

МІНІСТЕРСТВО ЕКОЛОГІЇ ТА ПРИРОДНИХ РЕСУРСІВ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ЗАКЛАД «ДЕРЖАВНА ЕКОЛОГІЧНА АКАДЕМІЯ
ПІСЛЯДИПЛОМНОЇ ОСВІТИ ТА УПРАВЛІННЯ»

ПРОКОПУК ЮЛІЯ СЕРГІЇВНА



УДК 630*5:582.632.2:551.58(477-25)

**КЛІМАТОГЕННА ВАРІАЦІЯ РАДІАЛЬНОГО ПРИРОСТУ
QUERCUS ROBUR L. У БІОТОПАХ ЗАПЛАВИ ДНІПРА В М. КИЄВІ**

03.00.16 – екологія

АВТОРЕФЕРАТ
на здобуття наукового ступеня
кандидата біологічних наук

Київ – 2019

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»

Науковий керівник: доктор біологічних наук, старший науковий співробітник,
Нецветов Максим Вікторович,
ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»,
завідувач відділу фітоєкології

Офіційні опоненти: доктор біологічних наук, професор
Грицан Юрій Іванович,
Дніпровський державний аграрно-економічний університет,
проректор з наукової роботи

доктор біологічних наук, професор
Колесніченко Олена Валеріївна,
Національний університет біоресурсів і
природокористування України, завідувач кафедри
ландшафтної архітектури та фітодизайну

Захист відбудеться 27 червня 2019 року о 13-00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К26.880.02 ДЗ «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

З дисертацією можна ознайомитися в бібліотеці ДЗ «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління» за адресою: 03035, м. Київ, вул. Митрополита Василя Липківського, 35, корп. 2.

Автореферат розісланий «27» _____ травня _____ 2019 року

Учений секретар
спеціалізованої вченої ради



В.В. Лукіша

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми дослідження. Заплавні ліси виконують важливі екологічні функції — забезпечують високий рівень біотичного різноманіття на локальному та регіональному рівнях, слугують екологічними коридорами, пом'якшують кліматичні зміни та ексцеси, підтримують стабільність берегової лінії та інше (Грицан, 2000; Caron et al., 2013). Регулярні повені, збагачуючи ґрунти заплав поживними речовинами і насичуючи їх вологою, забезпечують високу продуктивність заплавних екосистем (Naiman et al., 2005), що, однак, повсюдно втрачається через високий рівень антропогенного навантаження (Nilsson and Berggren, 2000). Модифікація гідрології річок, що викликана необхідністю боротьби з повенями, виробництвом електроенергії та іншими потребами людини, має постійний вплив на біотопи заплав через прямі та опосередковані ефекти на рівні організмів, популяцій, угруповань, екосистем (Stella and Beddix, 2019). Надання оцінки впливу модифікації річок на прилеглі біотопи зазвичай ускладнюється тривалою експлуатацією гідрологічних споруд, що були сконструйовані до початку регулярних спостережень за екосистемами заплав та/або гідрологією річок; коротким терміном спостережень у разі нещодавніх змін, що ускладнює отримання статистично значущих результатів досліджень; відсутністю довгих і безперервних інструментальних метео- та гідрологічних спостережень; докорінними змінами рослинних угруповань у заплавах. Ці перешкоди відсутні у Києві, де безперервні інструментальні спостереження за рівнем води у Дніпрі проводять з 1877 року (Косовець та Діденко, 2014), а зарегулювання розпочато близько 50 років тому (Вишневецький, 2005). Тут також збереглися рідкісні біотопи — заплавні діброви з віковими деревами *Quercus robur* L. (Альошкіна, 2001; Дідух та Альошкіна, 2012), деревина яких являє собою унікальний природний архів інформації щодо реакції рослин на екологічні чинники. Значення досліджень дендрохронологічних серій заплавних дібров Києва полягає у можливості більш глибоко зрозуміти зв'язок прирічкових екосистем із природними коливаннями рівня річок та досягнути наслідки антропогенних змін у гідрології, що відбуваються на фоні глобальних кліматичних змін.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційну роботу виконано в межах науково-дослідних тем ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України»: «Стійкість амфіценозів техногенно змінених територій степової зони» (номер державної реєстрації 0113U006600; 2014–2016 рр.), «Збереження природно-історичної спадщини та збагачення біотичного різноманіття парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва «Феофанія» (номер державної реєстрації 0115U000006; 2015–2017 рр.), «Просторово-часова варіація морфолого-фізіологічних

характеристик вищих рослин та грибів біотопів Києва та області» (номер державної реєстрації 0117U004322; 2017–2021 рр.) та «Наукові засади розвитку просвітницького потенціалу ППСМ «Феофанія» (номер державної реєстрації 0117U004324; 2017–2019 рр.).

Мета та завдання дослідження. Визначити абіотичні екологічні чинники, що лімітують приріст *Q. robur* у заплаві Дніпра в місті Києві, та з'ясувати, як зарегулювання річки вплинуло на зв'язок приросту з факторами навколишнього середовища. Для досягнення мети були поставлені такі завдання:

1. Проаналізувати хронологічні серії радіального приросту *Q. robur* з Міжнародного банку даних (ITRDB) та порівняти з варіацією приросту *Q. robur* у біотопах заплави та поза нею в Києві та на екологічній межі поширення виду в степу.

2. Установити специфічні клімато-гідрологічні чинники для біотопів заплави Києва, що лімітували радіальний приріст *Q. robur* до та після зарегулювання Дніпра. З'ясувати, чи вплинуло зарегулювання Дніпра на зміну середнього значення приросту *Q. robur*.

3. Установити специфічні кліматичні чинники, що впливають на приріст *Q. robur* у біотопі заплави приток Дніпра — річок Сіверка та Петіль.

4. Визначити відмінності у зв'язку приросту з кліматичними чинниками для *Q. robur* у заплаві Дніпра та на екологічній межі його ареалу в степу.

5. Порівняти приріст фітомаси та фіксацію вуглецю в стовбурі *Q. robur* у біотопах заплави та поза нею.

6. Надати рекомендації щодо підтримання життєздатності вікових дерев *Q. robur* у місті Києві.

Об'єкт дослідження — варіація чинників навколишнього середовища та приросту *Q. robur* у заплаві Дніпра в місті Києві.

Предмет дослідження — вплив кліматичних та гідрологічних екологічних чинників на радіальний приріст *Q. robur* у біотопах заплави Дніпра в місті Києві.

Методи дослідження. Польові — маршрутні, дендрометричні; камеральні — анатомічні, дендрохронологічні; статистичні — стаціонарний та рухомий кореляційний аналізи, функція відгуку, метод накладених епох та інші.

Наукова новизна одержаних результатів. Уперше встановлено специфічні для заплавних дібров реакції на зміни екологічних чинників. Показано, що характерним для заплавних дібров Києва був позитивний зв'язок приросту *Q. robur* з рівнем води Дніпра до його зарегулювання.

Уперше з'ясовано, що заплавні діброви у Києві за характером зв'язку *Q. robur* з кліматичними чинниками близькі до популяцій північної частини ареалу виду. Зроблено припущення, що в заплавних дібровах

пом'якшується вплив наслідків кліматичних змін, що дає можливість існування в них реліктових видів флори й фауни.

Уперше показано, що зарегулювання річок призводить до різкої зміни в структурі зв'язків приросту дерев з абіотичними екологічними чинниками. За швидкістю викликаних змін зарегулювання схоже на локально катастрофічні явища.

Уперше показано, що на екологічній межі ареалу в степу зв'язок приросту *Q. robur* із температурою повітря за останні роки зміщується вбік більш ранніх місяців у сезоні вегетації. Зроблено припущення, що це пов'язано зі зсувом фенології виду в степовій зоні.

Показано, що середній приріст стовбурової маси в заплавних дібровах за сприятливих умов зволоження ґрунту може не перевищувати чи бути меншим за приріст у діброві поза заплавою. Зроблено припущення, що менший приріст компенсується збільшенням маси інших фракцій, а висока продуктивність заплавних дібров забезпечується ще й високою щільністю та ярусністю деревостанів.

Дендрохронологічними методами встановлено точний камбіальний вік найстаріших дерев урочища Феофанія і запропоновано заходи щодо підтримання їхньої життєздатності в умовах посиленої рекреації.

Практичне значення одержаних результатів. Результати проведених дендрокліматичних досліджень є науковим підґрунтям для прогнозу щодо майбутнього заплавних та байрачних дібров у Східній Європі.

Встановлені закономірності впливу кліматичних чинників на приріст *Q. robur* у центральній частині ареалу та на його екологічній межі в степовій зоні мають перспективу використання і вже використовуються в міжрегіональних дендрокліматичних та дендроекологічних дослідженнях (Nechita et al., 2017; 2018; Mikac et al., 2018; Neklau et al., 2019).

Запропоновані методичні підходи щодо статистичної обробки дендрохронологічних серій вирішують проблему розділення кліматичного сигналу між близькими за розташуванням біотопами.

Отримані результати щодо чутливості дібров Києва до гідрокліматичних змін є підґрунтям для розробки шляхів збереження унікальних заплавних дібров у межах урбанізованих територій.

Під час дослідження зібрано більше 1000 зразків деревини для формування ксилотеки, особливостями якої є кільцеві серії живих вікових дерев *Q. robur* із рідкісних біотопів степової та лісостепової зон, і зафіксовано в зразках фенологічні фази формування деревини.

Укладені дендрохронологічні серії є основою для датування артефактів, що містять деревину, починаючи з середини XVIII століття.

Встановлено фактори, які негативно впливають на багатовікові дерева *Q. robur* урочища Феофанія в Києві, та розроблено комплекс заходів щодо підтримання їхньої життєздатності.

Розроблено лабораторні заняття для студентів-екологів та ботаніків Донецького національного університету ім. В. Стуса.

Особистий внесок здобувача. Робота є самостійним дослідженням здобувача. Дисертантом особисто проведено аналіз наукової літератури, польові та камеральні дослідження. Результати досліджень та висновки відображено в публікаціях та дисертації. Матеріали, опубліковані у співавторстві, мають пропорційний внесок здобувача. Права співавторів не порушено.

