

## ДИНАМІКА ВМІСТУ ХЛОРОФІЛУ В ЛИСТКАХ ВИДІВ *VIBURNUM L.* ЗА УМОВ ПОСУХИ ТА КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ГІДРОТЕРМІЧНОГО СТРЕСУ

**Зайцева Ірина Олексіївна,**

доктор біологічних наук, професор,  
професор кафедри фізіології та інтродукції рослин  
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара  
ORCID ID: 0000-00015789-7240  
Web of Science Researcher ID: V-7850-2017  
Scopus Author ID: 57201111666

**Гудімов Микита Ігорович,**

аспірант кафедри фізіології та інтродукції рослин  
Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара,  
молодший науковий співробітник  
Південно-східного міжрегіонального центру  
ДУ «Інститут охорони ґрунтів України»  
ORCID ID: 0009-0007-9744-7106

В сучасних умовах наростаючої аридизації клімату, збільшення тривалості літніх посух та зневоднення ґрунтів все більшої актуальності набувають дослідження, пов'язані з вивченням стійкості деревно-чагарникових видів, що становлять основу культурфітоценозів у районах нестійкого зволоження. З огляду на високі декоративні якості та цінність окремих видів калини як плодівих та лікарських рослин, рід *Viburnum L.* представляє значний потенціал видового різноманіття для інтродукційних випробувань в Україні, який ще не повною мірою використовується. Вивчення пігментного комплексу 12 видів роду *Viburnum L.* проводили на основі колекції ботанічного саду ДНУ впродовж п'яти місяців вегетаційного періоду 2025 року, який відзначався глибокою тривалою посухою. За реакцією на умови тривалого водно-температурного стресу виділені види, що відзначаються більшою стабільністю кількісного складу хлорофілів в динаміці вегетаційного періоду (*V. opulus*, *V. trilobum*, *V. lentago*, *V. plicatum*, *V. ×bodnantense*) та найбільш чутливі до посухи види (*V. lantana*, *V. farreri* 'fragrans', *V. × juddi*). Співвідношення фракцій chl a / chl b мало змінюється впродовж вегетаційного періоду району інтродукції, що свідчить про значимість даної функції у забезпеченні життєдіяльності досліджуваних рослин в нових умовах. Установлено, що найбільш високі значення chl a / chl b притаманні видам східноазійського походження, нижчі значення характерні для видів з двох інших центрів видового різноманіття калин – середземноморського та атлантично-північноамериканського. Для кількісної оцінки впливу гідротермічних факторів на вміст хлорофілу використовували методи статистичної апроксимації даних та регресійного аналізу. Трендові криві за факторами зволоженості ґрунту, температурного режиму та вмісту пігментів будували використовуючи методологію векторного Фур'є-аналізу та метод квадратичних сплайнів. Ступінь впливу зволоженості ґрунту становить 64,3 %, температурного фактору – 35,7 % у формуванні видоспецифічних змін інтегральних величин кількості хлорофілу в умовах тривалого комбінованого гідротермічного стресу.

**Ключові слова:** види калини, пігментний комплекс, ксеротермні умови, дефіцит вологи, регресійний аналіз.

### **Zaitseva Iryna, Hudimov Mykyta. Dynamics of chlorophyll content in leaves of *Viburnum L.* species under drought conditions and quantitative assessment of the influence of hydrothermal stress**

In modern conditions of increasing climate aridification, increasing duration of summer droughts and soil dehydration, studies related to the study of the stability of tree and shrub species that form the basis of cultural phytocenoses in areas of unstable moisture are becoming increasingly relevant. Given the high decorative qualities and value of individual species of viburnum as fruit and medicinal plants, the genus *Viburnum L.* represents a significant potential of species diversity for introduction trials in Ukraine, which is not yet fully utilized. The study of the pigment complex of 12 species of the genus *Viburnum L.* was carried out on the basis of the collection of the botanical garden of DNU during five months of the growing season of 2025, which was marked by a deep prolonged drought. According to the reaction to conditions of prolonged water-temperature stress, species were distinguished that are characterized by greater stability of the quantitative composition of chlorophylls in the dynamics of the growing season (*V. opulus*, *V. trilobum*, *V. lentago*, *V. plicatum*, *V. ×bodnantense*) and the most drought-sensitive species (*V. lantana*, *V. farreri* 'fragrans', *V. × juddi*). The ratio of chl a / chl b fractions changes little during the growing season of the introduction area, which indicates the importance of this function in ensuring the vital activity of the studied plants in new conditions. It was established that the highest values of chl a / chl b are inherent in species of East Asian origin, lower values are characteristic of species from two other centers of viburnum species diversity – the Mediterranean and the Atlantic-North American. To quantitatively assess the impact of hydrothermal factors on chlorophyll content, methods of statistical data approximation and regression analysis were used. Trend curves for soil moisture, temperature and pigment content factors were



constructed using the methodology of vector Fourier analysis and the quadratic spline method. The degree of influence of soil moisture is 64.3 %, the temperature factor is 35.7 % in the formation of species-specific changes in the integral values of the amount of chlorophyll under conditions of prolonged combined hydrothermal stress.

**Key words:** *viburnum species*, pigment complex, xerothermic conditions, moisture deficit, regression analysis.

**Вступ.** В основі використання більшості цінних декоративних та нетрадиційних плодкових рослин, до яких належить і рід *Viburnum* L., лежить продукційний процес, який визначається перш за все активністю фотосиміляції.

В сучасних умовах наростаючої аридизації клімату, збільшення тривалості літніх посух та зневоднення ґрунтів негативного впливу зазнають усі ланки метаболізму рослин [1; 2]. Ксеротермний абіотичний стрес часто супроводжується нестачею або повною відсутністю додаткових надходжень води у вигляді штучного поливу, якого потребують мезофітні рослини, що культивуються в умовах степової зони. Переважно це види, інтродуковані з інших ботаніко-географічних районів, кліматичні умови яких мають різний ступінь відповідності умовам інтродукційного району. У зв'язку з цим дослідження посухостійкості деревних інтродуцентів, які можуть дати значний внесок в розширення біорізноманіття декоративних і корисних рослин у районах з обмеженим складом природної арборифлори є актуальною науковою проблемою сучасної біології рослин.

