и охрана природных, природно–антропогенных и антропогенных ландшафтов: Международная молодежная научная школа (г. Воронеж, 14–15 июня 2012 г.). Воронеж: ВГЛТА, 2012. С. 272–276.

204. Тишин Д. В., Чижикова Н. А. Дендрохронология. Казань: Казанский университет, 2018. 34 с.

205. Тишин Д.В., Чижикова Н.А., Журавлева И.В., Чугунов Р.Г. Ксилогенез сосны (*Pinus sylvestris* L.) северных островных экосистем. Лесотехнический журнал. Вып. 4. 2016. С. 89–97.

206. Тишин Д. В., Чижикова Н. А., Чугунов Р. Г. Радиальный прирост сосны (*Pinus sylvestris* L.) верхових болот как индикатор локальных изменений климата. Лесной вестник. Вып. 5. 2014. С. 177–182.

207. Українські ліси та зміни клімату. [Електронний ресурс]: <http://epl.org.ua/about-us-posts/lisy-ukrayiny-v-konteksti-zminy-klimatu-znachni-problemy-i-velyki-mozhlyvosti/>

208. Уткин А. И., Замолодчиков Д. Г., Пряжников А. А. Методы определения депонирования углерода фитомассы и нетто-продуктивности лесов (на примере Республики Беларусь). Лесоведение. Вып. 1. 2003. С. 48–57.

209. Феклистов П. А. Изменение древостоев сосняков черничных под влиянием рекреационного лесопользования. Вестник ПГУ. Серия Естественные и точные науки. Вып. 2(6). 2004. С. 74–80.

210. Феклистов П. А., Евдокимов В. Н., Барзут В. М. Биологические и экологические особенности роста сосны в северной подзоне Европейской тайги. Архангельск: ИПЦ АГТУ, 1997. 140 с.

211. Феклистов П. А., Барзут В. М. Цикличность радиального прироста сосны и ели на Европейском Севере. Экология и защита леса. Л.: 1985. С. 24–28.

212. Физико-географическое районирование Украинской ССР / Под ред. Попова/ К.: изд–во Киевского университета, 1968. 684 с.

213. Холопцев А. В., Никифорова М. П. Методика сверхдолгосрочного прогнозирования изменений состояния солнечной активности с использованием модели множественной линейной регрессии. Вісник ХНУ імені В. Н. Каразіна. Сер.: Екологія, 2011. № 944 (6). С. 13–20.

214. Черневський І. Ю., Третяк П. Р. Приріст старовікових деревостанів та його екологічне значення. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. Вип. 20.9. 2010. С. 70–77.

215. Шведов Ф. Дерево как летопись засух. Метеорологический вестник. Вып 5. 1892. С. 163–178.

216. Шевчук Ю. І. Біологічні особливості діагностики фенологічних фаз у *Taxus baccata* L. в умовах Національного дендрологічного парку «Софіївка». Міжвідомчий науково-технічний збірник УкрДЛТУ. 2004. Вип. 29. С. 61–65.

217. Шиятов С. Г., Ваганов Е. А., Кирдянов А. В., Круглов В. Б., Мазепа В. С., Назурбаев М. М., Хантемиров Р. М. Методы дендрохронологии. Красноярск: Изд-во «Севрюга». 2000. 79 с.

218. Шовган А. Д. Динамика, экологическая обусловленность и прогноз прироста сосны обыкновенной в лесных районах Украинской ССР: Автореф. дис. ... канд. биол. наук: 03.00.16. Днепропетровск: ДГУ, 1987. 16 с.

219. Шпаківська І. М., Марискевич О. Г. Оцінка запасів вуглецю в лісових екосистемах Східних Бескидів. Лісівництво і агролісомеліорація. Вип. 115. 2009. С. 176–180.

220. Юхновский В. Ю., Проценко И. А., Крук В. М. Санітарний стан соснових насаджень на рекультивованих землях. Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України. 2018. Вип. 28(11). С. 55–59.

221. Ярмышко В. Т. Сосна обыкновенная и атмосферное загрязнение. Санкт-Петербург, 1997. С. 210.

222. About Tree Rings. Avaible at: <https://lrr.arizona.edu/about/treerings>

223. Acosta-Hernández A. C.; Padilla-Martínez J. R.; Hernández-Díaz J. C.; Prieto-Ruiz J. A.; Goche-Telles J. R.; Nájera-Luna J. A.; Pompa-García M. Influence of Climate on Carbon Sequestration in Conifers Growing under Contrasting Hydro-Climatic Conditions. Forests. 2020. Vol. 10, 1134. Avaible at: <https://doi.org/10.3390/f11111134>

224. Adams H. D., Kolb T. E. Tree growth response to drought and

temperature in a mountain landscape in northern Arizona, USA. *J. Biogeogr.*, 2005. Vol. 32. P. 1629–1640.

225. Allen C. D., Macalad A. K., Chenchouni H., Bachelet D., Mcdowell N., Vennetier M., Neil Cobb. A global overview of drought and heat-induced tree mortality reveals emerging climate change risks for forests. *Forest Ecology and Management: Elsevier*. 2010. Vol. 259 (4). P. 660–684.

226. Allometric equations for tree species and carbon stocks for forests of northwestern Mexico *Forest Ecology and management*. 2009. Vol. 257(2). P. 427–434.

227. Andreu L., Gutierrez E., Macias M., Ribas M., Bosch O. et. al. Climate increases regional tree growth variability in Iberian pine forests. *Global Change Biol.* 2007. Vol. 13. P. 804–815.

228. Andreu L., Planells O., Gutiérrez E., Helle G., and Schleser G. Climatic significance of tree-ring width and $\delta^{13}\text{C}$ in a Spanish pine forest network. *Tellus B: Chemical and Physical Meteorology*. 2008. Vol. 60 (5). P. 771–781.

229. Árvai M., Morgós A., Kern Z. Growth–climate relations and the enhancement of drought signals in pedunculate oak (*Quercus robur* L.) tree-ring chronology in Eastern Hungary *iForest. Biogeosciences and Forestry*. 2018. Vol. 11 (2). P. 267–274.

230. Ashby W. C., Fritts H. C. Tree growth, air pollution, and climate near LaPorte, Indiana. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 1972. Vol. 53(3). P. 246–251.

231. Berger A. L., Guiot J., Mathieu L., Munaut A.V. (1979). Tree rings and climate in Morocco. *Tree-Ring Bull.* 1979. Vol. 39. P. 61–75.

232. Borowiec S., Zabłocki Z., Leśnik T., Cedro A. Evaluation of the effect of pollution emitted by the Chemical Works «Police» in the years 1969–2000 on annual tree-ring increments of Scots pine from selected research plots in the primeval forest «Puszcza Wkrzańska». *Folia Universitatis Agriculturae Stetienensis*. 2005. Vol. 99. P. 31–42.