Апробація результатів дисертації. Основні теоретичні положення та практичні результати досліджень доповідалися та обговорювалися на Міжнародній науковій конференції «Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках» (Київ, 2015 р.); Міжнародній науково-практичній конференції молодих учених «Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища» (Київ, 2017); Міжнародних наукових конференціях EuroDendro 2015 «Climate and Human History in the Mediterranean Basin» (18–23 October, 2015 Antalya, Turkey) та EuroDendro 2017 (6–10 September, 2017, Tartu, Estonia).

Публікації. Результати дисертаційних досліджень опубліковані у 12-ти публікаціях: 5 у фахових українських виданнях, 3 у журналах, що індексуються провідними базами публікацій (Web of Science, Scopus), 4 у збірках матеріалів та тез доповідей наукових конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з анотації, вступу, 5-ти розділів та 21-го підрозділу, висновків, рекомендацій щодо підтримання життєздатності вікових дерев, списку використаних літературних джерел (241 посилань, з них 192 — латиницею) та 1 додатку (містять 2 рис.). Загальний обсяг роботи — 147 сторінок. Основну частину викладено на 115 сторінках і проілюстровано 37 рисунками та 7 таблицями.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

ЧУТЛИВІСТЬ ЗАПЛАВНИХ ЕКОСИСТЕМ ДО КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ ТА ЗАРЕГУЛЮВАННЯ РІЧОК (ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ)

Висвітлено питання щодо впливу антропогенних та абіотичних факторів на заплавні лісові екосистеми та реакції їхніх компонентів, зокрема деревних рослин на гідрологічні зміни. Зазначено, що види з глибокою кореневою системою як *Quercus robur*, *Pinus sylvestris* та *Alnus glutinosa*, в умовах постійно високого рівня ґрунтових вод здатні розвивати поверхневу кореневу систему (Glenz, 2006) та можуть страждати від нестачі вологи в період межені чи посух (Singer et al., 2013; Stella and

Bedndix, 2019). Проаналізовано механізми адаптації дерев *Q. robur* різного віку до тривалого надлишку вологи та можливий вплив повеней на радіальний приріст та структуру річних кілець виду. Розглянуто дендрохронологічні методи визначення варіабельності річних кілець, передумови формування аномальних кілець та способи їхньої ідентифікації.

Наведено результати досліджень впливу кліматичних та гідрологічних чинників на радіальний приріст *Q. robur* у заплавах екосистемах Європи. У заплавах та заболочених лісах встановлено позитивний вплив опадів на приріст *Q. robur* протягом вегетаційного періоду (Čejková and Poláková, 2012; Goršić, 2014; Stojanović et al., 2015a; Čater and Levanič, 2015; Kalbarczyk et al., 2018; Mikac et al., 2018) та негативний у період спокою (Čejková and Poláková, 2012). За результатами досліджень Stojanović et al. (2015a) та Kalbarczyk et al. (2018), опади в період формування пізньої деревини були надлишковими для *Q. robur*, а за даними Hafner et al. (2015), впливали позитивно. Результати щодо реакції радіального приросту *Q. robur* на температуру в період вегетації є також суперечливими — у місцях із зарегулюванням стоку вона є негативною (Goršić, 2014; Stojanović et al., 2015a; 2015b) та відсутня або позитивна без зарегулювання річки (Čejková and Poláková, 2012; Scharnweber et al., 2013; Hafner et al. 2015; Tumajer and Treml, 2017; Kalbarczyk et al., 2018). Крім того, відзначено негативний вплив зимових температур (Tumajer and Treml, 2016). Недостатня вивченість питання щодо впливу зарегулювання річок на приріст *Q. robur* та неоднозначність результатів зв'язків приріст–кліматичні чинники зумовлюють проведення додаткових досліджень та підкреслюють актуальність дисертаційної роботи.

МАТЕРІАЛИ І МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

Зразки з дерев *Q. robur* відбирали протягом 2014–2016 рр. у біотопах заплави Дніпра — урочище Дубище, Dub (50°32'15" пн.ш. 30°30'5" сх.д.), урочище Бичок, Вус (50°21'22" пн.ш. 30°33'12" сх.д.), заказник «Жуків острів», Zhu (50°20'28" пн.ш. 30°35'23" сх.д.); у біотопі малих річок Сіверка та Петіль, у заказнику «Лісники», Lis (50°17'50" пн.ш. 30°33'37" сх.д.); біотопі поза заплавою — Feo(ref) (50°20'51" пн.ш. 30°28'59" сх.д.) у межах міста Києва; та біотопу на екологічній межі ареалу виду в степу — урочище Путилівський ліс, Put (48°03'53" пн.ш., 37°47'34" сх.д.) у місті Донецьку. За літературними даними та власними спостереженнями наведено характеристику біотопів.

Відбір кернів та камеральну обробку зразків проводили згідно із загальноприйнятими в дендрохронології методиками (Cook and Kairiukstis, 1990). Ширину річних кілець, приросту ранньої та пізньої деревини вимірювали в програмі «AxioVision» (Carl Zeiss) з точністю до 0,01 мм. Якість датування дендрохронологічних серій перевіряли у програмі «COFESHA», Version 6.06p (Holmes, 1983). Індексцію ширини річних

кілець та побудову узагальненої хронології проводили у програмному середовищі R 3.5.1 (R Core Team, 2018) пакета «dplR» (Bunn, 2010). Для аналізу приросту пізньої деревини використовували скориговані індекси, позбавлені залежності ширини пізньої деревини від ранньої (Meco and Baisan, 2001) шляхом лінійної регресії. Для виділення коливань радіального приросту, притаманних лише заплавам, використовували лінійну регресію хронологічних серій індексів ширини річного кільця (RWI), приросту ранньої (EWI) та пізньої деревини (LWI) біотопів заплави до відповідних серій поза заплавою (Netsvetov et al., 2019).

Камбіальний вік дерев, керни яких містили серцевину, визначали шляхом підрахунку кількості річних кілець, а у дерев з ексцентричним приростом розраховували модифікованим графічним методом (Rozas, 2013). У разі пошкодження стовбура або коли відібрати kern було неможливо, вік дерева визначали за рівнянням регресії, що базується на співвідношенні вік–діаметр.

Місячні дані середньої температури повітря, загальної кількості опадів та рівнів води в Дніпрі отримано в Центральній геофізичній обсерваторії (ЦГО). Відкалібровані індекси суворості посухи Палмера (scPDSI) розраховано з кліматичних даних за допомогою R-кодів (Крістіан Занг), що наявні в онлайн режимі (<https://github.com/cszang>), а вміст доступності вологи в ґрунті (awc) взято з бази «Global Soil Texture» та «Derived Water-Holding Capacities» (Webb et al., 2000).

Аналіз кліматичних даних по місту Києву за останні 150 років засвідчив загальновідомий тренд потепління, але не виявив багаторічних змін в опадах (рис. 1 А, Б). У варіації scPDSI виділяються декілька періодів 1865–1900, 1940–1960 та 1970–2010, протягом яких спостерігалось короткочасне збільшення дефіциту ґрунтової вологи (див. сірі лінії на рис. 1 В). Максимальна кількість опадів — 75 мм випадає у липні, а найменша 37 мм — у лютому (рис. 1 Г). З 1863 року середньорічна кількість опадів становить 606 мм. Середньомісячна температура повітря коливається від $-5,4^{\circ}\text{C}$ у січні до $19,8^{\circ}\text{C}$ у липні, а середня річна температура становить $7,5^{\circ}\text{C}$. Середньомісячні значення індексу посухи Палмера (scPDSI) були нижче 0 протягом року, що вказує на загальний дефіцит ґрунтової вологи в Києві (рис. 1 Д).

Унаслідок побудови греблі Київського водосховища у 1964 році рівень води у Дніпрі знизився і досяг історичного мінімуму (88,58 м н.р.м.), влітку–восени 1972 року також відбулося вирівнювання внутрішньорічного розподілу стоку води в Дніпрі та збільшення внутрішньодобових коливань (Вишневецький, 2005). Після того як у грудні 1977 року було запущено греблю Канівського водосховища, середній річний рівень води Дніпра біля Києва збільшився на 0,85 м, а максимальний — на 1,32 м. Крім того, побудова Канівського водосховища істотно уповільнила течію річки (Вишневецький, 2005). Зарегулювання Дніпра змінило значні коливання рівня води, а також її сезонний розподіл (рис. 2).