Сучасні дослідження вказують на те, що рослини здатні долати абіотичні стреси, демонструючи адаптивні реакції як фенотипічний прояв генетичного потенціалу виду, сформованого в процесі філогенезу в умовах природного ареалу [3]. Актуальність таких досліджень значною мірою обумовлюється нагальністю розробки комплексних стратегій пом'якшення наслідків кліматичних змін, включаючи отримання стійких фенотипів та їх впровадження у практику рослинництва та підтримання зеленої інфраструктури міст [4, 5]. Так, велика кількість робіт присвячена вивченню посухостійкості деревно-чагарникових інтродуцентів таких великих родових комплексів, як *Acer* L., *Syringa* L., *Juniperus* L., *Salix* L., *Quercus* L. [6–10].

З огляду на високу декоративні якості та цінність окремих видів калини як плодкових та лікарських рослин, рід *Viburnum* L. представляє значний потенціал видового різноманіття для інтродукційних випробувань в Україні, який ще не повною мірою використовується. Інтродуковані в Україну види калин відзначаються широкою амплітудою екологічних властивостей стосовно гідротермічних умов природних ареалів зростання, з переважанням мезофільних форм [11], у зв'язку з чим необхідне вивчення їх стійкості в районах нестійкого зволоження.

Стійкість до посухи є складним багаторівневим процесом, що включає велику кількість реакцій та індукує морфологічні, фізіологічні та молекулярні адаптаційні зміни. Найбільш важливим показником функціональності фотосинтетичного апарату, за думкою дослідників [12], є кількісний та якісний склад пластидних пігментів. Зокрема, досить детально досліджений пігментний комплекс інтродукованих видів роду *Quercus*. Пока-

зано, що у листках *Q. pubescens* та *Q. brantii* Lindl. за недостатнього зволоження зменшувався вміст хлорофілів та каротиноїдів [13; 14]. Аналогічні результати отримані Peguero-Pina et al. [15] щодо середземноморського виду *Q. suber* L., тоді як для більш стійких видів *Q. coccifera* L. і *Q. ilex* пігментний комплекс не зазнає суттєвих змін за дії посухи [16]. За нестачі вологи значно пригнічувалася фотосинтетична активність у листках *Q. cerris* [17]. Стосовно родового комплексу *Viburnum* лише одиничні публікації присвячені вивченню пігментного комплексу переважно теплолюбних вічнозелених видів. Так, досліджуючи реакцію калин, потенційно придатних для використання у Середземномор'ї, для виду *Viburnum tinus* L., Toscano S. et al. [18] встановили кореляцію ступеня зниження інтенсивності фотосинтезу, вмісту хлорофілу *a* та його флуоресценції із трьома рівнями модельованого дефіциту вологи в ґрунті.

Установлено надійні кореляційні залежності, які пов'язують біологічну продуктивність рослин із кількістю хлорофілів і виражаються у показниках хлорофільного фотосинтетичного потенціалу та хлорофільного індексу листків [19]. Вміст хлорофілів у листках є однією з найбільш важливих характеристик адаптації фотосинтетичного апарату рослин до несприятливих умов середовища, так як пластидні пігменти є досить чутливими індикаторами стану рослинного організму [20]. Так, встановлено статистично значимі зміни вмісту хлорофілів в умовах різних технологій вирощування рослин у відповідь на дію регуляторів росту [21], комплексного впливу урботехногенного середовища [22], впливу стресових абіотичних чинників [23]. Отже, якісний і кількісний склад пластидних пігментів є важливим показником у діагностиці стану та прогнозуванні стійкості рослин за різних умов вирощування. Метою роботи було визначення особливостей реакції різних за стійкістю видів роду *Viburnum* L. на посуху за кількісним вмістом хлорофілів у зв'язку зі змінами водно-температурного режиму вегетаційного періоду в умовах Степового Придніпров'я.

**Матеріали і методи досліджень.** Дослідження проводили впродовж вегетаційного сезону 2025 року у ботанічному саду Дніпровського національного університету імені Олеся Гончара. Ботанічний сад розташований на правому корінному березі р. Дніпро (48°26' пн. ш., 35°03' сх. д.). на пологому схилі відвершку балки Довгої. За фізико-географічним районуванням район досліджень належить до Північностепової підзони Степової зони України, за кліматичним районуванням – до Континентальної області зони помірних широт. Район досліджень характеризується спекотним посушливим літом. Середньобагаторічна норма опадів за теплий період року (квітень-жовтень) не перевищує 320 мм, а при високих середньомісячних температурах, які у лип-

ні становлять 23,5°C, значна кількість опадів випаровується. Так, сумарне випаровування з поверхні ґрунту для району досліджень з квітня по жовтень становить 420-430 мм, що визначає невисокі значення гідротермічного коефіцієнта в межах 0,7-0,8 і формує умови дефіциту вологи для рослин.

Веgetаційний період в рік проведення досліджень відзначався надзвичайно стресовими гідротермічними умовами. За даними синоптичних спостережень по м. Дніпро онлайн-сервісу Oigimet, 2025 <https://www.oigimet.com/gsynres.phtml.en>, середньомісячні температури червня, липня і серпня становили +22,8 °C, +24,5 °C і +23,8 °C, що перевищувало середньобагаторічну норму відповідно на 1,3-2,2 °C, а максимальні середньодобові температури трималися довгий час на рівні 32-35 °C. У весняно-літній період по місяцях випало опадів менше на 26 %, 63 %, 73 %, 55 % і 29 % від багаторічної норми, що призвело до розвитку тривалої глибокої посухи (рис. 1).

Об'єктами досліджень слугували види роду *Viburnum* L. дендрологічної колекції ботанічного саду, які зростають на секторах центральної частини дендрарію в однакових умовах освітлення, у складі насаджень напіввідкритого типу на подібному за якість едафічному фоні, в умовах природного зволоження без додаткового поливу. Ґрунти колекційних ділянок представлені чорноземами звичайними малогумусними легкосуглинками, за бонітувальною шкалою відповідають ґрунтам середньої якості, характеризується нейтральною реакцією ґрунтового розчину (рН 7,4) та відносно високим вмістом органічної речовини (3,24 %) у верхньому горизонті (0-30 см), що свідчить про високу потенційну родючість [25].

В колекції роду *Viburnum* представлено 12 видів п'яти секцій роду з дев'яти існуючих за сучасною таксономією роду [26]: 1 *Thyrsochaeta* (Raf.) Rehd., 2 *Lantana* Spach., 4 *Pseudopulus* Dipp., 5 *Lentago* DC., 9 *Opulus* DC.