233. Bose A. K., Gessler A., Bolte A., Bottero A., Buras A., Cailleret M., Camarero J., Haen M., Hereş A., Hevia A., Mathieu L., Juan C., Martinez-Vilalta J., Matías L., Menzel A., Sánchez-Salguero R., Matthias S., Vennetier M., Ziche D., Rigling A. Growth and resilience responses of Scots pine to extreme droughts across Europe depend on pre-drought growth conditions. *Global change biology*. Vol. 26 (8). 2020. P. 4521–4537.

234. Botle A., Amme C., Lof M., Ralle M., Nabuurs G., Shal P.,

Spathelf P., Rock J. Adaptive forest management in Central Europe: Climate change impacts, strategies and integrative concept. *Scandinavian Journal of Forest Research*. 2009. Vol. 24 (6). P. 473–482.

235. Bouriaud O., Popa I. Dendrochronological reconstruction of forest disturbance history, comparison and parametrization of methods for Carpathian Mountains. *Analete ICAS*. 2007. Vol. 50. P. 135–151.

236. Bouriaud O., Popa I. Comparative dendroclimatic study of Scots pine, Norway spruce, and silver fir in the Vrancea Range, Eastern Carpathian Mountains. *Trees*. 2009. Vol. 23. P. 95–106.

237. Bräuning A., Vollandtoigt F., Burchard I., Ganzhi O., Nauss T., Peters T. Climate variability of the tropical Andes since the Pleistocene. *Progress in Geosciences*. Vol. 22. 2009. P. 13–25.

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

239. Briffa K. R. and Jones P D. Basic chronology statistics and assessment. In: *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Kluwer Academic Publishers, 1990. P. 137–152.

240. Brown S. Measuring carbon in forests: current status and future challenges. *Environmental Pollution*. Vol. 116. 2002. P. 363–372.

241. Campelo F., Vieira J., Nabais C. Tree–ring growth and intra–annual density fluctuations of *Pinus pinaster* responses to climate: Does size matter? *Trees*. Vol. 27. 2013. P. 763–772.

242. Cedro A., Cedro B. Growth–climate relationships at yew and wild service trees on the eastern edge of their range in Europe. *Forest Systems*. 2015. Vol. 24(3). Retrieved from: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6240057>.

243. Cedro A. The influence of climatic conditions on the tree–ring width of wild service trees (*Sorbus torminalis* L.) in Wielkopolska Forest. *Research Papers Czerwiec*, 2016. Vol. 77 (2). P. 117–123.

244. Cedro A., Cedro B. Influence of climatic conditions and air pollution on radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in Szczecin's city forests. *Leśne Prace Badawcze*. Vol. 79 (2). 2018. P. 105–112.

245. Ciais P., Schelhaas M., Zaehle S. Carbon accumulation in European forests. *Nature Geoscience*. Vol. 1 (7). 2008. P. 425–429.

246. Clark J. S., Iverson L., Woodal C. W., Allen C. D., Bell D. M., Bragg D. C., Zimmermann E. The impacts of increasing drought on forest dynamics, structure, and biodiversity in the United States. *Glob. Chang. Biol*. 2016. Vol. 22. P. 2329–2352.

247. Cook E. R., Peters K. The smoothing spline: a new approach to standartizing forest interior tree ring width series for dendrovlimatic. Tree ring Bull. Vol. 41. 1980. C. 45–53.

248. Cook E., Peters K. Calculating unbiased tree–ring indices for the study of climatic and environmental change. The Holocene. 1997. Vol. 7(3). P. 361–370.

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

250. Cook E. R. A time series approach to tree ring standartization. Dissertation submittes to the Faculty of the School of renewable natural resourches. Dissertation for degree of doctor of philosophy with a major in watershed management. The University of Arizona, 1985. 36 p.

251. Cook E. R., Holmes R. L. Guide for computer program ARSTAN. In: Holmes R. L., Adams R. K., Fritts H. C. (eds.). Tree-ring chronologies of Western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson: University of Arizona, 1986. P. 50–65.

252. Čufar K., De Luis M., Zupančič M., Eckstein D. A 548–year tree–ring chronology of oak (*Quercus* spp.) for southeast Slovenia and its significance as dating tool and climate archive. Tree-Ring Research. Vol. 64 (1). 2008. P. 3–15.

253. Cufar K., Grabner M., Morgós A. et al. Common climatic signals affecting oak tree–ring growth in SE Central Europe. Trees. Vol. 28. 2014. P. 1267–1277.

254. Dai A. G. (2011). Drought under global warming: A review. Wiley Interdiscip. Rev. Clim. Chang., 2, 45–65. <https://doi.org/10.1002/wcc.81>

255. Davydenko K., Meshkova V. The current situation concerning severity and causes of ash dieback in Ukraine caused by *Hymenoscyphus fraxineus*. Dieback of European Ash (*Fraxinus* spp.). 2017. P. 220–227.

256. Dixon R. K., Brown S., Houghton R. A., Solomon A. M., Trexler M. C., Wisniewski J. Carbon Pools and Flux of Global Forest Systems Science. Vol. 263. 1994. P. 185–190.

257. Dobrowolska D., Hein S., Wagner S., Oosterbaan J., Wagner S., Clark J., Skovsgaard J. P. A review of European ash (*Fraxinus excelsior* L.): implications for silviculture. Forestry. 2011. Vol. 84 (2). P. 133–148.