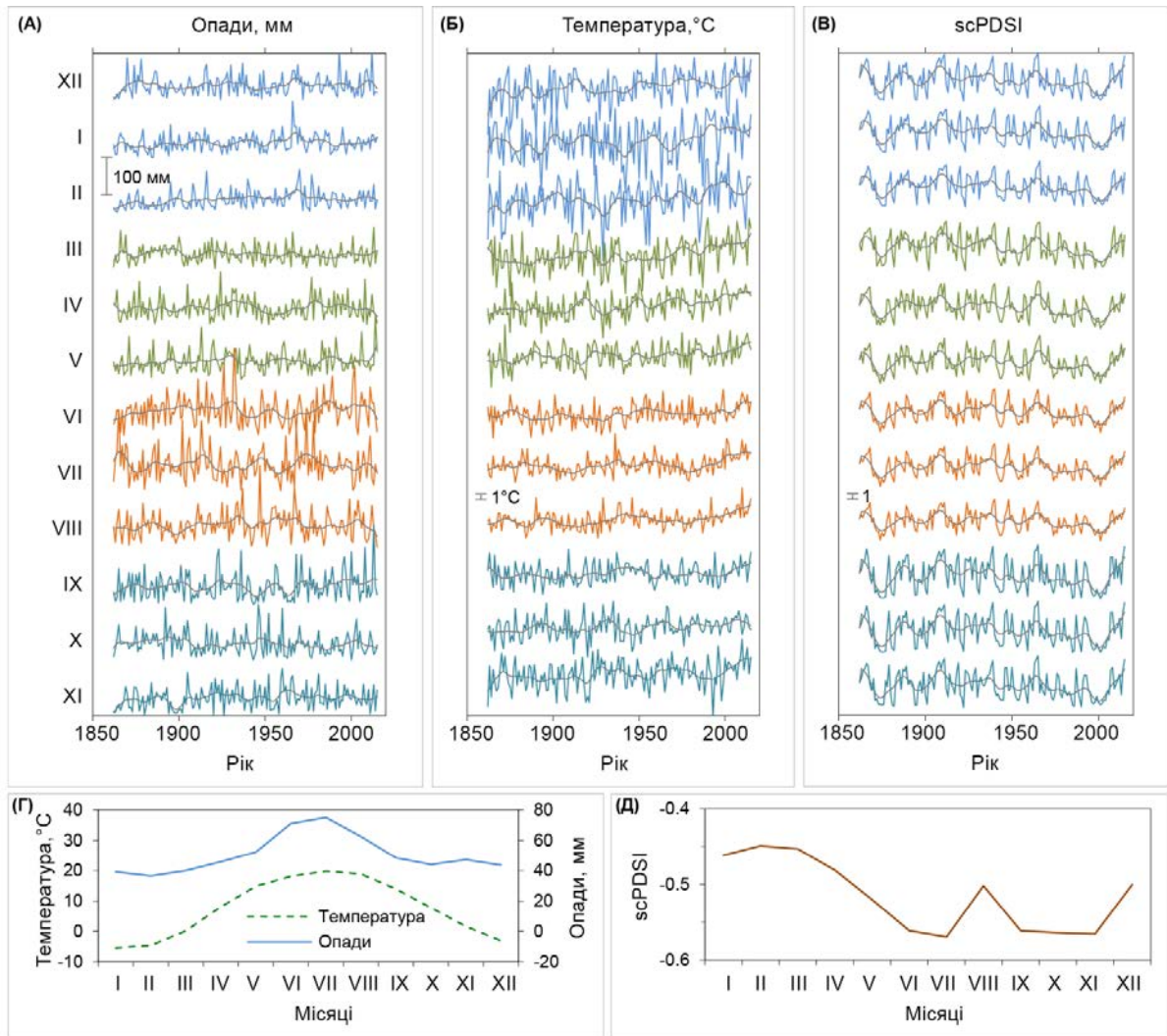


Рис. 1. Варіації місячної суми опадів (А), середньомісячних температури (Б) та індексів посухи scPDSI (B); сезонний розподіл температури й опадів (Г) та scPDSI (Д). Сірими лініями на рис. А–В позначено 15-річне згладжування. Рис. Г та Д побудовано за усередненими даними за період 1880–2015

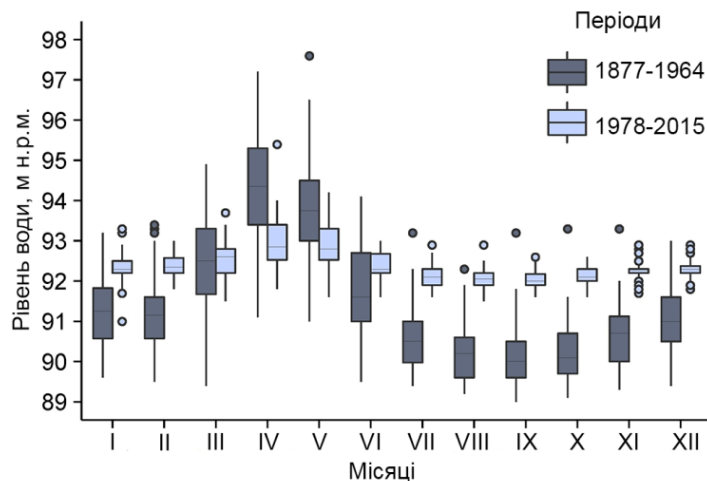


Рис. 2. Розподіл максимального рівня води в Дніпрі в Києві за періоди до (1877–1964) та після (1978–2015) зарегулювання річки

Зв'язок між щорічними варіаціями резидуальних, позбавлених вікового тренду та автокореляції, хронологій *Q. robur* та місячними клімато-гідрологічними змінними встановлювали за період 1878–2015 рр., використовуючи стаціонарну (stationary) та рухоми (moving) кореляційні функції та функції відгуку (Zang and Biondi, 2013; 2015). Для клімато-гідрологічних змінних, що мають статистично значущий рівень ($p < 0,05$) зв'язку з приростом, розраховували рухоми кореляційну функцію та перевіряли на хибні низькочастотні модуляції у тесті Гершунова (Gershunov et al., 2001). Розрахунки проводили за допомогою пакету «treeclim» у програмному середовищі R 3.5.1. Наявність статистично значущих ($p < 0,05$) змін у прирості *Q. robur* визначали методом аналізу точки зміни (change point analysis) з використанням пакета «changepoint» програмного середовища R (Killick and Eckley, 2014). Аналіз методом головних компонент (PCA) проводили з використанням пакета «ade4» для R (Bougeard and Dray, 2018).

Визначення багаторічних змін запасу вуглецю в стовбуровій деревині дерев *Q. robur* проводили на основі щорічної зміни площі поперечного перетину, розрахованої за радіальним приростом відібраних кернів. Для визначення динаміки приросту дерев у висоту використовували дані лісовпорядних матеріалів щодо співвідношення віку й висоти виду. При розрахунках маси стовбура використовували щільність сухої речовини для стовбурової деревини *Q. robur* — 575 кг/м^3 (Нецветов та Сулова, 2009), а для визначення маси депонованого в ній вуглецю — коефіцієнт 0,5 (Matthews, 1993).

ВПЛИВ ГІДРОЛОГІЧНИХ ТА КЛІМАТИЧНИХ ЧИННИКІВ НА РАДІАЛЬНИЙ ПРИРІСТ *QUERCUS ROBUR* L.

Порівняння радіального приросту *Quercus robur* у межах природного ареалу Європи. На основі даних ширини річних кілець з 92 місць зростань, узятих із Міжнародного банку (ITRDB) та укладених нами хронологічних серій заплавних біотопів Києва (Dub, Вус, Zhu, Lis), біотопу поза заплавою (Feo(ref)) та біотопу в умовах дефіциту вологи (Put), наведено кластерний аналіз та аналіз методом головних компонент (PCA) радіального приросту *Q. robur* з 1878 по 1967 роки. Показано, що за варіацією приросту *Q. robur* досліджені біотопи в Україні є близькими до місць зростання цього виду у Литві, Польщі та Нідерландах. За результатом PCA, найбільший внесок у першу компоненту мають хронології заплав Вус,

Dub, Zhu, Lis, менший — хронологія поза заплавою Feo(ref). Друга компонента відображає варіацію приросту дерев, які зростають на екологічній межі ареалу у степовій зоні — Put, що свідчить про відсутність зв'язку між варіаціями приросту у степу і біотопах Києва. Тому актуальним є визначення кліматичних чинників, які лімітують приріст *Q. robur* у степу, адже їх можна розглядати як приклад майбутніх змін у структурі зв'язків приріст–клімат у тих частинах ареалу виду, де, за прогнозами, нестача атмосферного та/або ґрунтового зволоження посилюватиметься.

Вплив гідрологічних та кліматичних чинників на річний радіальний приріст *Quercus robur* у заплаві Дніпра. З 1877 по 2015 роки середній річний радіальний приріст (RW) біотопів заплави Zhu, Dub, Lis, Вус становив $2,7 \text{ мм} \pm 1,27 \text{ мм}$, $2,2 \text{ мм} \pm 0,98 \text{ мм}$, $2,4 \text{ мм} \pm 1,21 \text{ мм}$, $2,0 \text{ мм} \pm 0,87 \text{ мм}$ відповідно, а біотопу поза заплавою Feo(ref) — $2,1 \text{ мм} \pm 0,76 \text{ мм}$. Середній приріст ранньої (EW) та пізньої (LW) деревини також був більший у дерев, що зростають у біотопах заплави — Zhu, Dub, Lis, за винятком Вус (рис. 3). Згідно з результатами аналізу точки зміни, у біотопах заплави та поза нею у RW, EW та LW *Q. robur* не виявлено жодних змін, які могли бути пов'язані із зарегулюванням Дніпра. Єдина зміна у прирості LW ($p < 0,01$) біотопу Lis виявлена у 1956 році, але це відбулося раніше періоду введення в дію гребель Київського та Канівського водосховищ (Netsvetov et al., 2019).

За результатами стаціонарної функції відгуку, індекси ширини річного кільця RWI біотопу Feo(ref) з 1877 по 2015 роки були пов'язані з опадами грудня попереднього вегетаційного періоду ($p < 0,05$) та квітня поточного ($p < 0,01$) (рис. 4). EWІ у Feo(ref) пов'язані з умовами попереднього сезону вегетації — значущі ($p < 0,05$) кореляції з опадами та температурою (негативні) у серпні, хоча зв'язок із опадами був втрачений у другому періоді. Значущі зв'язки LWІ з кліматичними чинниками виявлено лише для першого періоду: позитивні з опадами грудня ($p < 0,01$) та січня ($p < 0,05$) попереднього сезону вегетації та травня поточного ($p < 0,05$); негативні — з опадами червня попереднього сезону вегетації ($p < 0,05$) та температурою жовтня і грудня поточного ($p < 0,01$). Для дендрохронологічних серій із заплавних біотопів отримано більше значущих коефіцієнтів у період до зарегулювання Дніпра.

До 1965 року природні коливання рівня води в Дніпрі були основним фактором, що впливав на варіацію приросту дерев в Zhu, Dub та Вус, крім Lis, що розташований у заплаві приток Дніпра. З рівнем води в квітні були пов'язані варіації EWІ в біотопах Zhu ($p < 0,05$) та Вус ($p < 0,01$), RWІ у Вус ($p < 0,05$) та Dub ($p < 0,01$); LWІ у Dub.