Загалом рід нараховує більше 150 видів, проте потенційно придатними для інтродукції у райони помірної зони є близько 70 видів [26]. На теперішній час в Україні інтродуковано не більше 25 видів [11, 26], тому на сьогодні залишається значний резерв для первинних інтродукційних випробувань нових видів калини. За ботаніко-географічним походженням досліджувані види представляють усі осередки природного видового різноманіття роду *Viburnum* L. – атлантично-північноамериканський (*V. lentago* L., *V. prunifolium* L., *V. trilobum* Marsh), східно-азіатський (*V. farreri* Stearn і *V. farreri* 'fragrans' Bunge (два фенотипічно відмінних екземпляри за габітусом та морфологією листя), *V. carlesii* Hemsl., *V. rhytidophyllum* Hemsl., *V. plicatum* Thunb., *V. × bodnantense* Aberc ex Stearn, *V. × juddii* Rehd.), та європейсько-середземноморський (*V. lantana* L., *V. opulus* L.). Останні два види входять до складу аборигенної арборифлори району досліджень. Номенклатуру таксонів наведено згідно з міжнародною базою даних [27].

Проби відбирали з модельних екземплярів видів калин впродовж вегетаційного періоду – у 1 і 3 декадах травня, червня, липня та у 1 декаді вересня. Аналіз проводили у п'яти біологічних повторностях (n = 5) в кожному варіанті досліду. Вміст хлорофілів у листках визначали спектрофотометричним методом, описаним Khaleghi [28]. Для екстракції хлорофілу використовували техніку екстракції диметилсульфоксидом (ДМСО). Зразки інкубували при температурі 65°C, доки листові диски повністю не знебарвлювалися. Екстинкцію екстрактів ДМСО-хлорофілу та холостого аналізу (чистий ДМСО) вимірювали при 645 нм та 663 нм за допомогою спектрофотометра СФ-46. Вміст хлорофілів *a*, *b* та загального хлорофілу  $chl_{a+b}$  розраховували за рівняннями Арнона (1), (2), (3) (за [28]):

$$chl_a = \frac{[12,7(A_{663}) + 2,69(A_{645})] \times V}{(1000 \times W)} \quad (1)$$

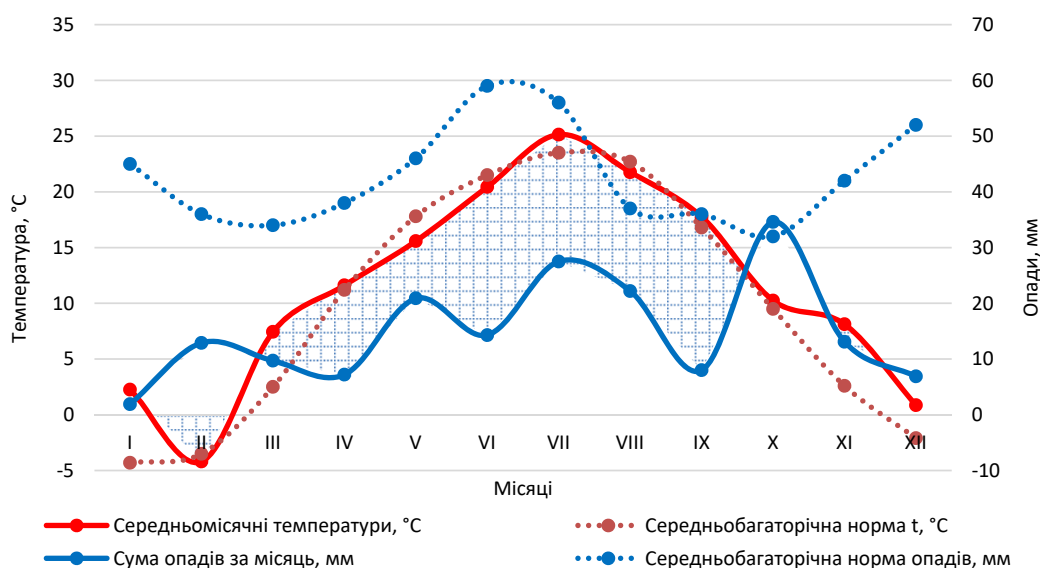


Рис. 1. Кліматограма за 2025 рік по м. Дніпро, побудована за Н. Walter [24] (заштрихована область показує період посухи)

$$chl_b = \frac{[22,9(A_{645}) + 4,68(A_{663})] \times V}{(1000 \times W)} \quad (2)$$

$$chl_{\text{заг.}} = \frac{[20,2(A_{645}) + 8,02(A_{663})] \times V}{(1000 \times W)} \quad (3)$$

де  $V$  – об'єм розчинника, мл;  $W$  – сира маса наважки тканин листя, мг;  $A_{645}$ ,  $A_{663}$  – оптична густина екстракту при довжині хвилі 645 і 663 нм.

Впродовж вегетаційного періоду проводили визначення вмісту вологи у метровому шарі ґрунту. Для району досліджень і даного типу ґрунтів (чорноземи малогумусні легкозмітні важкосуглинкові) оптимальна величина вмісту вологи в метровому шарі ґрунту на початку вегетаційного періоду становить 190 мм [25]. Середньомісячні значення вмісту вологи в ґрунті з квітня по вересень становили 159,1; 141,4; 106,9; 65,2; 85,6; 90,6 мм, що свідчить про значний дефіцит вологи, критичний для рослин.

Для кількісної оцінки впливу гідротермічних факторів на вміст хлорофілу використовували методи статистичної апроксимації даних та регресійного аналізу.

**Результати та обговорення.** Результати показали, що досліджувані види калини характеризуються певним загальним рівнем вмісту хлорофілів, в межах якого відбуваються коливання впродовж вегетаційного періоду. Так, найбільший вміст хлорофілів ( $chl_{\text{заг.}}$ , мг/г сир. ваги) у тканинах листків впродовж вегетації притаманний видам *V. prunifolium* (8,95–7,17), *V. farreri* 'fragrans' (8,59–6,47), *V. carlesii* (7,88–6,65) та гібридним видам *V. ×bodnantense* (7,61–6,62) і *V. ×juddii* (7,83–5,98). Середній рівень вмісту хлорофілу характерний для видів *V. trilobum* (7,11–6,09), *V. plicatum* (6,39–5,49) та *V. rhytidophyllum* (6,71–5,85); невисокі значення показника характерні для *V. farreri* і *V. lantana* (5,01–4,03 і 5,80–3,97), тоді як у листках *V. opulus*, і особливо *V. lentago* міститься найменша кількість хлорофілів (4,55–3,58 та 2,93–2,32). За тривалої посухи в усіх видів калин відбувається зниження вмісту хлорофілів, проте динаміка змін величин показника по мірі розвитку посушливих явищ, як і остаточна кількість пігментів на останній строк відбору проб порівняно з початковим вмістом мають видові відмінності, які можуть характеризувати види за стійкістю до дії тривалої водно-температурного стресу.