258. Douglass A. E. Weather cycles in the growth of big trees. Mon Weather Rev. Vol. 37. 1909. P. 225–237.

259. Douglass A. E. A study of the annual rings of trees in relation to climate and solar activity. Climatic cycles and tree-growth. Washington: Carnegie Inst. 1919. Vol. 11. 127 p.
260. Eilman B., Buchmann N., Siegwolf R., Saurer M., Cherubini P., Rigling A. Fast response of Scots pine to improved water availability reflected in tree-ring width and ^{13}C . Plant Cell and Environment. 2010. Vol. 33. P. 1351–1360.
261. Elferts D. Scots pine pointer-years in northwestern Latvia and their relationship with climatic factors. Acta Univ. Latv. 2007. Vol. 723. P. 163–170. Retrieved from: <http://eeb.lu.lv/EEB/2007/Elferts.shtml>
262. Elling W., Dittmar Ch., Pfaffelmoser K., Rotzer T. Dendroecological assessment of the complex causes of decline and recovery of the growth of silver fir (*Abies alba* Mill.) in Southern Germany. Forest Ecology and Management. Vol. 25(4). 2009. P. 1175–1187.
263. Executive Report. The Condition of Forests in Europe. 2011. 25 p. Available from: <https://www.icp-forests.org/pdf/ER2011.pdf>
264. Farra J. F., Relton J., Rutter A. J. Sulphur dioxide and the scarcity of *Pinus sylvestris* in the industrial Pennines. Environmental Pollution. Vol. 14. 1977. P. 63–68.
265. Finley K., Zhang Ji. Climate effect on ponderosa pine radial growth varies with tree density and shrub removal. Forests. 2019. Vol. 10(6). P. 477. Retrieved from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/10/6/477>.
266. Fischer R., Beck W., Calatayud V., Cools N., De Vos B., Dobbertin M., Stofer S. The condition of forests in Europe. 2011 executive report. Hamburg: Institute for World Forestry, 2011. 25 p.
267. François Lebourgeois. Climatic signals in earlywood, latewood and total ring width of Corsican pine from western France. Annals of Forest Science: Springer Nature. Vol. 57(2). 2010. 155–164 p.
268. Fritts H. C. Tree rings and climate. London: Acad. press., 1976. 567 p.
269. Fritts H. C. Tree ring evidence for climate changes in western North America, Monthly weather review. 1965. Vol. 93(7). P. 421–443.
270. Gebrekirstos A., Bräuning A., Sass-Klassen U., Mbow Ch. Opportunities and applications of dendrochronology in Africa. Current Opinion in Environmental Sustainability. 2014. Vol. 6(1). P. 48–53.
271. Génova M. Extreme pointer years in tree-ring records of Central Spain as evidence of climatic events and the eruption of the Huaynaputina Volcano (Peru, 1600 AD). Clim. Past. 2012. Vol. 8. P. 751–764.
272. Gleason K. E., Bradford J. B., Bottero A. D'Amato A. W., Fraver

S., Palik B. J., Battaglia M. A., Iverson L., Kenefic L., Kern C. C. Competition amplifies drought stress in forests across broad climatic and compositional gradients. *Ecosphere*. 2017. Vol. 8(7). Available at: https://www.fs.fed.us/nrs/pubs/jrnl/2017/nrs_2017_gleason_001.pdf.

273. Goychuk A. F., Kulbanska I. M. Etiology of common ash diseases in Podolia, Ukraine. *Науковий вісник Національного лісотехнічного університету України*. 2014. Вип. 24.11. С. 15–20.

274. Grissino–Mayer H., Holms R., Fritts H. International tree–ring data bank program library manual. Laboratory of Tree–Ring Research, University of Arizona, Tucson, Arizona, 1996.

275. Grissino–Mayer H.D. Evaluating crossdating accuracy: a manual and tutorial for the computer program Cofecha. *Tree ring research*. 2001. Vol. 57(2). P. 205–220.

276. Gritsan Y. I., Lovynska V. M., Sytnyk S. A., Hetmanchuk A. I. Dendroindication of ecoclimatic condition in forest remediation area within Northern Steppe of Ukraine. *Regulator y Mechanisms in Biosystems*. 2019. 10(4). P. 457–463.

277. Grodzki W. Threats to mountain Norway spruce stands in the Carpathians from the insect pests. *Current Problems of Forest Protection in Spruce Stands Under Conversion*. Warsaw: Forest Research Institute. 2006. P. 71–78.

278. Grodzki W. Oszako T. Current problems of forest protection in spruce stands under conversion. Preface. Warsaw: Forest Research Institute, 2006. P. 4–6.

279. Håkan Grudd. Tree Rings as Sensitive Proxies of Past Climate Change Stockholm University, Faculty of Science, Department of Physical Geography and Quaternary Geology. 2006. Doctoral thesis, 74 p.

280. Harvey J. E., Smiljanić M., Scharnweber T., Buras A., Cedro A., Cruz-García R., Wilmking M. Tree growth influenced by warming winter climate and summer moisture availability in northern temperate forests. *Global Change Biology*. 2020. Vol. P. 2505–2518.

281. Head M., Bernier P., Levasseur A., Beauregard R., Margni M. Forestry carbon budget models to improve biogenic carbon accounting in life cycle assessment. *Journal of Cleaner Production*. 2019. Vol. 213. P. 289–299.

282. Helama S., Sohar K., Läänelaid A., Bijak S., Jaagus J. Reconstruction of precipitation variability in Estonia since the eighteenth century, inferred from oak and spruce tree rings. *Climate Dynamics*. 2018. Vol. 50. P. 4083–4101.

283. Holmes R. L. Dendrochronology Program Library. Users Manual. Laboratory of Tree-Ring Research. USA, Tucson: AZ, 1994. Available at: <https://www.ltrr.arizona.edu/pub/dpl-mac/68k/dpl.txt>

284. Holmes R. L. Quality control of crossdating and measuring. Users manual for computer program COFECHA. In: Holmes RL, Adams RK and Fritts HC, eds., Tree-rings chronologies of western North America: California, eastern Oregon and northern Great Basin. Tucson, Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona. Chronology Series. 1986. Vol. 6. P. 41–49.

285. Höppner K., Kätzel R. Adaptation strategies in forest management under the conditions of climate change in Brandenburg. Folia Forestalia Polonica. 2011. Vol. 53 (1). P. 43–51.

286. Huber B. Die Jahresringe der Baume als Hilfsmittel der Klimatologie und Chronologie. Die Naturwissenschaften. 1948. Vol. 35. P. 151–154.

287. Huber B. Tree physiology. Ann. Rev. Plant Physiol. 1952. Vol. 3. P. 333–346.

288. Hudiburg T., Law B., Turner D. Carbon dynamics of Oregon and Northern California forests and potential land-base carbon storage. Ecological Applications. 2009. Vol. 19. P. 163–180.

289. Hugues M. K., Graumlich L. J. Multimillennial dendroclimatic studies from Western United States. Climatic variations and forcing mechanisms of last 2000 years. Berlin: Springer, 1996. P. 109–124.

290. Juday G. P., Alix C., Grant T. A. Spatial coherence and change of opposite white spruce temperature sensitivities on floodplains in Alaska confirms early-stage boreal biome shift. For. Ecol. Manag. 2015. Vol. 350. P. 46–61.

291. Juknys R., Stravinskiene V., Vencloviene J. Tree-ring analysis for the assessment of anthropogenic changes and trends. Environmental Monitoring and Assessment. 2002. Vol. 77(1). P. 81–97.

292. Juknys R., Vencloviene J., Stravinskiene V., Augustaitis A., Bartkevicius E. Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) growth and condition in a polluted environment: from decline to recovery. Environmental Pollution. 2003. Vol. 125(2). P. 205–212.