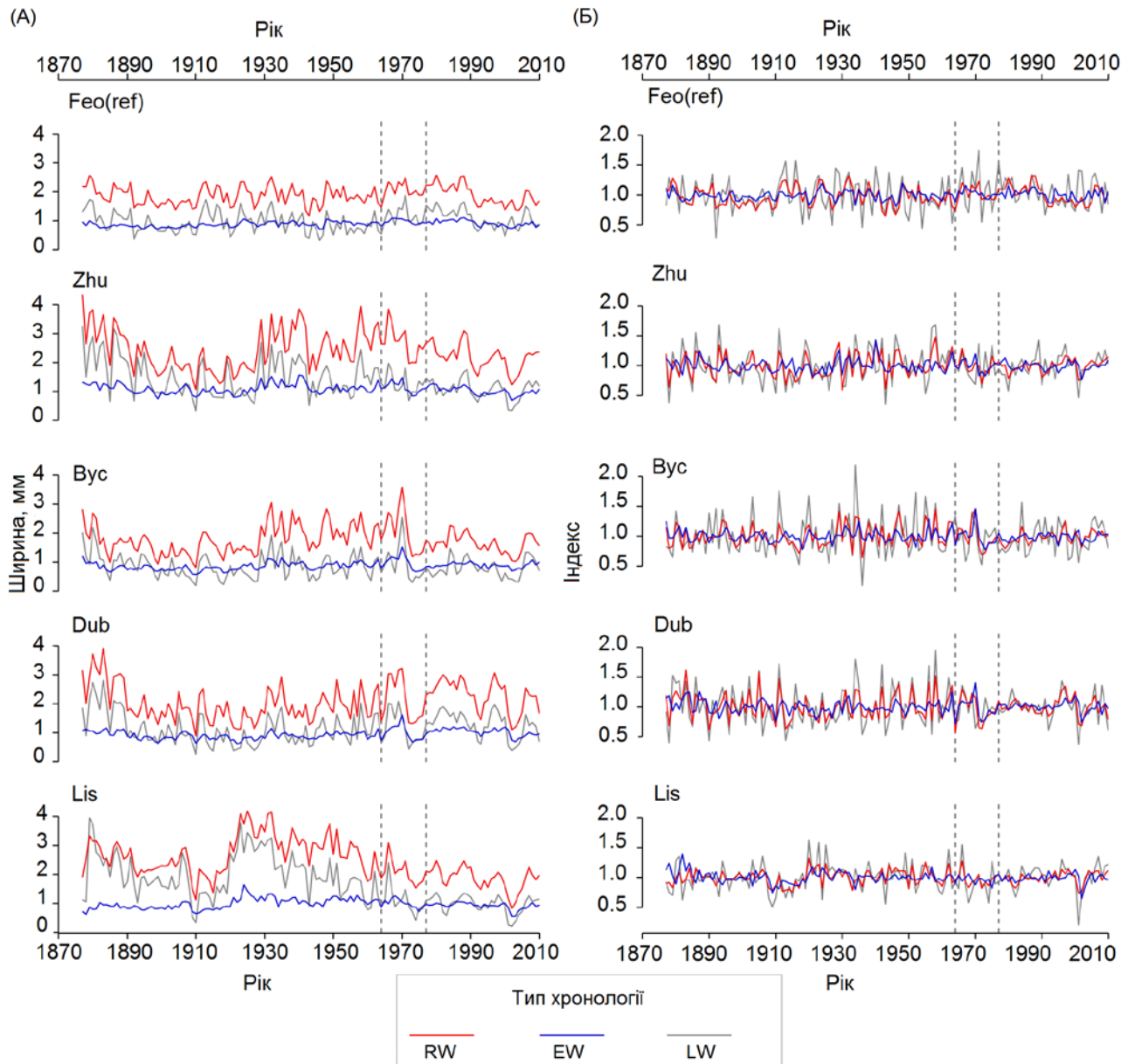


Рис. 3. Необроблені (А) та скориговані (Б) хронології *Quercus robur* ширини річного кільця (RW), приросту ранньої (EW) та пізньої деревини (LW) за біотопами. Вертикальні пунктирні лінії вказують роки введення в експлуатацію гідроелектростанцій поблизу Києва (1964 р. — Київська ГЕС, 1977 р. — Канівська ГЕС)

З рівнем Дніпра в травні були пов'язані RWI та EWІ в усіх заплачних біотопах і LWІ в Dub ($p < 0,01$ та $p < 0,05$). Рівень води у червні впливав ($p < 0,05$) на варіацію EWІ в Zhu. Після введення в експлуатацію гребель Київської та Канівської ГЕС, вплив рівня води в Дніпрі на приріст *Q. robur* було втрачено або він змінився на зворотний, як у біотопі Bys. У Lis високий рівень Дніпра у травні ($p < 0,05$) почав мати негативний вплив на формування пізньої деревини (рис. 4).

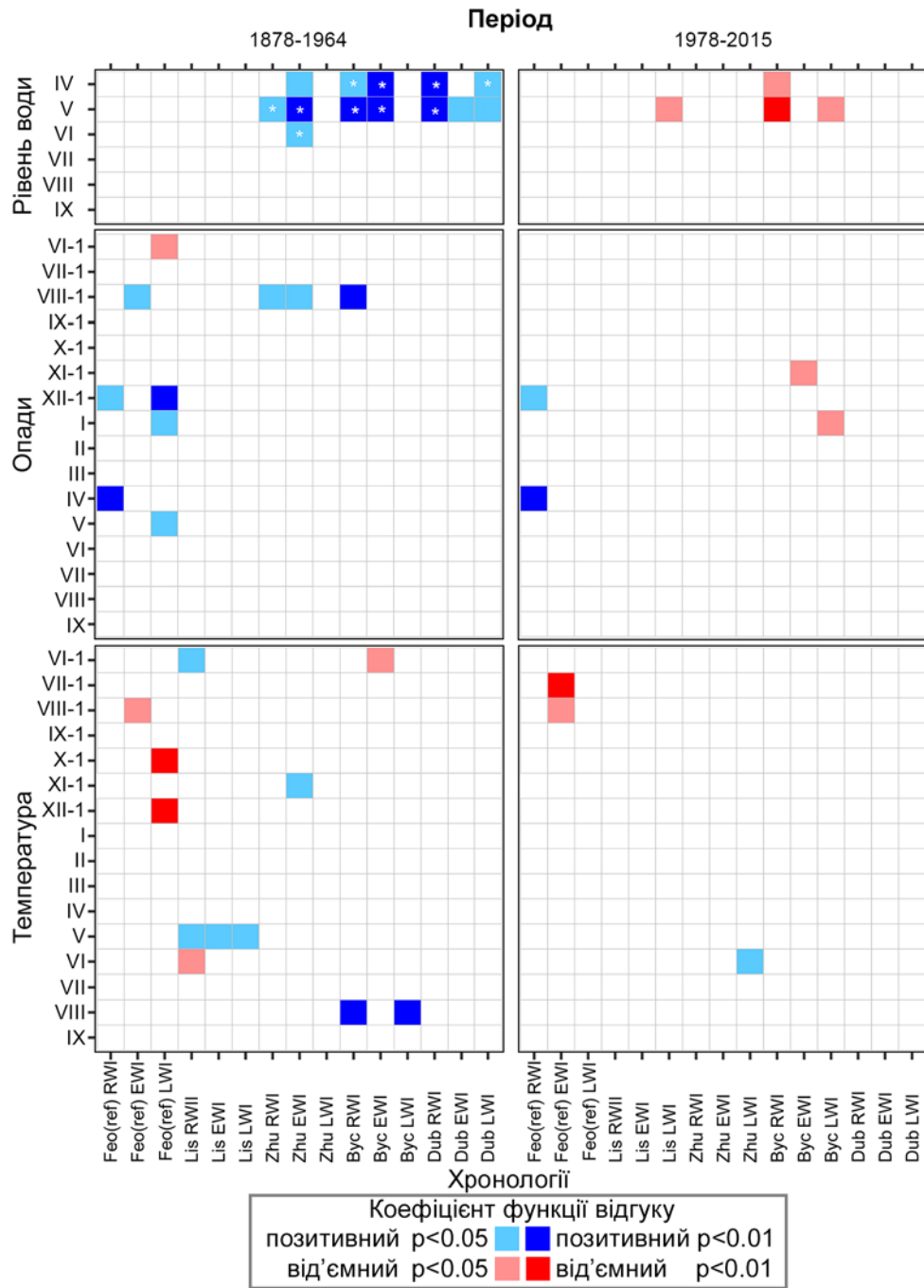


Рис. 4. Зв'язок індексів ширини річного кільця (RWI), ранньої деревини (EWI), пізньої деревини (LWI) *Quercus robur* з гідролого-кліматичними факторами за результатом аналізу стаціонарної функції відгуку для періодів до зарегулювання Дніпра поблизу Києва (1878–1964) та за експлуатації Київської і Канівської ГЕС (1977–2015). Астериском (*) позначено значущі зміни зв'язку

До 1965 року опади серпня позитивно впливали на варіацію RWI та LWI в Zhu ($p < 0,05$) й RWI в Вус ($p < 0,01$). Значущі зв'язки приросту з температурою були більш характерними для першого періоду: у Lis — прямі ($p < 0,05$) у травні поточного року, але вже зворотні ($p < 0,05$) у червні; у Вус — прямі ($p < 0,01$) у серпні поточного року з RWI та LWI і зворотні ($p < 0,05$) у червні попереднього вегетаційного періоду з EWI; у Zhu — прямі

($p < 0,05$) у листопаді попереднього вегетаційного сезону з EWI. Після 1977 року опади мали значущий вплив на приріст дерев *Q. robur* лише у Вус у листопаді попереднього вегетаційного сезону ($p < 0,05$ для EWI) та січні поточного ($p < 0,05$ для LWI), а температура — лише у червні поточного року у Zhu ($p < 0,05$ для LWI).

Застосування рухомої кореляційної функції з 23-річним часовим інтервалом надало можливість детального аналізу змін у зв'язках приросту з кліматичними чинниками. Тест Гершунова на часову стабільність підтвердив значущість таких змін лише для рівня води у Дніпрі (астериск на рис. 4). З аналізу першої похідної функції згладжування серій коефіцієнтів кореляції з'ясовано, що ці зміни відбувалися двічі, коли зв'язок ставав міцнішим та втрачався в інтервалах із початковим роком між 1903–1922 і 1971–1973, відповідно (рис. 5).