Аналіз динаміки змін кількісного вмісту суми хлорофілів (рис. 2) дозволив виділити три групи видів за характером стресової відповіді, які не завжди можна співвіднести з виділенням видів за загальним рівнем вмісту пігментів. Так, для першої групи видів (рис. 2, а) характерне поступове повільне зниження кількості хлорофілів з кожним терміном відбору проб, яке завершується у вересні втратами 13,0 % хлорофілів у *V. ×bodnantense*, 13,4% – *V. trilobum*, 14,1% – *V. plicatum*, 21,3 % – *V. opulus* та 20,8% – *V. lentago* відносно початкового вмісту у травні. Такий характер динаміки свідчить про досить високу стабільність та витривалість пігментного комплексу до водно-температурного стресу даних видів, які до речі не відзначаються високим вмістом хло-

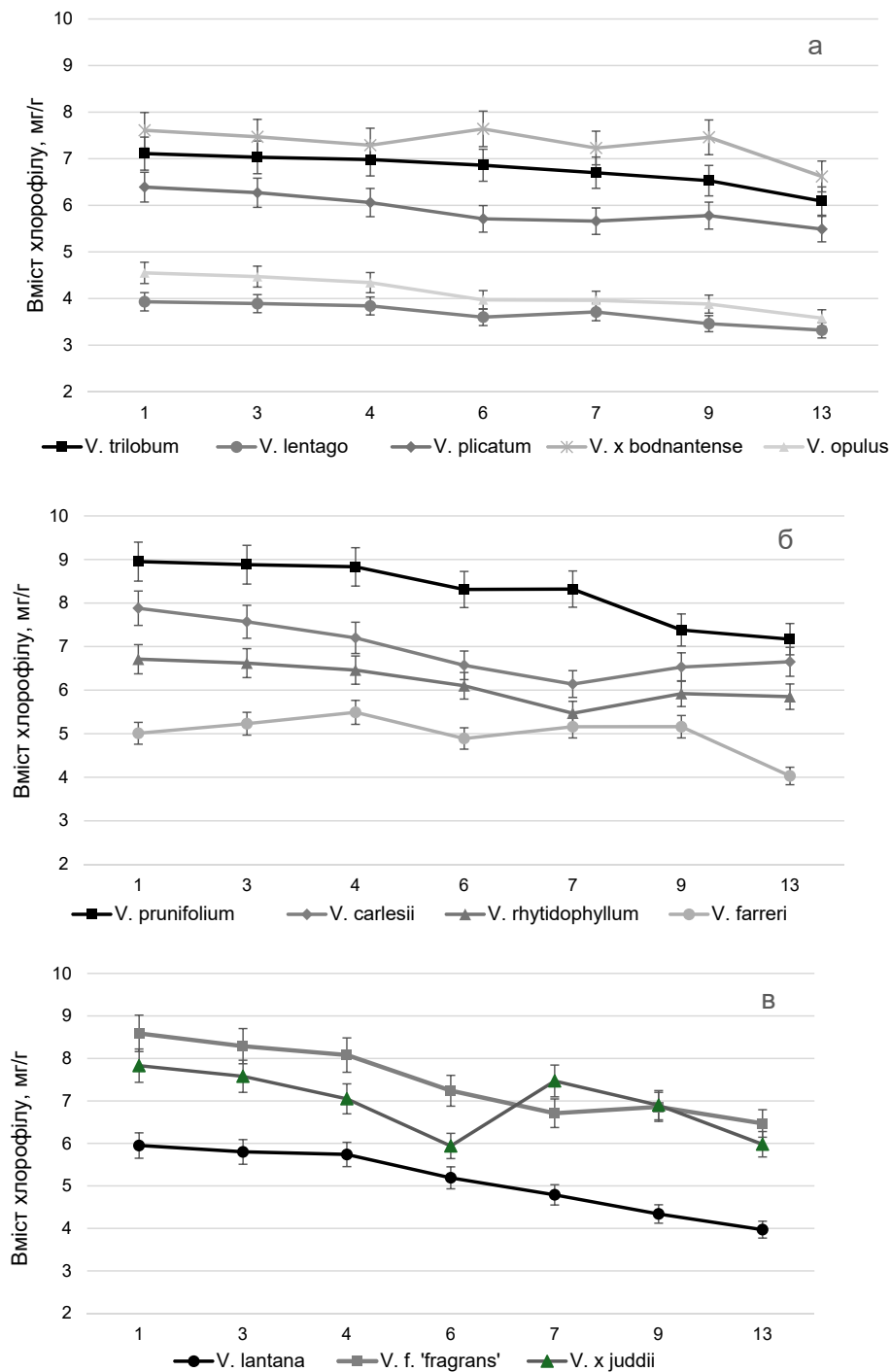
рофілу. Окремо слід відзначити вид *V. ×bodnantense*, для якого характерний найбільш високий рівень суми хлорофілів і навіть локальні зростання їх вмісту у найбільш стресові періоди (3 декада червня – 3 декада липня).

Інша реакція на стрес характеризується меншою стабільністю пігментного комплексу, що виражається у помітних коливаннях вмісту хлорофілів у відповідь на посилення посухи у другій половині літа, проте кількість пігментів наприкінці спостережень у вересні знижується приблизно у таких же обсягах, як і в першій групі – у *V. prunifolium* на 19,9 %, *V. carlesii* – 15,6 %, *V. rhytidophyllum* – 12,8 %, *V. farreri* – 19,6 % (рис. 2, б). Слід зазначити, що локальні зростання вмісту пігментів, які спостерігалися у *V. carlesii*, *V. rhytidophyllum*, *V. farreri* після стресових «мінімумів» вмісту пігментів, можна розглядати як другу фазу стресу – фазу адаптації, яка настає після первинної стресової реакції і пов'язана з відновленням фізіологічних функцій та метаболічних процесів рослин [2]. У недостатньо стійких видів фаза адаптація може бути короткочасною, після чого настає виснаження ресурсів надійності організму [29], у більш стійких видів триває відновлення захисних механізмів. З огляду на це, *V. prunifolium* і *V. farreri* демонструють подальше зниження вмісту хлорофілу, тоді як у *V. carlesii* і *V. rhytidophyllum* до вересня триває поступове зростання цього показника.