293. Kätzel R., Höppner K. Adaptation strategies in forest management under the conditions of climate change in Brandenburg. Folia Forestalia Polonica. 2011. Vol. 53(1). P. 43–51.

294. Kauffman J., Hughes R., Heider C. Dynamics of C and nutrient pools associated with land conversion and abandonment in Neotropical

landscapes. *Ecological Applications*. 2009. Vol. 19. P. 1211–1222.

295. Keeton W. S., Chernyavskyy M., Gratzner G., Main-Knorn M., Shpylchak M., Bihun Y. Structural characteristics and aboveground biomass of old-growth spruce–fir stands in the eastern Carpathian mountains, Ukraine. *Plant Biosystems*. 2010. Vol. 144. P. 1–12.

296. Kennedy-Sutherland E., Martin B. Growth response of *Pseudotsuga menziesii* to air pollution from cooper smelting. *Canadian Journal of Forest Research*. 1990. Vol. 20 (7). P. 1020–1030.

297. Kienas F., Schweingruber F., Braker O., Schar E. Tree–ring studies on conifers along ecological gradients and the potential of single–year analyses. *Can. J. Forest. Res.* 1987. Vol. 17. P. 683–696.

298. Koval I. Climatic signal in earlywood, latewood and total ring width of Crimean pine (*Pinus nigra pallasiana*) from Crimean Mountains, Ukraine. *Baltic Forestry*. 2013. Vol. 19 (2). P. 245–251.

299. Koval I. Influence of climate on radial growth of *Pinus sylvestris* L. in forest and forest-steppe zones of Ukraine. Conference: EuroDendro 2008 «The long history of wood utilization», May 28th to June 1st 2008. Hallstatt, Austria, 2008. P. 57–58.

300. Karpavičius J., Vitas A. Influence of environmental and climatic factors on the radial growth of European ash (*Fraxinus excelsior* L.). *Ekologija*. 2006. № 1. P. 1–9.

301. Koval I. M., Bräuning A., Melnik E. E., Voronin V. O. Dendroclimatological research of Scots pine in stand of the left-bank forests-steppe of Ukraine. *Людина і довкілля. Проблеми неоекології*. № 3–4 (28), 2017. С. 66–73.

302. Khedive E. Climate–Growth Relationship of European Ash using Multiple Response Function. In: International Conference on Green Supply Chain (ICGSC’17), Lahijan, May 4, 2017: 1–11. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Ehsan_Khedive/publication/336553327_Climate–Growth_Relationship_of_European_Ash_using_Multiple_Response_Function/links/5da5898fa6fdcc8fc353391f/Climate–Growth–Relationship–of–European–Ash–using–Multiple–ResponseFunction.pdf.

303. Koval I., Maksymenko N. The radial increment of European ash (*Fraxinus excelsior* L.) under climate change. *Journal of Forest Science*. Vol. 66. 2020. P. 288–298.

304. Kowalski T. *Chalara fraxinea* sp. nov. associated with dieback of ash (*Fraxinus excelsior*) in Poland. *Forest Pathology*, 2006. № 36. P. 264–270.

305. Koval I., Meshkova V., Maksymenko N., Roibu C., Obolonik I. Assessment of climate change by dendrochronological methods in Polissya. IV International Scientific Congress “Society of Ambient Intelligence – 2021” (ISCSAI 2021). Kryvyi Rih, Ukraine, April 12–16, 2021 Volume 100. Available at: https://www.shs-conferences.org/articles/shsconf/pdf/2021/11/shsconf_iscsai2021_05005.pdf.

306. Koval I., Voron V., Leman A., Vorontsova O. Radial growth of oak under recreational influence in the Forest-Steppe of East Ukraine. International Conference of Dendrochronology EuroDendro 2005, September, 28 – October 2, 2005. Viterbo, Italy, 2005. P. 54.

307. Koval I. The radial growth of European ash in Forest-Steppe Zone of West Ukraine. EuroDendro conference 2017 (Tartu, 6–10 September 2017). Tartu, Estonia, 2017. P. 90.

308. Koval I. M., Voron V. P., Leman A. V. Influence of climate on formation of radial growth *Pinus Sylvestris* L. in forest and forest-steppe zones of Ukraine. Conference: «TRACE 2007». Tree Rings in Archaeology, Climatology and Ecology. Radial increment of *Pinus sylvestris* L. under the influence of air pollution in forest zone in Ukraine. Dendrology. Enviromental Change and Human History 6th International Conference on Dendrochronology (August 22nd–27th). Canada, Qeebec City, 2002. P. 192–194.

309. Koval I. M., Sydorenko S. V., Sydorenko S. H., Maksymenko N. V., Cherkashyna N. I. Differences in response of radial growth of pedunculate oak (*Quercus Robur* L.) to climate change in shelterbelt and forest stand in the forest–steppe zone of Ukraine. Forestry ideas, 2020. Vol. 26 (1). P. 224 – 235

310. Kessle M., Böhner J. Kluge J. Modelling tree height to assess climatic conditions at tree lines in the Bolivian Andes. Ecol Model. 2007. Vol. 207. P. 223–233.

311. Kaiser H. F. The Varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. Psychometrika. 1958. Vol. 23. P. 187–200.

312. Koval I., Sydorenko S. The influence of surface fire on radial and height growth of *Pinus sylvestris* L. in forest-steppe in Ukraine. Folia Forestalia Polonica, 2019. Vol. 61 (2). P. 123–134.

313. Kirchhefer A. J. The influence of slope aspect on tree-ring growth of *Pinus sylvestris* L. in northern Norway and its implications for climate reconstruction. Dendrochronologia. 2000. Vol. 18. P. 27–40.

314. Kullman L. and Kjällgren L. Holocene Pine Tree-Line Evolution

in the Swedish Scandes: Recent Tree-Line Rise and Climate Change in a Long-Term Perspective. *Boreas*. 2010. Vol. 35. P. 159-168.

315. Koval Iryna. Influence of climate change on the radial growth of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Forest-Steppe, Ukraine. ENVIRO 2021. 25th International scientific conference. June 3–4, 2021. On behalf of the Faculty of Horticulture and Landscape Engineering, Slovak University of Agriculture in Nitra, Slovakia and Faculty of Environmental Engineering and Land Surveying, University of Agriculture in Krakow, Poland.

316. Kilgore J. S., Telewski F. W. Climate-growth relationships for native and nonnative Pinaceae in northern Michigan's pine barrens. *Tree-Ring Research*. 2004. Vol. 60. P. 3–13.

317. Kowalski T., Bilanski P., Holdenrieder O. Virulence of *Hymenoscyphus albidus* and *H. fraxineus* on *Fraxinus excelsior* and *F. pennsylvanica*. *Plos One*. 2015. Vol. 10 (10). P. 1–15.