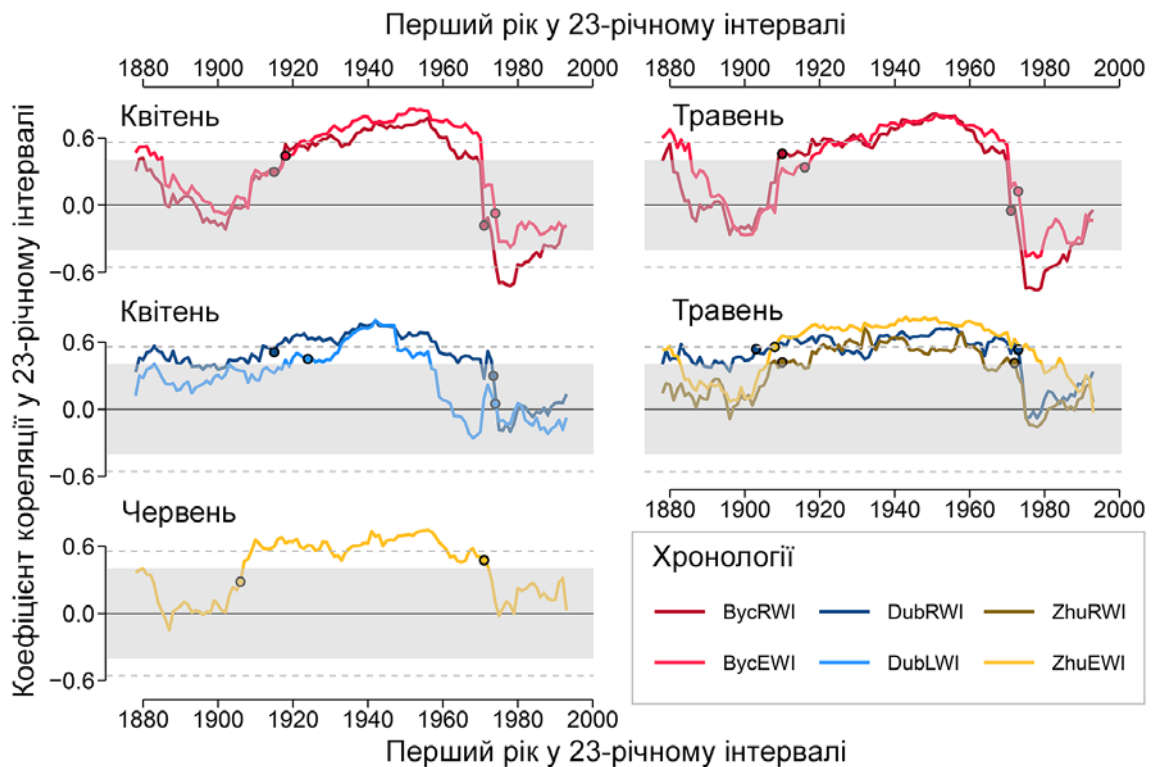


Рис. 5. Результат рухомої кореляційної функції з 23-річним інтервалом для хронологій індексів приросту *Quercus robur* в біотопах заплави Дніпра та рівня води. Точки вказують на роки найстрімкіших змін в коефіцієнтах кореляції. Горизонтальне затінення та пунктирні лінії вказують на поріг значущості коефіцієнта кореляції $p < 0,05$ та $p < 0,01$ відповідно

Низькі кореляції приросту з кліматичними чинниками на початку ХХ століття у досліджених біотопах спостерігалися в різний час та мали причину, нез'ясовану до цих пір. Зменшення коефіцієнтів кореляцій між 1964 та 1977 роками було пов'язане із зарегулюванням Дніпра (див. рис. 5). Найбільш помітні зміни відбулися у Вус, де значущі кореляції приросту з рівнем води у квітні та травні змінилися на значущі негативні протягом 3-ох років і досягли найнижчого значення в інтервалі з 1978 по 2000 роки.

Подібні зміни в кореляціях, але з меншим падінням, спостерігалися у біотопах Zhu та Dub.

Встановлена зміна реакції приросту *Q. robur* на коливання рівня води Дніпра (див. рис. 5) розкриває вплив зарегулювання річкового потоку на ріст заплачних лісів. Будівництво двох гребель біля Києва призвело до раптової зміни позитивної кореляції між приростом *Q. robur* в заплавах і рівнем води в квітні–травні, а також до послаблення кореляції з рівнем води в червні (Netsvetov et al., 2019). Ці зміни були неочікуваними, оскільки середній рівень та варіації рівня Дніпра у Києві у квітні і травні знизилися, що мало б збільшити кореляцію з приростом. Біотопи Lis та Вус виявилися найбільш чутливими, що підтверджено значущими негативними кореляціями приросту з рівнем Дніпра у другому періоді. Території цих біотопів зазнали змін у гідрології у зв'язку з забудовою і прокладкою автотраси (Вус), будівництвом дамби вздовж узбережжя Дніпра (Lis).

Вплив кліматичних чинників на річний радіальний приріст *Quercus robur* у заплаві малих річок Сіверка та Петіль. Зміни середнього приросту *Q. robur* у 1950-х рр. у заказнику «Лісники» (див. вище) відбувалися одночасно зі змінами у зв'язку приріст–клімат. За весь досліджуваний період 1880–2015 рр. з 34 кліматичних змінних приріст *Q. robur* значущо ($p < 0,05$) корелював лише з 5: позитивно — з опадами березня поточного року ($r = 0,22$) та серпня попереднього вегетаційного періоду ($r = 0,19$), температурою травня поточного року ($r = 0,21$) та червня попереднього року ($r = 0,19$), а також індексами scPDSI травня поточного року ($r = 0,19$) (рис. 6 А). У період до 1950 року (рис. 6 Б) на приріст *Q. robur* позитивно впливали температури травня ($r = 0,37$), опади листопада попереднього року ($r = 0,26$) та червня поточного року ($r = 0,28$), але негативно — температури червня ($r = -0,28$).

З 1950 року (рис. 6 В) позитивний вплив мали опади березня ($r = 0,38$) та доступність ґрунтової вологи травня ($r = 0,30$), а від'ємну кореляцію встановлено для опадів у жовтні поточного ($r = -0,31$) та температури у серпні попереднього вегетаційного періоду ($r = -0,22$). Спекотні умови червня поточного сезону призводили до значного зменшення ширини річного кільця *Q. robur* та, ймовірно, до уповільнення або повної зупинки ксилогенезу (Pérez-de-Lis et al., 2017). Позитивна реакція приросту на опади серпня попереднього вегетаційного періоду вказує, що заплава Lis потерпає від посух наприкінці літа, а наявність ґрунтової вологи в цей період може мати вирішальне значення для накопичення вуглецю та неструктурних вуглеводів. Ймовірно, що наявність серпневої посухи пов'язана з природним режимом річки, яка практично висихає всередині літа (Вишневський, 2007). Помітною є позитивна кореляція приросту *Q. robur* з опадами березня, що пов'язано з насиченням ґрунту вологою до початку формування деревини. Позитивна кореляція приросту *Q. robur* з температурою травня є непоширеним явищем та вказує на пом'якшення у Lis впливу регіонального потепління (Netsvetov et al., 2018), ймовірно, через

ефект охолодження водою разом із затіненням намету деревостану та випаровуванням (Hesslerová et al., 2013; Elisson et al., 2019). Кореляція між хронологією *Q. robur* у Lis та scPDSI навесні зросла у другому періоді і вказує на дефіцит ґрунтової вологи впродовж сезону вегетації (рис. 6 В). Посухи та дефіцит вологи мають ще більший вплив на приріст *Q. robur* на екологічній межі ареалу в степу, діброви тут зростають у локально сприятливих умовах зволоження — прибережних зонах річок, балках та байраках (Бельгард, 1971).

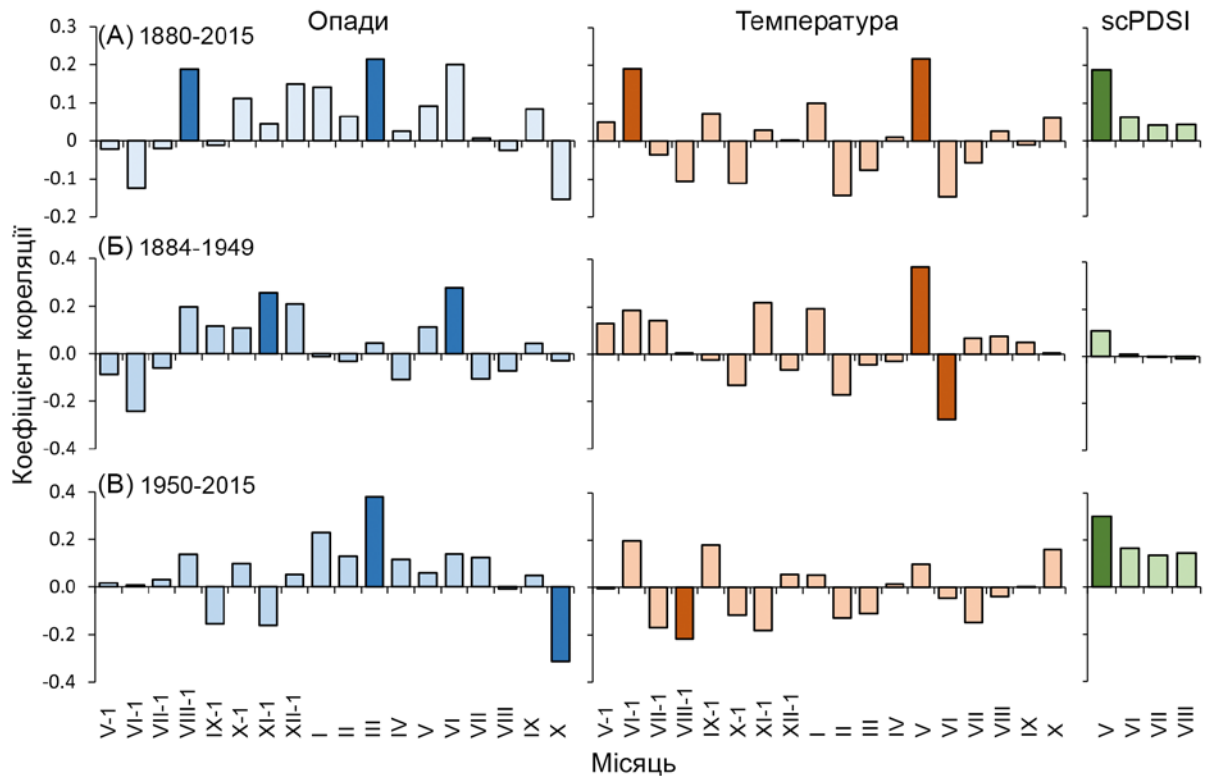


Рис. 6. Кореляція радіального приросту *Quercus robur* та кліматичних чинників: опадів, температури та індексу посухи Палмера (scPDSI). (А) — для всього досліджуваного періоду; (Б) — для періоду до основних антропогенних змін гідрології річки Сіверка; (В) — в умовах зміненої гідрології річки. Темним забарвленням позначено значущі ($p < 0,05$) кореляції

Вплив кліматичних чинників на радіальний приріст *Quercus robur* на екологічній межі ареалу в степу. Радіальний приріст досліджених *Q. robur* Путилівського лісу (Put) в середньому становив $2,06 \pm 0,81$ мм і варіював від $1,47 \pm 0,31$ мм у дерев, що зростають на вершині яру, до $2,50 \pm 0,79$ мм у дерев, що зростають уздовж нижніх схилів. Залежно від умов рельєфу відношення віку до діаметра *Q. robur* також варіювало. Так, середнє значення для дерев, що ростуть на схилах, складало $1,83 \pm 0,34$ років/см, а на вершині, тобто на більш сухих ґрунтах — $2,74 \pm 0,38$ років/см.