Найбільш виражений пригнічуючий вплив посухи на види *V. lantana*, *V. farreri* 'fragrans', *V. ×juddii*, і, в яких після тривалого посушливого періоду вміст хлорофілів знижується на 33,3 %, 24,7 % та 23,6 %, та порівняно з початковим вмістом у 1-й декаді травня. За характером динаміки показника (рис. 2, в) можна вважати, що гідротермічний стрес призводить до значних порушень пігментного комплексу, що може відбиватися на загальній асиміляційній здатності цих видів.

Отримані результати добре узгоджуються з нашими висновками щодо стійкості видів калин до посухи, які були зроблені за результатами аналізу комплексу морфологічних показників водного обміну в цей же період дослідження [30]. Так, види *V. trilobum*, *V. plicatum*, *V. ×bodnantense* мають мінімальні втрати води листками впродовж періоду вегетації та низький водний дефіцит, що свідчить про здатність підтримувати рівень оводненості тканин за умов тривалої посухи і високу стійкість до зневоднення. Ці ж види демонструють здатність підтримувати відносно стабільний рівень вмісту хлорофілів під час посухи. Встановлені нами найбільш чутливі до гідротермічного стресу види за показниками водного режиму – *V. lantana*, *V. farreri* 'fragrans', *V. ×juddii* виявилися найбільш чутливими до стресу і за показниками кількісного вмісту хлорофілів.

Результати досліджень показали, що співвідношення  $chl\ a / chl\ b$  у досліджуваних видів коливається в межах від 1,54 до 2,56 і є менш варіабельним показником в умовах змін температурного режиму і зволоження порівняно із загальним вмістом хлорофілу (рис. 3). Найбільш високий середній рівень  $chl\ a$  по відношенню до  $chl\ b$  характерний для усіх видів східноазіатського походження, які належать до секцій



**Рис. 2. Динаміка вмісту суми хлорофілів у листках видів калин, що відрізняються за реакцією на посуху (1-13 – строки відборів проб у декадах, від 1-ї декади на початку спостережень у травні до 13-ї декади у вересні)**

*Thyrsosma* (Raf.)Rehd., *Lantana* Spach. та *Pseudopulus* Durr., тоді як для видів з Середньої і Південної Європи та північноамериканського походження, що належать до секцій *Lentago* DC. і *Opulus*, а також європейського виду секції *Lantana* Spach. (*V. lantana*) притаманні менші відмінності в кількісному складі *chl a* відносно *chl b*. Відбувається це за рахунок фракції *chl a*, вміст якої в пігментному комплексі цих видів в середньому становить 61,59 %, тоді як у східноазійських видів калин – 66,72 %.

У видів *V. opulus*, *V. prunifolium*, *V. rhytidophyllum*, *V. farreri* 'fragrans' співвідношення *chl a* / *chl b* після тривалого впливу посухи (1 декада вересня) майже не відрізняється показника напочатку спостережень і становить 1,56; 1,56; 2,41 та 2,03 відповідно. У видів *V. lantana*, *V. trilobum*, *V. lentago*, *V. x bodnantense*, *V. x juddii* кількість *chl a* в умовах проведення досліджень поступово зменшується відносно вмісту *chl b*, про що свідчить незначне зниження величини *chl a* / *chl b*, яке статистично не підтверджується – на

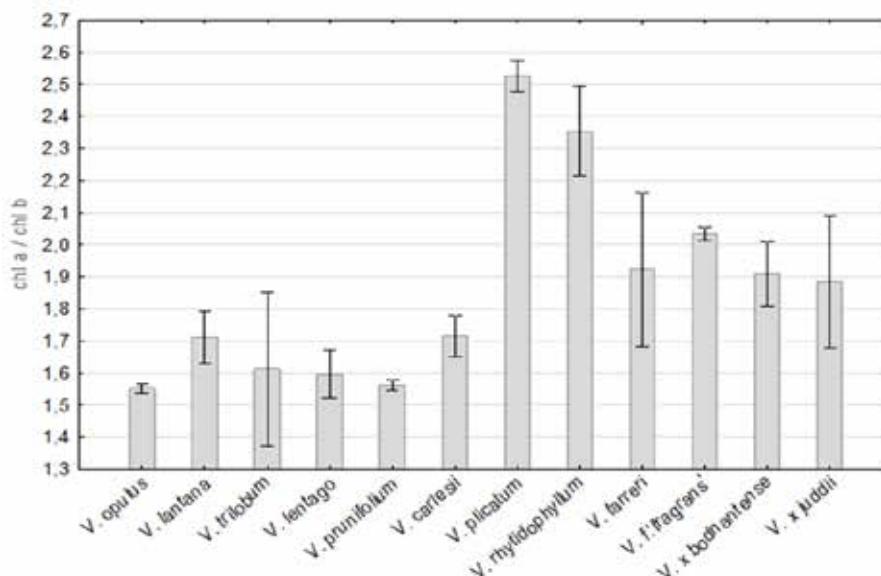


Рис. 3. Співвідношення *chl a / chl b* (за усередненими даними за вегетаційний період)

2,11–5,14 % порівняно з початковими значеннями показника, що може бути пов'язано як із зовнішніми впливами, так і з ендогенними особливостями вікових змін пігментного апарату. Статистично незначиме невелике зростання співвідношення *chl a / chl b* наприкінці вегетації (на 1,68–2,26 %) відзначено у видів *V. carlesii*, *V. plicatum* та *V. farreri*.

Отже, результати дослідження показали, що реакція пігментного комплексу видів калин на посуху визначається перш за все показниками вмісту хлорофілів у тканинах. З огляду на це, доцільно кількісно оцінити вплив факторів середовища, які формують посушливі явища, – температурного режиму та режиму зволоження ґрунту – на вміст фракції фотосинтетично активних пігментів *chl a*.