318. Kozłowski T. T. Growth and development of trees: cambial growth, root growth and reproductive growth. *Acad. Press*, 1971. P. 514 p.

319. Krakovska S., Buksha I., Shvidenko A. Climate change scenarios for an assessment of vulnerability of forests in Ukraine in the 21st century. *Aerul si Apa. Componente ale Mediului*. 2017. P. 87–394.

320. Kramer P. J., Kozłowski T. T. *Physiology of Trees*. New York: McGraw–Hill, 1960. 642 p.

321. Läänelaid A., Sohar K., Meikar. Present state and chronology of oaks in an oak forest in Saaremaa Island, Estonia. *Baltic Forestry*. 2008. Vol. 14(1). P. 4–43.

322. Lakyda P. I., Buksha I. F., Pasternak V. P. Opportunities for fulfilling Joint Implementation projects in forestry in Ukraine. 2005. Vol. 56. № 222. P. 32–34.

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

324. Latte N., Lebourgeois F., Claessens H. Increased tree–growth synchronization of beech (*Fagus sylvatica* L.) in response to climate change in northwestern Europe. *Dendrochronologia*. 2015. Vol. 33. P. 69–77.

325. Levanic T., Eggertsson O. Climatic effects on birch (*Betula pubescens* Ehrh.) growth in Fnjoskadalur valley, northern Iceland. *Dendrochronologia*. 2008. Vol. 25. P. 135–143.

326. Linderholm H., Solberg B., Lindholm M. Tree-ring records from central Fennoscandia: the relationship between tree growth and climate

along a west-east transect. The Holocene. 2003. Vol.13 (6). P. 887–895

327. Lindsey R., Dahlman L. Climate Change: Global Temperature. 2019. Retrieved from: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climatechange-global-temperature>.

328. Lavnyy V., Mazepa V.G., Shyshkanynets I.F. Radial increment of beech (*Fagus sylvatica* L.) in the Ukrainian Carpathians. Forestry Ideas. 2020. Vol. 26 (2). 394–403 p.

329. Malik I., Danek M., Marchwińska-Wyrwał E., Danek T., Wistuba M., Krapić M. Scots Pine (*Pinus sylvestris* L.) Growth Suppression and Adverse Effects on Human Health Due to Air Pollution in the Upper Silesian Industrial District (USID), Southern Poland. Water Air Soil Pollut. 2012. Vol. 223(6). P. 3345–3364.

330. Marquardt P. E., Miranda B. R., Jennings S., Thurston G. Telewski Frank W. Variable climate response differentiates the growth of Sky Island Ponderosa Pines. Trees. 2019. Vol. 33. P. 317–332.

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

332. Matisons R., Elferts D., Brumelis G. Pointer years in tree-ring width and earlywood–vessel area time series of *Quercus robur* –relation with climate factors near its northern distribution limit. Dendrochronologia. 2013. Vol. 31. P. 129–139.

333. Matisons R., Elferts D., Brumelis G. Changes in climatic signals of English oak tree-ring width and cross-section area of earlywood vessels in Latvia during the period 1900–2009. Forest Ecology and Management. 2012. Vol. 279. P. 34–44.

334. Matthews G. The carbon content of trees. Forestry Commission Technical Paper 4. 1993. P. 4–21.

335. McDowell N., Pockman W. T., Allen C. D., Breshears D. D., Cobb N., Kolb T. Enrico A. Mechanisms of plant survival and mortality during drought: Why do some plants survive while others succumb to drought? New Phytol. 2008. Vol. 178. P. 719–739.

336. Meshkova V. L., Borysova V. L., Didenko M. M, Nazarenko V. V. Incidence and severity of symptoms assigned to *Fraxinus excelsior* bacterial disease in the left-bank forest steppe of Ukraine. Forestry ideas. 2019. Vol. 25. Vol. 1 (57). P. 171–181.

337. Meshkova V. The lessons of Scots pine forest decline in Ukraine. Environmental Sciences Proceedings. 2021. Vol. 3(1): 28. Available at: <https://doi.org/10.3390/IECF2020-07990>.

338. Meshkova V. L., Borysova V. L. Damage causes of European ash in the permanent sampling plots in Kharkiv region. *Forestry and Forest Melioration*. 2017. Vol. 131. P. 171–181.

339. Meyer F. D. Pointer year analysis in dendroecology: a comparison of methods. *Dendrochronologia*. 1998–1999. Vol. 16–17. P. 193–204.

340. Misi D., Puchałka R., Pearson C., Robertson I., Koprowski M. Differences in the Climate–Growth Relationship of Scots Pine: A Case Study from Poland and Hungary. *Forests*. 2019. 10 (3). P. 243.

341. Misi D., Puchałka R., Pearson C., Robertson I., Koprowski M. Differences in the Climate–Growth Relationship of Scots Pine: A Case Study from Poland and Hungary. *Forests*. 2019. 10 (3). P. 243.

342. Myneni R. B., Keeling C.D., Tucker C J. et al. Increased plant growth in the northern high latitudes from 1981–1991. *Nature*. 1997. V. 337. P. 388–392.

343. Nash T. H., Fritts H. C., Stoces M. A. A technique for examining non–climatic variation in widths of annual tree rings with special reference to air pollution. *Tree–Ring Bull.* 1975. Vol. 35. P. 15–24.

344. Natalini F., Correia A. C., Vázquez–Piqué J. et al. Tree rings reflect growth adjustments and enhanced synchrony among sites in Iberian stone pine (*Pinus pinea* L.) under climate change. *Annals of Forest Science* . 2015. Vol. 72. P. 1023–1033.

345. Natalini F., Correia C., Javier, Vázquez P., Reyes A. (2015). Tree rings reflect growth adjustments and enhanced synchrony among sites in Iberian stone pine (*Pinus pinea* L.) under climate change. *Annals of Forest Science*, 72, 1023–1033. Retrieved from <https://link.springer.com/article/10.1007/s13595-015-0521-6>

346. Nechita C., Popa I., Eggertsson Ó. Climate response of oak (*Quercus* spp.), an evidence of a bioclimatic boundary induced by the Carpathians. *Science of the Total Environment* 2017. Vol. 599–600. P. 1598–1607.

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

348. Netsvetov M., Sergeyev M., Nikulina V., Korniyenko V., Prokopuk Y. S. The climate to growth relationships of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*. 2017. Vol. 44. P. 31–38.

349. Neuwirth B., Schweingruber F. H., Winiger M. Spatial Patterns of Central European Pointer Years from 1901 to

1971. *Dendrochronologia*. 2007. Vol. 24. P. 79–89.

350. Nöjd P., Mikkola K., Saranpää P. History of forest damage in Monchegorsk, Kola; a retrospective analysis based on tree rings. *Canadian Journal of Forest Research*. 1996. Vol. 26(10). P. 1805–1812.