У період з 1937 по 2012 роки виявлено тісний статистично значущий зв'язок між хронологією *Q. robur* і кліматичними факторами в степу (рис. 7). Значущі позитивні кореляції встановлено з опадами травня поточного року ($r=0,20$) та квітня–червня ($r=0,26$), і негативні з температурою квітня ($r=-0,22$) та червня–липня ($r=-0,27$). За результатами рухомого кореляційного аналізу з 31-річним інтервалом вплив опадів на приріст *Q. robur* переважно позитивний, хоча виявлено негативний вплив опадів жовтня (1940–1959) та листопаду (1984–2012) попереднього року, а також серпня поточного року (1937–1966). Температура в цілому мала негативний вплив на приріст *Q. robur*, але є декілька періодів, коли приріст позитивно корелював із температурою вересня попереднього вегетаційного періоду (1984–2012), жовтня (1940–1969) та листопада (1941–1971), а також лютого поточного року (1950–1984). Результат тесту Гершунова показав, що зміни в кореляціях між хронологією *Q. robur* і середньою температурою січня ($p<0,05$), лютого ($p<0,1$), березня ($p<0,05$), квітня ($p<0,1$) й опадами лютого та серпня ($p<0,1$) не можна вважати стійкими процесами (Netsvetov et al., 2017). В цілому для радіального приросту *Q. robur* в умовах степу є сприятливою прохолодна, волога погода на початку вегетаційного періоду, що є основною відмінністю від біотопів заплави Дніпра в Києві.

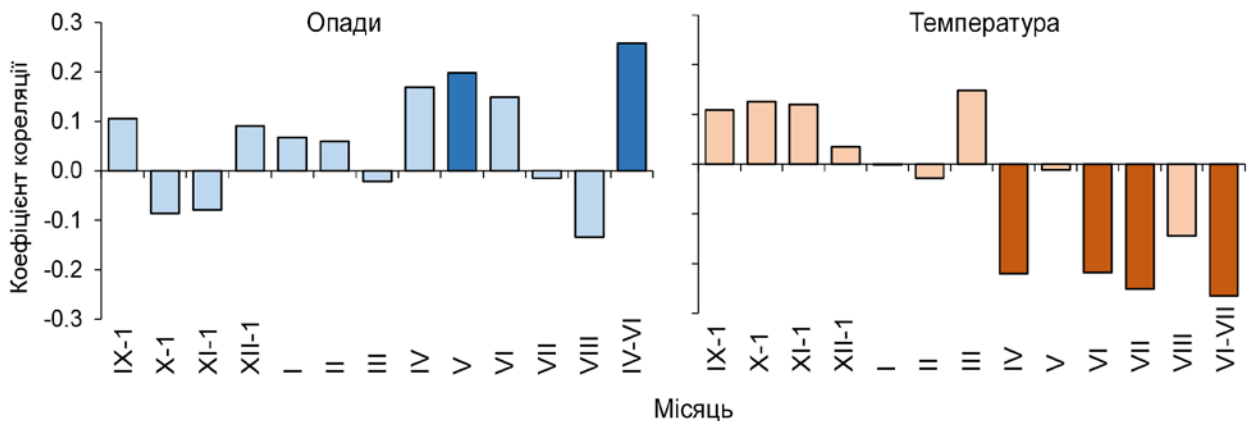


Рис. 7. Кореляція приросту *Quercus robur* з опадами та температурою. Темним забарвленням позначено значущі ($p<0,05$) кореляції

РЕКОНСТРУКЦІЯ ЩОРІЧНОЇ АКУМУЛЯЦІЇ ВУГЛЕЦЮ У СТОВБУРАХ *QUERCUS ROBUR* У ЗАПЛАВІ ТА ПОЗА НЕЮ

Вікові деревостани. На основі аналізу приросту річних кілець реконструйовано щорічне накопичення вуглецю вікових дерев *Q. robur* у заплавних біотопах (Вус, Dub, Zhu, Lis) та у біотопі поза заплавою (Feo(ref)) в Києві (Прокопук & Нецветов, 2016; Прокопук, 2018). Результати дослідження показали, що загальна маса фіксованого вуглецю у стовбурі *Q. robur* як у біотопах заплави, так і поза заплавою збільшувалася з віком дерев. Наприклад, у віці 25 років у стовбуровій масі дерев Zhu накопичено 36 кг вуглецю, в Вус — 25 кг, в Lis — 21 кг, в Dub — 18 кг, в Feo(ref) —

близько 23 кг, а середня маса акумульованого вуглецю стовбурами *Q. robur* у віці 150 років становила 1048 кг в Feo(ref), 902 кг в Zhu, 770 кг в Dub, 740 кг в Вус, 708 кг в Lis.

Маса вуглецю, фіксованого віковими деревами *Q. robur* у Feo(ref), була вищою, ніж у заплавних дібровах на 37 % у віці до 25 років та на 14–28 % у старшому віці (рис. 8 А). При розгляді накопичення вуглецю в динаміці (рис. 8 Б) встановлено, що воно було у 1,5–2,8 разів більше у віковому деревостані Feo(ref).

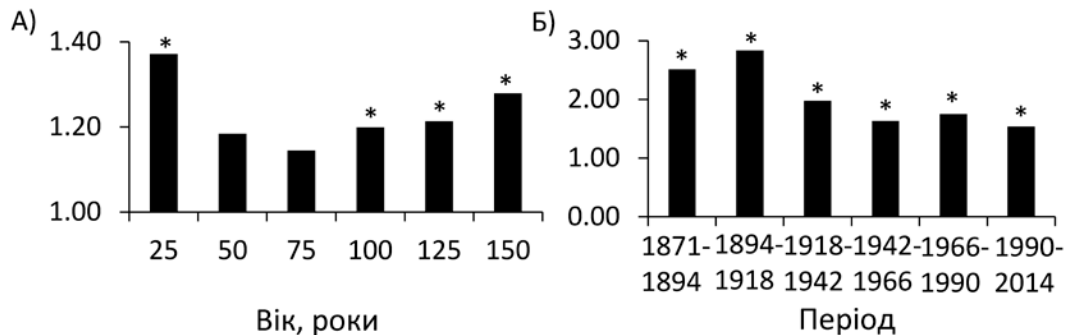


Рис. 8. Відношення накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* у біотопі урочища Феофанія до відповідних значень у заплавних дібровах залежно від віку (А) та в динаміці (Б). Астериском (*) позначені значущі ($p < 0,05$) відмінності

Насадження. У цьому підрозділі реконструйовано щорічне депонування вуглецю у стовбуровій масі середньовікових дерев *Q. robur* з насадження на острові Муромець (Mur), що знаходиться в заплаві Дніпра, та ділянки штучно створеного у післявоєнні роки деревостану в межах урочища Феофанія (Feo(ref)).

У насадженні Mur накопичення вуглецю 25-річними деревами було на 56 % більше, ніж у лісових культурах Feo(ref), а у віці 50 років різниця зменшилася та стала статистично незначущою (рис. 9 А). За період 1966–1990 рр. накопичення вуглецю в культурах Feo(ref) було у 1,6 разів більше, ніж у насадженні Mur, що пов'язано з більшим віком досліджених дерев Feo(ref) у цей період (рис. 9 Б). У старшому віці *Q. robur* здатен витримати більше 100 днів затоплення, а в молодому лише до 50-ти днів (Kreuzwieser et al., 2004; Glenz et al., 2006). Відповідно негативний вплив повеней на приріст *Q. robur* більш вірогідний у молодшому віці (Corini et al., 2016), але отримані нами результати з цим не узгоджуються, адже приріст у заплавах був менший, ніж у Феофанії як у молодому, так і в старшому віці (див. рис. 8 А). Винятком є дерева з насадження острова Муромець, які за умов низької конкуренції за світло у віці 25 років депонували вуглецю на 56 % більше, ніж культури Феофанії (див. рис. 9 Б).

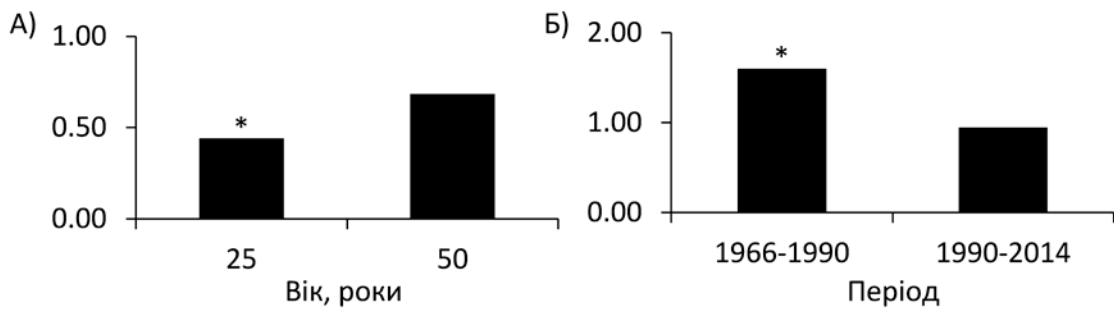


Рис. 9. Відношення маси накопиченого вуглецю в стовбуровій деревині *Quercus robur* у насадженні урочища Феофанія до відповідних значень у насадженні на острові Муромець у віці 25 та 50 років (А) та в середньому за періоди 1966–1990 та 1990–2014 (Б). Астериском (*) позначені значущі ($p < 0,05$) відмінності

Причиною невідповідності наших даних літературним може бути урахування нами лише стовбурової маси. Так, надлишок ґрунтової вологи в заплавних деревостанах може одночасно впливати позитивно на депонування вуглецю в підстилці та корінні і негативно — в наземній біомасі (Rieger et al., 2015). Ймовірно, це зумовлено відомим (Rieger et al., 2013; 2015) механізмом уникнення загрози аноксії шляхом підвищення інтенсивності транспірації дерева за рахунок збільшення маси корінців і листя та її зменшення у стовбурі.