Для кількісної оцінки внеску факторів гідротермічного стресу була реалізована процедура послідовних апроксимацій, де усереднені значення вмісту *chl a* та вмісту вологи у метровому шарі ґрунту за строками від-

борів проб розглядалися як реперні точки з наступною апроксимацією комбінованими функціями. Динаміка змінень середньодобової температури розглядалася як базова структура у формуванні дискретних інтервалів протягом усього періоду досліджень з травня по вересень. У нашому випадку динаміка представлена добовими змінами температур з досить високим діапазоном коливань навколо трендової кривої. Для згладження цих розкидів застосовували методику виділення трендової кривої, використовуючи методологію векторного Фур'є-аналізу (рис. 4).

За значеннями вмісту вологи в ґрунті також формували трендові криві з таким же дискретним часовим інтервалом (доба), який відповідає часовому інтервалу температурної кривої. З цією метою застосовували метод квадратичних сплайнів за трьома послідовними точками із узгодженням їх значень в точці суміщення з використанням принципу рівності відношення похідних і розрахованих значень апроксимації (рис. 4).

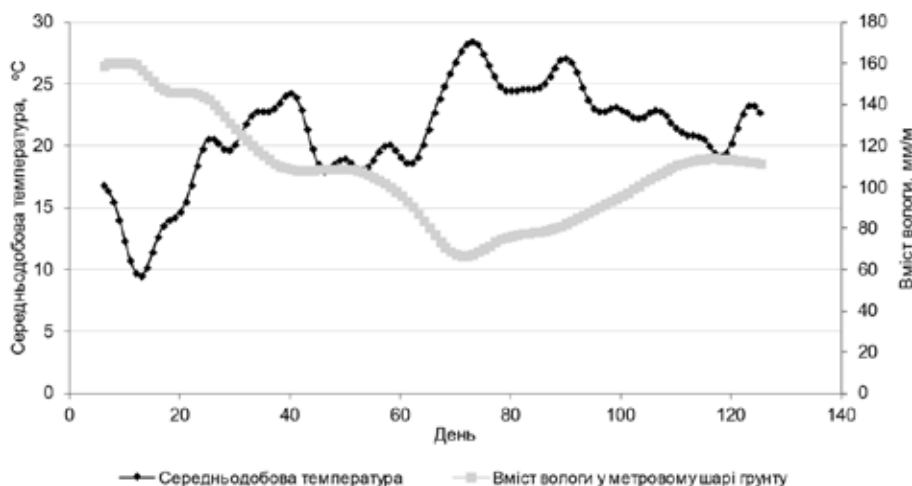


Рис. 4. Виділені тренди факторів температури та вмісту вологи в метровому шарі в ґрунті

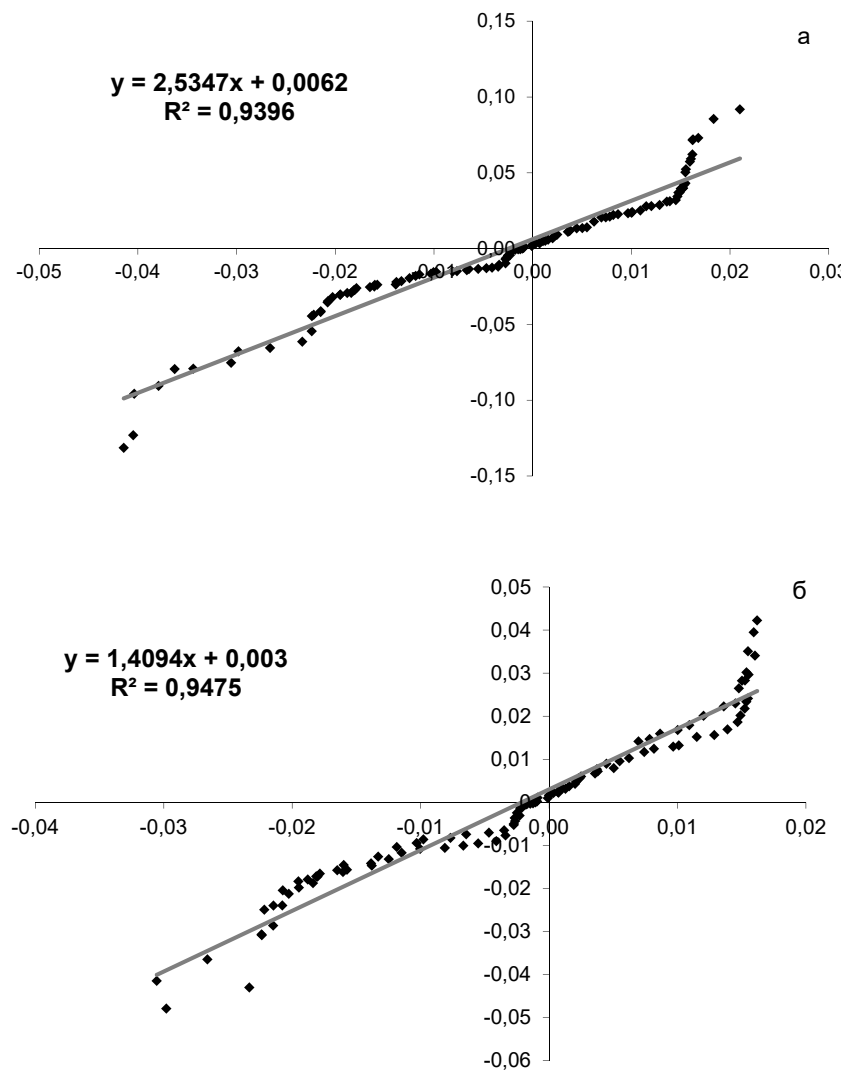
За таким же принципом формували трендову криву за значеннями вмісту *chl a* у листках видів калини за весь період досліджень.

В результаті даних перетворень отримали можливість сумістити розраховані і фактичні значення по кожному часовому інтервалу. Для того, щоб з'ясувати ступінь впливу кожного фактору, формували три часових послідовності – температури, вмісту вологи в ґрунті та вмісту хлорофілу, для чого розраховували нормовані різниці між кожною парою значень в ряду, які мали як додатний, так і від'ємний знак. Отримані ряди нормованих різниць незалежних факторів температури і вмісту вологи в ґрунті формували по мірі зростання їх значень, які далі суміщали з відповідними значеннями нормованих різниць вмісту хлорофілу. Таким чином, отримали регресійні криві, де коефіцієнти лінійної регресії відображають ступінь впливу кожного фактору на вміст хлорофілу (рис. 5).