351. Nolan R. H., Drew D. M., O’Grady A. P., Pinkard E. A., Paul K., Roxburgh S. H., Ramp D. (2018). Safeguarding reforestation efforts against changes in climate and disturbance regimes. *For. Ecol. Manag.*, 424, 458–467. Retrieved from: <http://hdl.handle.net/10453/130996>

352. Norton D. A. Dendroclimatological studies in the South Island, some preliminary results. *NZ J. Ecol.* 1981. Vol. 4. P. 127–128.

353. Olivar J., Rathgeber C., Bravot F. Climate change, tree-ring width and wood density of pines in Mediterranean environments – Climate, radial growth, and wood International Association of Wood Anatomists. *IAWA Journal*. 2015. Vol. 36(3). P. 257–269.

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

355. Pan Y., Birdsey R. A., Fang J., Houghton R., Kauppi P. E., Kurz W. A., Phillips O. L., Shvidenko A., Lewis S. L., Canadell J. G. A large and persistent carbon sink in the world’s forests. *Science*. 2011. Vol. 333. P. 988–993.

356. Pompa-García M., González-Cásares M., Acosta-Hernández A. C., Camarero J. J., Rodríguez-Catón M. Drought influence over radial growth of mexican conifers inhabiting mesic and xeric sites. *Forests*. 2017. Vol. 8. P. 175. Available at: <https://www.mdpi.com/1999-4907/8/5/175>.

357. Popov A. I., Koval I. M. The microstructure of wood’s year bands as an indicator in meteorology history Conference: EuroDendro 2008 «The long history of wood utilization», May 28th to June 1st 2008. Hallstatt, Austria, 2008. P. 59–60.

358. Pritzkow C., T. Wazny K.U., Heußner M., Słowinski A., Bieber I., Dorado Liñán, Helle G., Heinrich I. 2016. Minimum winter temperature reconstruction from average earlywood vessel area of European oak (*Quercus robur*) in N–Poland. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*. Vol. 449. P. 520–530.

359. Ray D., Morison J., Broadmeadow M. Climate change: Impacts and adaptation in England's woodlands. Forestry Commission Research Note, 2010. Vol. 201. P. 16.

360. Rehfeldt G. E., Jaquish B. C., López-Upton J., Sáenz–

Romero C., St Clair J. B., Leites L. P., Joyce D. G. Comparative genetic responses to climate for the varieties of *Pinus ponderosa* and *Pseudotsuga menziesii*: Realized climate niches. *For. Ecol. Manag.* 2014. Vol. 324. P. 126–137.

361. Rieger I., Kowarik I., Cherubini P., Cierjacks A. A novel dendrochronological approach reveals drivers of carbon sequestration in tree species of riparian forests across spatiotemporal scales. *Sci. Total Environ.* 2017. Vol. 574. P. 1261–1275.

362. Roibu C., Sfeclă V., Mursa A., Ionita M., Nagavciuc V., Chiriloaei F., Les I., Popa I. The Climatic Response of Tree Ring Width Components of Ash (*Fraxinus excelsior* L.) and Common Oak (*Quercus robur* L.) from Eastern Europe. *Forests.* 2020. Vol. 11 (5). Retrieved from: <https://www.mdpi.com/1999-4907/11/5/600/htm>

363. Roibu C. C., Popa I., Kirchhefer A. J., Palaghianu C. 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.* 2017. Vol. 42. P. 104–116.

364. Roig F. A. Dendrocronolog'ia y dendroclimatolog'ia del bosque de *Pilgerodendron uviferum* en su area norte de dispersion *Bol. Soc. Argent. Bot.* 1991. Vol. 27. P. 217–234.

365. Rolland C., Desplanque C., Michalet R., Schweingruber F. H. Extreme tree rings in spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) and fir (*Abies alba* Mill.) stands in relation to climate, site, 30 and space in the southern French and Italian Alps. *Arct. Antarc. Alpine Res.* 2000. Vol. 32. P. 1–13.

366. Rozas V. Dendrochronology of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in an old-growth pollarded woodland in northern Spain: tree-ring growth responses to climate. *Annals of Forest Science.* 2005. Vol. 62. P. 209–218.

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

368. Tretyak Platon, Chernevyy Yuriy. The growth of trees of the Carpathian Forests (in the basin of the Dniester River). Lviv. Publishing House of Lviv Polytechnic National University. 2018. 202 p.

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

370. Schweingruber F. H., Kontic R., Niederer M., Nippel C. A., Winkler-Seifert A. Diagnosis and distribution of conifer decay in the Swiss Rhone Valley a dendrochronological study. In: H. Turner, W. Tranquillini

(Eds.) Establishment and tending of subalpine forest. Berno: Swiss Federal Institute of Forestry Research, 1985. P. 189–192.

371. Schweingruber F. H., Kairiukstis L. A., Shiyatov S. Sample selection. In: Cook E.R., Kairiukstis LA, eds. *Methods of Dendrochronology: Applications in the Environmental Sciences*. Boston: International Institute for Applied Systems Analysis, Kluwer Academic Publishers. 1990. 23– 35.

372. Schweingruber F. H. *Tree Rings: Basics and Applications of Dendrochronology*. The Netherlands: Dordrecht D. Reidel Publishing Compan, 1988. 276 p.

373. Schweingruber F. H., Eckstein D., Serre-Bachet F., Braker O. U. Identification, presentation and interpretation of event years and pointer years in dendrochronology. *Dendrochronologia*. 1990. Vol. 8. P. 9–38.

374. Sheppard P. R. *Dendroclimatology: extracting climate from trees*. Wiley Interdisciplinary Reviews. Climate Change. 2010. Vol. 1. P. 343–352.

375. Shuman J. K., Shugart H. H., Krankina O. N. Assessment of carbon stores in tree biomass for two management scenarios in Russia. *Environmental Research Letters* 8. 2013. Vol. 8. Available at: <https://www.semanticscholar.org/paper/Assessment-of-carbon-stores-in-tree-biomass-for-two-Shuman-Shugart/782b04ba8b6f28877023dc10db0f3ff5e3554229#citing-papers>

376. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. *Sustainability*. 2017. Vol. 9(7). Available at: <https://www.mdpi.com/2071-1050/9/7/1152>

377. Shvidenko A., Lakyda P., McCallum I. Carbon, climate and managed land in Ukraine: Integrated data and models of land use for NEESI (Forest Sector). Report on work of the International Institute for Applied System Analysis. Laxenburg, Austria. 2008.