НАЙСТАРІШІ ДЕРЕВА КИЄВА — НАУКОВИЙ ПОТЕНЦІАЛ БАГАТОВІКОВИХ ХРОНОЛОГІЧНИХ СЕРІЙ

Хронологічні ряди радіального приросту найстаріших дерев *Quercus robur* урочища Феофанія. Визначено точний камбіальний вік 16 багатовікових дерев *Q. robur* із довжиною хронологічної серії не менше як 200 років. Станом на 2016 рік найстарішим *Q. robur* із урочища Феофанія виявилось дерево віком 275 років з діаметром 165,2 см, наймолодшим із досліджених багатовікових *Q. robur* віком 202 роки з діаметром 131,6 см. На основі ширини річних кілець укладено узагальнену хронологічну серію з 1746 по 2016 роки, яку можна використовувати для реконструкції кліматичних умов Києва з середини XVIII століття та датування артефактів відповідного періоду. За середнім значенням ширини річних кілець розраховано коефіцієнти приросту, середнє значення якого становить $5,13 \pm 1,428$ років/см (Прокопук & Крилов, 2018). За цим коефіцієнтом можна за $\frac{1}{2}$ діаметра без кори оцінити вік домінантних та кодомінантних *Q. robur* в асоціації *Galeobdolon luteae-Carpinetum* Shevchuk, Bakalyna et V.Sl. 1996. Варіація локальних біотичних та абіотичних умов зростання, класу дерева за пануванням та життєздатністю зумовлюють похибку визначення віку за коефіцієнтом.

Оцінена життєздатність вікових *Q. robur* за восьмибальною шкалою (Савельєва, 1975) становила переважно 6–7 балів, хоча в одного з дерев, зі

скелетними гілками, що всихають, та чисельними водяними пагонами, вона відповідала балу 3. Санітарний стан п'яти дерев *Q. robur* задовільний, дев'ять дерев віднесено до категорії «ослаблені» — з пораненням стовбура, пошкодженням та ураженням листової пластинки. Одне дерево віднесено до категорії «дуже ослаблені», з усиханням скелетних гілок та пошкодженням листової пластинки міллю понад 50 % та ще одне віднесено до категорії «відмираючі», з механічним пошкодженням стовбура та центральною гниллю, яка була відзначена при аналізі кернів. Стадії рекреаційної дигресії становили від 1 до 4, навколо більшості дерев спостерігалася стадія 1. Рекреаційне навантаження навколо чотирьох досліджених дерев відповідало стадії 2, із пошкодженням до 10 % живого надґрунтового покриву, навколо двох *Q. robur* віднесено до стадії 3 — пошкоджено до 30 %, навколо ще двох дерев відповідало стадії 4 з деградуєчим трав'яним покривом та підстилкою до 60 %.

За співвідношенням віку та діаметру без кори дерев урочища Феофанія оцінено вік найбільших за діаметром дерев *Q. robur* Голосіївського лісу. Оцінений вік найбільшого «самбурського дуба» із діаметром на висоті 1,3 м 162 см (периметр — 509 см) становить 303–351 рік.

Походження деревостанів урочища Феофанія та Голосіївського лісу. Літературні дані та визначений вік *Q. robur* вказують на те, що сучасні деревостани урочища Феофанія та Голосіївського лісу ще в середині XVIII століття входили до одного лісового масиву. Дискусійне питання щодо походження деревостанів Феофанії та Голосієва та причетності Петра Могили до їхньої посадки частково розкривається в картографічних матеріалах та історичних документах. Так, посилаючись на карти Гійома Левассера де Боплана (1595(1600)–1685 pp.), можна стверджувати, що ліси, залишками яких нині є найстаріші дерева Голосієва та Феофанії, існували й до Петра Могили. На більш ранніх картах (XVI ст.) ліси Київщини теж відзначено, але дуже умовно. Тобто за роки перебування в Києві Петра Могили на території сучасного Голосіївського лісу та урочища Феофанія якщо й висаджували дуби, то в невеликих масштабах і в межах існуючих або на місці колишніх великих природних лісових масивів (Нецветов & Прокопук, 2016).

ВИСНОВКИ

За умов природного коливання Дніпра рівень води був основним чинником, що позитивно впливав на приріст *Quercus robur* у біотопах заплави. Зарегулювання Дніпра призвело до стрімких та корінних змін у структурі зв'язків приросту *Q. robur* з гідрологічними чинниками — вплив рівня води став незначущим або змінився на негативний.

1. Заплавні біотопи Києва за варіацією радіального приросту *Q. robur* подібні до місць зростання цього виду у Литві, Нідерландах та Польщі. За

результатом аналізу методом головних компонент радіальний приріст *Q. robur* має подібну варіацію в біотопах заплави та поза нею в межах Києва та відмінну від байрачної діброви на екологічній межі поширення виду в степу.

2. Встановлено, що до зарегулювання у біотопах заплави Дніпра головним і специфічним фактором був рівень води в квітні–травні, що позитивно ($p < 0,05$) впливав на радіальний приріст *Q. robur*, а також ширину ранньої деревини. У біотопі поза заплавою радіальний приріст *Q. robur* лімітувався опадами, що мали позитивний вплив ($p < 0,05$). Після введення в експлуатацію гребель Київської та Канівської ГЕС вплив коливань рівня Дніпра на приріст втратив значущість або змінився на негативний ($p < 0,05$). Враховуючи високу чутливість до гідрологічних чинників, ширина ранньої деревини може використовуватися як основний і достатній індикатор змін рівнів води в Дніпрі.

3. У біотопі заказника «Лісники», заплаві приток Дніпра, виявлено значущу ($p < 0,01$) зміну в середньому значенні приросту пізньої деревини *Q. robur* у 1956 році. Встановлено, що до 1950-их років на радіальний приріст *Q. robur* позитивно впливали температура травня ($r = 0,37$) та негативно температура червня ($r = -0,28$), що свідчить про контрастність умов зволоження протягом сезону вегетації. Після 1950-их цей зв'язок послабшав, а лімітувальним чинником для росту *Q. robur* стала посуха травня — коефіцієнт кореляції з індексом посухи Палмера $r = 0,30$. Ймовірними причинами зміни зв'язків приросту з екологічними факторами були побудова дамби вздовж Дніпра та модифікація русла його приток.

4. На екологічній межі ареалу в степовій зоні лімітувальними факторами радіального приросту *Q. robur* є посушливі умови на початку вегетаційного сезону — температура квітня ($r = -0,22$) та опади травня ($r = 0,20$). Зміни у прирості *Q. robur* та структурі його зв'язків із кліматичними чинниками свідчать про подальше посилення залежності цього виду від атмосферного зволоження в тих частинах ареалу, де зміни клімату проявляються у зменшенні кількості опадів та підвищенні температури.

5. На основі аналізу ширини річних кілець виявлено, що фіксація вуглецю в стовбуровій масі *Q. robur* заплавлених дібров не є вищою, ніж у зональному лісі урочища Феофанія. З 1871 по 2014 середня маса вуглецю, акумульована в стовбуровій деревині *Q. robur*, у заплавах була у 1,5–2,8 разів меншою, ніж у Феофанії. У біотопах заплави Дніпра та поза нею вуглецедепонувальна здатність *Q. robur* підвищується зі збільшенням віку рослин. Раптові падіння цього показника збігалися в часі з посухами, що спостерігалися в 1972–1974 та 2002–2004 рр.

6. Встановлено, що вік найстаріших дерев виду *Q. robur* в урочищі Феофанія сягає 278 років. Середній коефіцієнт приросту для визначення віку *Q. robur* за значенням діаметра становить 5,13 років/см. Укладені хронологічні серії (1746–2016 рр.) дають можливість реконструкції

кліматичних умов та аномальних повеней Києва з середини XVIII ст. та датування артефактів відповідного періоду.

Рекомендації щодо підтримання життєздатності багатовікових дерев *Q. robur* урочища Феофанія. Багатовікові дерева потребують проведення санітарно-профілактичних заходів: регулярної обрізки сухих гілок та пагонів, що всихають; встановлення огорожі в межах проекції крони для зменшення ущільнення ґрунту та запобігання механічних пошкоджень стовбура; для зменшення надмірного навантаження на лісовий масив створити екологічну стежку з розміщенням інформаційних стендів; надання статусу пам'ятки природи деревам, що зазнають значного рекреаційного навантаження та знаходяться поза межами охоронної території парку-пам'ятки садово-паркового мистецтва; застосовувати заходи з захисту крони від механічних ушкоджень: використовувати підпори, стягувальні обручі для збереження великих скелетних гілок; згрібати листя та плоди, уражені збудниками хвороб або пошкоджені шкідниками.

СПИСОК ПУБЛІКАЦІЙ ЗДОБУВАЧА, В ЯКИХ ОПУБЛІКОВАНІ НАУКОВІ РЕЗУЛЬТАТИ ДИСЕРТАЦІЇ

Публікації у виданнях, які включені до Міжнародних наукометричних баз (Web of Science та Scopus)

1. Netsvetov, M., Sergeev, M., Nikulina, V., Korniyenko, V., & **Prokopuk, Y.** (2017). The climate to growth relationship of pedunculate oak in steppe. *Dendrochronologia*, 44, P. 31–38. <https://doi.org/10.1016/j.dendro.2017.03.004> (здобувачем особисто проведено камеральні роботи, вимірювання річних кілець та укладання хронологічних серій, їхній статистичний аналіз; разом з співавторами проведено обговорення та інтерпретацію результатів і написання тексту статті).

2. Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.**, Didukh, Y., & Romenskyu, M. (2018). Climatic sensitivity of *Quercus robur* L. in floodplain near Kyiv under river regulation. *Dendrobiology*, 79, 20–33. <http://dx.doi.org/10.12657/denbio.079.003> (здобувач разом з співавторами брав участь у плануванні роботи та у польових дослідженнях; здобувачем особисто проведено камеральні роботи, укладання хронологічних серій та їхній статистичний аналіз; разом з співавторами проведено обговорення та інтерпретацію результатів і написання тексту статті).

3. Netsvetov, M., **Prokopuk, Y.**, Puchałka, R., Koprowski, M., Klisz, M., & Romenskyu, M. (2019). River regulation causes rapid changes in relationships between floodplain oak growth and environmental variables. *Frontiers Plant Science*, 10, 96. <http://dx.doi.org/10.3389/fpls.2019.00096> (здобувач разом з співавторами брав участь у плануванні роботи та у польових дослідженнях,

здобувачем проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів і написання статті проведено разом з співавторами).