За результатами регресійного аналізу, на кількісний вміст хлорофілу у листках досліджуваних видів калини найбільший вплив здійснює фактор вмісту вологи в

ґрунті порівняно з температурним фактором. Ступінь впливу зволоженості ґрунту становить 64,3 %, температурного фактору – 35,7 % у формуванні видоспецифічних змін інтегральних величин кількості хлорофілу в умовах тривалого комбінованого гідротермічного стресу.

**Висновки.** В ході досліджень установлені особливості кількісного вмісту хлорофілів, притаманні видам роду *Viburnum*, інтродукованим у Правобережному степу України. За реакцією на умови тривалого водно-температурного стресу виділені види, що відзначаються більшою стабільністю кількісного складу хлорофілів в динаміці вегетаційного періоду (*V. opulus*, *V. trilobum*, *V. lentago*, *V. plicatum*, *V. × bodnantense*). Як показали наші попередні дослідження, стійкість пігментного комплексу цих видів є складовою загального комплексу адаптивних реакцій, що забезпечують витривалість в умовах посухи. Види *V. lantana*, *V. farreri 'fragrans'*, *V. × juddi* виявилися найбільш чутливими до посухи за комплексом показників, у тому числі за вмістом хлорофілів.



**Рис. 5.** Графічні представлення регресійної залежності нормованих різниць значень вмісту хлорофілу і факторів температури (а) та вмісту вологи у ґрунті (б)

Співвідношення фракцій *chl a* / *chl b* мало змінюється впродовж вегетаційного періоду району інтродукції, що свідчить про значимість даної функції у забезпеченні життєдіяльності досліджуваних рослин в нових умовах. Установлено, що найбільш високі значення *chl a* / *chl b* притаманні видам східноазіатського походження, нижчі значення характерні для видів з двох інших центрів видового різноманіття калин – середземноморського та атлантично-північноамериканського.

За результатами регресійного факторного аналізу встановлено залежність вмісту *chl a* видів родового комплексу *Viburnum* L. від факторів середовища, які формують посушливі явища – значний вплив режиму зволоження ґрунту, що обумовлюється кількістю опадів, внесок якого оцінюється 64,3 %, та середньодобової температури із внеском 35,7 % в інтегральні величини кількісного вмісту хлорофілу.

#### Література:

1. Jafari, S., Hashemi Garmdareh, S. E., & Azadegan, B. Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*. 2019. 253, 128–133. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.033>
2. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., Chen, S. Response Mechanism of Plants to Drought Stress. *Horticulturae*. 2021. 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
3. Rueda, M., Godoy, O., Hawkins, B.A. Spatial and evolutionary parallelism between shade and drought tolerance explains the distributions of conifers in the conterminous United States. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 2017. 26(1), 31–42. <https://doi.org/10.1111/geb.12511>
4. Wang, F., Harindintwali, J.D., Wei, K., Shan, Y., Mi, Z., Costello, M.J., Grunwald, S., Feng, Z., Wang, F., Guo, Y., Wu, X., Kumar, P., K€astner, M., Feng, X., Kang, S., Liu, Z., Fu, Y., Zhao, W., Ouyang, C., Tiedje, J.M. Climate change: strategies for mitigation and adaptation. *Innovation Geoscience*. 2023. 1(1), 100015. <https://doi.org/10.59717/j.xinn-geo.2023.100015>
5. Oishy, M. N., Shemonty, N. A., Fatema, S. I., Mahbub, S., Mim, E. L., Hasan Raisa, M. B., Anik, A.H. Unravelling the effects of climate change on the soil-plant-atmosphere interactions: A critical review. *Soil & Environmental Health*. 2025. 3(1), 100130. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2025.100130>
6. Голікова, М., Зайцева І. Структурно-функціональні особливості адаптації видів роду *Acer* в умовах степового Придніпров'я. *Biosystems Diversity*. 2009. 17, 30–36. <https://doi.org/10.15421/010942>
7. Колодяженська, Т.І. Порівняльна оцінка посухостійкості мезофанерофітів роду *Juniperus* L. в умовах Лісо-степу України. *Інтродукція рослин*. 2013. 4, 92–97.
8. Горілов, О. М. Порівняльна оцінка посухостійкості верб з колекції Національного ботанічного саду імені М. М. Гришка. *Інтродукція рослин*. 2016. 2, 25–34.
9. Зайцева, І.О. Кількісна оцінка посухостійкості інтродуцентів роду *Syringa* L. в умовах Степового Придніпров'я. Питання степового лісознавства та лісової рекультивациї земель. 2017. 46, 76–81. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.03.251>
10. Косаківська, І. В., Войтенко, Л. В., Васюк, В. А., Щербатюк, М. М. Морфологічні, фізіологічні і молекулярні складові адаптаційної відповіді представників роду *Quercus* (Fagaceae) на посуху. *Укр. ботанічний журнал*. 2023. 80(3), 251–266. <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.03.251>
11. Зайцева І.О., Гудімов М.І. Водний статус інтродукованих видів роду *Viburnum* L. в ксеротермних умовах Правобережного степу України. *Наукові записки НДУ ім. М. Гоголя. Біологічні науки*. 2025. 4, 7–16. <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2025-BN-4-7-16>
12. Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*. 2009. 103(4), 551–560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>
13. Contran, N., Günthardt-Goerg, M. S., Kuster, T. M., Cerana, R., Crosti, P., Paoletti, E. Physiological and biochemical responses of *Quercus pubescens* to air warming and drought on acidic and calcareous soils. *Plant Biology*. 2013. 15, 157–168. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00627>
14. Jafarnia, S., Akbarinia, M., Hosseinpour, B., Sanavi, S. A., Salami, S. A. Effect of drought stress on some growth, morphological, physiological, and biochemical parameters of two different populations of *Quercus brantii*. *Forest – Biogeosciences and Forestry*. 2018. 11, 212–220. <https://doi.org/10.3832/for2496-010>
15. Peguero-Pina, J. J., Sancho-Knapik, D., Morales, F., Flexas, J., Gil-Pelegrin, E. Differential photosynthetic performance and photoprotection mechanisms of three Mediterranean evergreen oaks under severe drought stress. *Functional Plant Biology*. 2009. 36(5), 453–462. <https://doi.org/10.1071/FP08297>
16. Alonso, R., Elvira, S., González-Fernández, I., Calvete, H., García-Gómez, H., Bermejo, V. Drought stress does not protect from ozone effects: results from a comparative study of two subspecies differing in ozone sensitivity. *Plant Biology*. 2014. 16(2), 375–384. <https://doi.org/10.1111/plb.12073>
17. Cotrozzi, L., Remorini, D., Pellegrini, E., Landi, M., Massai, R., Nali, C., Guidi, L., Lorenzini, G. Variations in physiological and biochemical traits of oak seedlings grown under drought and ozone stress. *Physiologia Plantarum*. 2016. 157(1), 69–84. <https://doi.org/10.1111/ppl.12402>
18. Toscano, S., Ferrante, A., Romano, D., & Tribulato, A. Interactive effects of drought and saline aerosol stress on morphological and physiological characteristics of two ornamental shrub species. *Horticulturae*. 2021. 7, 517. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120517>
19. Muhammad, I., Shalmani, A., Ali, M., Yang, Q., Ahmad, H., Li, F. B. Mechanisms regulating the dynamics of photosynthesis under abiotic stresses. *Front. Plant Sci*. 2021. 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.615942>