378. Shvidenko A., Buksha I., Krakovska S., Lakyda P. Vulnerability of Ukrainian Forests to Climate Change. 2017. Vol. 9. 1152. <https://doi.org/10.3390/su9071152>

379. Sohar K., Läänelaid A., Eckstein D., Helama S., Jaagus J. Dendroclimatic signals of pedunculate oak (*Quercus robur* L.) in Estonia. *European Journal of Forest Research*. 2014. Vol. 33. P. 535–549.

380. Sohar K., Oak Dendrochronology and Climatic Signal in Finland and the Baltic States. Ph.D. dissertation University of Tartu. Tartu. 2013. 129 p.

381. Solomina O. Davi N., D'Arrigo R., Gordon Jacoby G. Tree-ring

reconstruction of Crimean drought and lake chronology. Geophysical research letters, 2005. vol. 32
Available at:<https://www.ldeo.columbia.edu/res/fac/trl/downloads/Publications/2005SOLOMGL023335.pdf>.

382. Song Y., Sass–Klaassen U., Sterck F., Goudzwaard L., Akhmet zyanov L., Poorter L. Growth of 19 conifer species is highly sensitive to winter warming, spring frost and summer drought. Annals of Botany. 2021. 49 p.

383. Speer J. H. Fundamentals of tree–ring research. Tucson: the University of Arizona Press, 2010. 73 p.

384. Stahle D. W. Useful strategies for the development of tropical tree–ring chronologies. IAWA J. 1999. Vol. 20. P. 249–253.

385. Stoeckhard J. A. Untersuchungen uber die schadliche Einwirkung des Hutten– und Steinkohlenrauches auf das Wachstum der Pflanzen, insbesondere der Fichte und Tanne. Tharandter forstliches Jahrbuch. 1871. Vol. 21. P. 218–254.

386. Studhalter R. A. Tree growth: I. Some historical chapters. Bot. Rev. 1955. Vol. 21(1). P. 1–72.

387. Sydorenko S., Voron V., Koval I., Rumiantsev M., Hurzhii R. Postfire tree mortality and fire resistance patterns in pine forests of Ukraine. Central European Forestry Journal. 2021. Vol. 67(1). P. 21–29.

388. Szychowska-Krapiec E., Wiśniowski Z. Zastosowanie analizy przyrostów rocznych sosny zwyczajnej (*Pinus sylvestris*) do oceny wpływu zanieczyszczeń przemysłowych na przykładzie zakładów chemicznych «Police» (woj. szczecińskie). Geologia. 1996. Vol. 22(3). P. 281–297.

389. Thomas C. D. Translocation of species, climate change, and the end of trying to recreate past ecological communities. Trends Ecol. Evol. 2011. Vol. 26. P. 6–221.

390. Thompson M. A. Tree rings and air pollution: A case study of *Pinus monophylla* growing in east–central Nevada. Environmental Pollution. Series A: Ecological and Biological. 1981. Vol. 26 (4). P. 251–266.

391. Yang Z., Midmore D. J. Modelling plant resource allocation and growth partitioning in response to environmental heterogeneity. Ecol. Model. 2005. Vol. 181. P. 59–77.

392. Vincent M., Krause C., Koubaa A. Variation in black spruce (*Picea mariana* (Mill.) BSP) wood quality after thinning. Annals of Forest Science. 2011. Vol. 68 (6). P. 1115–1125.

393. Vinš B., Mrkva R. The diameter increment losses of pine stands

as a result of injurious emissions. *Acta Universatis Agriculturae*. 1973. Vol. 42(1). P. 25–46.

394. Visser H., Molenaar J. Trend Estimation and Regression Analysis in Climatological Time Series: An Application of Structural Time Series Models and the Kalman Filter *Journal of Climate*. 1995. Vol. 8 (5). P. 969–979.

395. Vitas A. Dendroclimatological research of Scots pine (*Pinus sylvestris* L.) in the Baltic coastal zone of Lithuania. *Baltic Forestry*. 2004. Vol. 10 (1). P. 65–71.

396. Vincent-Barbaroux C., Breda N. Contrasting distribution and seasonal dynamics of carbohydrate reserves in stem wood of adult ring-porous sessile oak and diffuse-porous beech trees. *Tree Physiol*. 2003. Vol. 22. P. 1201–1210.

397. Wigley T. M. L., Briffa K. R., Jones P. D. On the Average Value of Correlated Time Series, with Applications in Dendroclimatology and Hydrometeorology. *Journal of Climate and Applied Meteorology*. 1984. Vol. 23(2). P. 201–213.

398. Williams J. T. International aspect of biodiversity. *Forest. Chron*. 1992. Vol. 4. P. 454–458.

399. World Data Center. Available at: <https://wwwbis.sidc.be/silso>

400. World Data Center for the production, preservation and dissemination of the international sunspot number. Available at: <http://sidc.be/silso/home>

401. Wu X., Zhan X. Tree-ring width and climatic change in China. *Quatern Sci Rev*. Vol. 10. 1991. P. 545–549.

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

403. Zhang Y., Wilmking M., Gou X. Changing relationships between tree growth and climate in Northwest China. In *Forest Ecology*. Van der Valk A. G., Ed. Dordrecht: Springer, 2008. P. 39–50.

404. Zuber. D. Biological flora of Central Europe: *Viscum album* L. *Flora*, 2004. Vol. 199. P. 181–203.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ДКХ	деревно-кільцеві хронології
ППП	постійна пробна площа
ТПП	тимчасова пробна площа
H (н.р.м.)	висота над рівнем моря
$H_{сер.}$	середня висота дерева
$D_{сер.}$	Середній діаметр дерева
Z_R	поточний радіальний приріст, мм
ТЛУ	тип лісорослинних умов
ДП	державне підприємство
ДЛМГ	досвідне лісомисливське господарство
m	середня ширина річного кільця,
M	середня величина деревно-кільцевої індексної хронології
$S_{td.dev}$	стандартне відхилення
δ^2	дісперсія
R_{bar}	міжсерійний коефіцієнт кореляції
AC_1	автокореляція першого порядку
MS_x	середня чутливість деревно-кільцевих хронологій
V	коефіцієнт варіації
Р.д.с.	регіональна деревно-кільцева серія
РГВ	рівень ґрунтових вод
СРД	стадія рекреаційної дигресії
ЗТЕС	Зміївська теплова електростанція
ВАТ	виробниче акціонерне товариство
ЛНДС	лісова науково-дослідна станція