Публікації у виданнях, які включені до фахових видань України

4. Нецветов, М. В., & Прокопук, Ю. С. (2016). Вік та радіальний приріст старовікових дерев *Quercus robur* парку «Феофанія». *Український ботанічний журнал*, 73(2), 126–133. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj73.02.126> (здобувач разом з співавтором планував роботу та проводив польові дослідження, особисто здобувачем проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведено разом з співавтором).

5. Прокопук, Ю. С., & Нецветов, М. В. (2016). Динаміка депонування вуглецю у стовбуровій біомасі *Quercus robur* L. парку «Феофанія». *Науковий вісник НЛТУ України*, 26.3, 158–164. <https://doi.org/10.15421/40260326> (разом із співавтором проведено планування роботи та інтерпретацію результатів, особисто здобувачем проведено камеральні роботи, виміри, розрахунки і статистичний аналіз даних, написання тексту статті).

6. Прокопук, Ю. С. (2017). Вуглецедепонувальна здатність насадження *Quercus robur* L. парку «Феофанія», м. Київ. *Чорноморський ботанічний журнал*, 13(3), 258–265. <https://doi.org/10.14255/2308-9628/17.133/1>.

7. Прокопук, Ю. С., & Крилов, Я. І. (2018). Стан, охорона та збереження багатовікових дерев дуба звичайного в урочищі «Феофанія». *Ecology and Noospherology*, 29(1), 36–41. <https://doi.org/10.15421/031806> (разом з співавтором проведено планування роботи, польові дослідження, обговорення результатів і написання тексту статті, особисто здобувачем проведено камеральні роботи, виміри, розрахунки і статистичний аналіз даних).

8. Прокопук, Ю. С. (2018). Реконструкція щорічної акумуляції вуглецю в стовбурах дерев *Quercus robur* (Fagaceae) заплавних лісів Києва. *Український ботанічний журнал*, 75(6), 517–524. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj75.06.517>.

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

9. Прокопук, Ю. С., & Нецветов, М. В. (2015, травень). Вік та радіальний приріст найстаріших дерев виду *Quercus robur* L. ППСІМ «Феофанія». Мат. міжн. наук. конф. «Інтродукція рослин, збереження та збагачення біорізноманіття в ботанічних садах та дендропарках», Київ: Фітосоціоцентр, 200–201. (здобувачем та співавтором проведено польові дослідження, особисто здобувачем проведено камеральні роботи та статистичний аналіз даних).

10. Netsvetov, M. & Prokopuk, Yu. (2015, October). Pedunculate oak longevity and growth-to-climate relation in city forest at the Western Steppe. *Int. Sc. Conf. on Dendrochronology Climate and Human History in the*

Mediterranean Basin, Turkey: Antalya, P. 183–184. (здобувачем особисто проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведені разом з співавтором)

11. Прокопук, Ю. С. (2017, травень). Вплив зміни клімату на заплавні діброви Києва. Проблеми екології та еволюції екосистем в умовах трансформованого середовища: Матеріали I Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених. Київ, 138–139.

12. **Prokopuk, Yu.**, Krylov, Ya., Didukh, Ya., & Netsvetov, M. (2017, September). Climate change vulnerability of floodplain oak forests in the city of Kyiv. In K. Sohar, S. Toomik, D. Eckstein, A. Läänelaid (Eds.) Book of Abstracts. EuroDendro Conference 2017, Estonia: Tartu, 111. (здобувачем особисто проведено камеральні дослідження та статистичний аналіз первинних даних, обговорення та інтерпретація результатів проведені разом з співавторами).

АНОТАЦІЯ

Прокопук Ю.С. Кліматогенна варіація радіального приросту *Quercus robur* L. у біотопах заплави Дніпра в м. Києві. — Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата біологічних наук за спеціальністю 03.00.16 — екологія. — ДУ «Інститут еволюційної екології НАН України», Державний заклад «Державна екологічна академія післядипломної освіти та управління».

У дисертаційній роботі оцінено вплив гідро-кліматичних чинників до та після зарегулювання Дніпра на радіальний приріст *Q. robur* у біотопах заплави та поза заплавою в межах Києва за останні 139 років. Встановлено, що до зарегулювання Дніпра (1965–1977 рр.) рівень води в квітні–травні був головним фактором, який позитивно ($p > 0,05$) впливав на ширину річних кілець та ранньої деревини в заплавах. Поза нею приріст *Q. robur* лімітувався нестачею опадів ($p > 0,05$). Після введення в експлуатацію гребель вище та нижче течії Дніпра вплив рівня води став незначущим у заплавних біотопах, що розташовані в безпосередній близькості до Дніпра, та змінився на негативний ($p > 0,05$) у біотопі, який відокремлений від берега забудовою та розмежований автомобільною дорогою. Тобто найчутливішими виявилися дерева *Q. robur*, які, окрім зарегулювання Дніпра, зазнали впливу антропогенної зміни локальної гідрології.

Ключові слова: *Quercus robur*, річні кільця, заплавні ліси, гідро-кліматичні чинники.

АННОТАЦИЯ

Прокопук Ю.С. Климатогенная вариация радиального прироста *Quercus robur* L. в биотопах поймы Днепра в г. Киеве. — Рукопись. Диссертация на соискание учёной степени кандидата биологических наук по специальности 03.00.16 — экология. — ГУ «Институт эволюционной

экологии НАН Украины», Государственное учреждение «Государственная экологическая академия последиplomного образования и управления».

В диссертационной работе оценено влияние гидро-климатических факторов до и после зарегулирования Днепра на радиальный прирост *Q. robur* в биотопах поймы и за её пределами в городе Киеве за последние 139 лет. Установлено, что до зарегулирования Днепра (1965–1977 гг.) уровень воды в апреле–мае был главным фактором, который положительно ($p > 0,05$) влиял на ширину годичных колец и ранней древесины в поймах. Вне поймы прирост *Q. robur* лимитировался нехваткой осадков ($p > 0,05$). После введения в эксплуатацию плотин выше и ниже течения Днепра влияние уровня воды стал незначимым в пойменных биотопах, расположенных в непосредственной близости к Днепру, и изменился на негативный ($p < 0,05$) в биотопе, который отделён от берега застройкой и разъединён автомобильной дорогой. Более чувствительными оказались деревья *Q. robur*, которые, кроме зарегулирования Днепра, подверглись воздействию антропогенного изменения локальной гидрологии.

Ключевые слова: *Quercus robur*, годичные кольца, пойменные леса, гидро-климатические факторы.

SUMMARY

Prokopuk Yu.S. Climatogenic *Quercus robur* L. radial growth variation in the Dnipro River's floodplain biotopes in Kyiv. — The manuscript. The candidate's degree thesis dissertation in biological sciences field 03.00.16 — ecology. — SI «Institute for evolutionary ecology NAS Ukraine», State Ecological Academy of Postgraduate Education and Management, Kyiv, 2019.

In the thesis, 130 years long instrumental records of local temperature, precipitation, and the Dnipro River's water level in Kyiv have been used to assess the impact of hydro-climatic factors on *Q. robur* radial growth in floodplain and reference biotopes before and after river regulation. Before the Dnipro River regulation (1965–1977), April–May water level was the main factor which had a positive impact ($p > 0,05$) on tree-ring width and earlywood width in floodplain sites. *Q. robur* radial growth is limited by lack of precipitation ($p > 0,05$) in reference site. After upstream and downstream dams implementation, the water level influence has become non-significant in floodplain biotopes are located nearby the Dnipro River ($p > 0,05$) and changed to negative ($p > 0,05$) in biotope is separated from the coast by building and divided by the road. The most sensitive ones were pedunculate oak trees, which besides the river regulation, influenced by an anthropogenic change of local hydrology.

The results of the correlation analysis of *Q. robur* growth-to-climate relationships in the Siverka River and the Petil River floodplain biotope were unexpected. The Siverka River floodplain biotope was influenced by spring floods, which stopped after channel align and dam a river. The positive correlations with May temperature ($r = 0,37$) and negative with June temperature

($r=-0,29$) were the main specific *Q. robur* growth responses before the Siverka River regulation (1950-y). The results have indicated the contrast conditions during vegetation season — the excess water in the period of earlywood formation and the water deficit later in the vegetation season. Since 1977, when a levee downstream of Kyiv was built, the river's water has been backed up by the mainstream, i.e. the Dnipro River. After river regulation *Q. robur* growth relation with May-June temperature was non-significant and the main limiting factor was the drought in May ($r=0,30$).

Drought and water deficit have a greater impact on *Q. robur* growth in an ecological boundary of its distribution in the steppe. Here oak forests grow in locally humid conditions, such as riverbanks, floodplains and ravines. One of such a steppe azonal forest is Putilovsky forest located in the north of Donetsk city. This stand was part of natural woodland that belonged to the network of riverine and ravine forests of the Kalmius River basin. Positive correlations have been determined between *Q. robur* growth and May ($r=0,20$) and April–June ($r=0,25$) precipitation and negative with April ($r=-0,24$) and June–July ($r=-0,27$) temperature. This suggests that favourable *Q. robur* growth conditions in the steppe are relatively low air temperature and moderate precipitation. The main difference from the Kyiv floodplains biotopes is the negative temperature influence at the beginning of the growth season.

Floodplain forests are the most productive terrestrial ecosystems due to a sustained provision of riverine vegetation with moisture and nutrients. Nevertheless, our results of comparing carbon sequestration in floodplain biotopes and reference site were unpredictable. The reconstruction of carbon sequestration in *Q. robur* stem has shown that average annual carbon mass is smaller in Kyiv floodplain biotopes compared to an outside floodplain. But both in floodplains and in forests outside it, the *Q. robur* carbon sequestration ability increases with age. *Q. robur* trees at the age of 200 and more are capable to maximize carbon sequestration — about 20 kg per year.

The generalized *Q. robur* tree-rings chronology (1746–2016) reveals broad scientific perspectives in the climatic conditions and extreme floods reconstructions in Kyiv from the middle of the XVIIIth century and the dating of the artefacts of the relevant period. Even greater perspectives open up a continuous chronological series, which can be obtained by combining the generalized chronology from the living *Q. robur* trees samples and data of archaeological dated wood.

Key words: *Quercus robur*, tree ring, floodplain forests, hydro-climatic factors.