ЗМІСТ

ВСТУП	3
РОЗДІЛ 1. ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО РЕТРОСПЕКТИВНОГО ТА ПРОСТОРОВОГО АНАЛІЗУ ЛІСОВИХ ЕКОСИСТЕМ	5
1.1. Теоретичні та методологічні засади дендрохронологічного аналізу	5
1.2. Вплив зміни клімату на радіальний приріст дерев	11
1.3. Антропогенний вплив на радіальний приріст дерев	21
1.3.1. Вплив промислового забруднення та клімату на радіальний приріст дерев	21
1.3.2. Вплив рекреації та клімату на радіальний приріст дерев	24
Висновки до розділу 1	27
РОЗДІЛ 2. МЕТОДОЛОГІЧНІ ОСНОВИ ДОСЛІДЖЕНЬ	28
2.1. Лісівничі методи	28
2.2. Дендрохронологічні методи	29
2.2.1. Відбір дендрохронологічних зразків	29
2.2.2. Обробка дендрохронологічних зразків	30
2.2.3. Перехресне датування. Реперні роки	31
2.2.4. Варіаційна статистика та перевірка надійності деревно-кільцевих хронологій	32
2.2.5. Індексація деревно-кільцевих хронологій	35
2.2.6. Взаємозв'язки між радіальним приростом дерев і чинниками довкілля (кліматичними, забрудненням, рекреацією, рівнем ґрунтових вод)	35
Висновки до розділу 2	37
РОЗДІЛ 3. ФІЗИКО-ГЕОГРАФІЧНА ХАРАКТЕРИСТИКА РАЙОНУ ДОСЛІДЖЕНЬ ТА ОПИС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДІЛЯНОК	39
3.1. Природні умови району досліджень	40
3.1.1. Фізико-географічне положення	40
3.1.2. Рельєф	43
3.1.3. Клімат та гідрографія	43
3.1.4. Ґрунти	48
3.2. Опис експериментальної бази	49
3.2.1. Полісся	49
3.2.2. Лісостеп	50

3.2.3. Гірський Крим	52
3.3. Обсяг виконаних робіт	53
Висновки до розділу 3	53
РОЗДІЛ 4. ДИНАМІКА РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ЗВИЧАЙНОЇ, СОСНИ КРИМСЬКОЇ ТА ДУБА ЗВИЧАЙНОГО В УМОВАХ ЗМІНИ КЛІМАТУ	55
4.1. Вплив клімату на радіальний приріст сосни звичайної в Поліссі	55
4.1.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної в Поліссі	58
4.1.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної в Поліссі	57
4.1.3. Відгук радіального приросту сосни звичайної на зміну клімату в насадженнях із різними умовами місцезростання у Поліссі	65
4.2. Вплив клімату на радіальний приріст сосни звичайної в лісостанах Лівобережного Лісостепу	72
4.2.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія сосни звичайної в Лівобережному Лісостепу	72
4.2.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної в Лівобережному Лісостепу	75
4.2.3. Кліматичний сигнал у локальній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної середньовікового лісостана Васищевського лісництва ДП «Жовтневе ЛГ»	81
4.2.4. Кліматичний сигнал у локальній деревно-кільцевій хронології сосни звичайної 100-річного соснового насадження ДП «Харківська лісова науково-дослідна станція	88
4.2.5. Вплив клімату на динаміку радіального приросту сосни звичайної в лісовій і лісостеповій зонах України	93
4.3. Вплив зміни клімату на радіальний приріст сосни кримської в насадженнях на південному узбережжі Криму	99
4.3.1. Абсолютні значення радіального приросту сосни кримської	99
4.3.2. Кліматичний сигнал в індексних деревно-кільцевих хронологіях	102
4.3.3. Реакція ранньої та пізньої деревини сосни кримської на зміну клімату	106

4.4. Динаміка радіального приросту дуба звичайного в умовах зміни клімату в Поліссі	110
4.4.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного в Поліссі	111
4.4.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного в Поліссі	113
4.4.3. Вплив клімату та рівня ґрунтових вод на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Полісся	119
4.4.4. Вплив клімату на формування деревних кілець дуба звичайного в надзвичайно вологих умовах Полісся	129
4.5. Вплив клімату на радіальний приріст дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу	137
4.5.1. Регіональна деревно-кільцева хронологія дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу	137
4.5.2. Кліматичний сигнал у регіональній деревно-кільцевій хронології дуба звичайного в насадженнях Лівобережного Лісостепу	138
4.5.3. Порівняння реакції радіального приросту дуба звичайного на зміни клімату в Поліссі та Лісостепу	145
4.6. Вплив рівня ґрунтових вод на стан дубових деревостанів в Поліссі	160
4.6.1. Сезонні та річні коливання рівня ґрунтових вод	160
4.6.2. Взаємозв'язок між рівнями ґрунтових вод та кліматом	165
4.6.3. Стан дубових насаджень	171
Висновки до розділу 4	176
РОЗДІЛ 5. ПОТЕНЦІАЛ ВИКОРИСТАННЯ ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНОЇ ІНФОРМАЦІЇ ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ СОСНИ ТА ДУБА ЗА РІЗНОЇ ІНТЕНСИВНОСТІ АНТРОПОГЕННОГО НАВАНТАЖЕННЯ	178
5.1. Вплив рекреації на радіальний приріст сосни звичайної та дуба звичайного в деревостанах Лівобережного Лісостепу	178
5.1.1. Вплив рекреації на радіальний приріст сосни звичайної	178
5.1.2. Вплив рекреації на радіальний приріст дуба звичайного	190
5.2. Вплив забруднення і клімату на радіальний приріст сосни звичайної	194

<i>5.2.1. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення викидами підприємства ВАТ «Балцем»</i>	194
<i>5.2.2. Дендрохронологічний аналіз сосни під впливом клімату та забруднення викидами Зміївської теплової електростанції</i>	198
Висновки до розділу 5	201
ВИСНОВКИ	202
ПРОПОЗИЦІЇ ВИРОБНИЦТВУ	205
SUMMARY	206
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	210
ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	248

Наукове видання

Коваль Ірина Михайлівна

**ДЕНДРОХРОНОЛОГІЧНІ ЗАСАДИ ОЦІНЮВАННЯ
СОСНОВИХ І ДУБОВИХ ДЕРЕВОСТАНІВ УКРАЇНИ**

Монографія
(українською мовою)

Комп'ютерний набір і верстка

Підписано до друку Формат 60x84/16. Гарнітура Таймс.
Друк цифровий. Обсяг: 8,6 ум.-друк. арк.; 9,75 обл.-вид. арк.

Видавець Мачулін

Свідоцтво про держреєстрацію:
Серія ХК № 125 від 24 листопада 2004 р.

Підписано до друку 09.02.2023

Формат 60*90/8. Папір офсетний.

Наклад 50 прим.

Віддруковано: ФОП Озеров Г. В.
м. Харків, вул. Університетська, 3, кв. 9.

Свідоцтво про державну реєстрацію
№ 818604 від 02.03.2000.