20. Zahra, N., Hafeez, M.B., Ghaffar, A., Kausar, A., Zeidi, M. A., Siddique, K. H., Farooq, M. Plant photosynthesis under heat stress: effects and management. *Environ. Exp. Bot.* 2023. 206, 105178. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105178>
21. Цилорик, О. І., Остапчук, Я. В. Вміст хлорофілу та фотосинтетична активність соняшнику під впливом регуляторів росту рослин в посівах соняшнику. *Таврійський науковий вісник*. 2020. 134, 195–185. <https://doi.org/10.32782/2226-0099.2023.134.24>
22. Svitlana O. Volodarets, Iryna O. Zaytseva, Olexander Z. Gluchov, Anna S. Maslak. Assessments of Trees Vitality in the Urban Landscape of Steppe Zone. *Ecologia Balkanica*. 2020. 12(1), 41–56. [http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020\\_vol12\\_iss1/041-056\\_eb.19152.pdf](http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020_vol12_iss1/041-056_eb.19152.pdf)
23. Василик, Ю. В., Лушак, В. І. Вплив високих концентрацій хлориду натрію на вміст пігментів та вільнорадикальні процеси у листках проростків кукурудзи. *Укр. біохім. журнал*. 2011. 83(4), 94–103.
24. Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., Bernard, L. ClimateCharts.net – an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*. 2021. 14(3), 338–356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>
25. Методика проведення агрохімічної паспортизації земель сільськогосподарського призначення: керівний нормативний документ. За ред. Яцука І. П., Балюка С. А. Київ. 2019. 108 с.
26. Меженський, В. М. Меженська, Л. О. Класифікація *Viburnum* L. – Калина. Систематика і класифікація плодів рослин: монографія. Київ: Ліра-К. 2017. 583–605.
27. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. 2024. <https://powo.science.kew.org/>
28. Khaleghi E., Arzani K., Moallemi N., Barzegar M. Evaluation of Chlorophyll Content and Chlorophyll Fluorescence Parameters and Relationships between Chlorophyll a, b and Chlorophyll Content Index under Water Stress in *Olea europaea* cv. Dezful. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*. 2012. 6(8), 636-639. <https://scholar.waset.org/1307-6892/14028>
29. Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. Drought Tolerance in Plants: Physiological and Molecular Responses. *Plants*. 2024. 13(21), 2962. <https://doi.org/10.3390/plants13212962>
30. Зайцева І.О., Гудімов М.І., Сироватко В.О. Оцінка стабільності функціонального стану родового комплексу *Viburnum* L. в умовах гідротермічного стресу на основі ентропійних характеристик. *Екологія та ноосферологія*. 2025. 36(2), 70–80. <https://doi.org/doi:10.15421/032509>

#### References:

1. Jafari, S., Hashemi Garmdareh, S. E., & Azadegan, B. (2019). Effects of drought stress on morphological, physiological, and biochemical characteristics of stock plant (*Matthiola incana* L.). *Scientia Horticulturae*, 253, 128–133. <http://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.04.033>
2. Yang, X., Lu, M., Wang, Y., Wang, Y., Liu, Z., Chen, S. (2021). Response Mechanism of Plants to Drought Stress. *Horticulturae*, 7(3), 50. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7030050>
3. Rueda, M., Godoy, O., Hawkins, B.A. (2017). Spatial and evolutionary parallelism between shade and drought tolerance explains the distributions of conifers in the conterminous United States. *Glob. Ecol. Biogeogr.* 26(1), 31–42. <https://doi.org/10.1111/geb.12511>
4. Wang, F., Harindintwali, J.D., Wei, K., Shan, Y., Mi, Z., Costello, M.J., Grunwald, S., Feng, Z., Wang, F., Guo, Y., Wu, X., Kumar, P., Kęstner, M., Feng, X., Kang, S., Liu, Z., Fu, Y., Zhao, W., Ouyang, C., Tiedje, J.M. (2023). Climate change: strategies for mitigation and adaptation. *Innovation Geoscience*, 1(1), 100015. <https://doi.org/10.59717/j.xinngeo.2023.100015>
5. Oishy, M. N., Shemonty, N. A., Fatema, S. I., Mahbub, S., Mim, E. L., Hasan Raisa, M. B., Anik, A.H. (2025). Unravelling the effects of climate change on the soil-plant-atmosphere interactions: A critical review. *Soil & Environmental Health.* 3(1), 100130. <https://doi.org/10.1016/j.seh.2025.100130>
6. Holikova, M., Zaitseva, I. (2009). Strukturno-funktsionalni osoblyvosti adaptatsii vydivu rodu Acer v umovakh stepovoho Prydniprovia [Structural and functional features of adaptation of species of the genus Acer in the conditions of the steppe Dnieper region]. *Biosystems Diversity*, 17, 30–36 [in Ukrainian]. <https://doi.org/10.15421/010942> [in Ukrainian]
7. Kolodiazhenska, T. I. (2013). Porivnialna otsinka posukhostiikosti mezofanerofitiv rodu Juniperus L. v umovakh Lisostepu Ukrainy [Comparative assessment of drought tolerance of mesophanerophytes of the genus Juniperus L. in the conditions of the forest-steppe of Ukraine]. *Plant Introduction*, 4, 92–97 [in Ukrainian]
8. Horielov, O. M. (2016). Porivnialna otsinka posukhostiikosti verb z koleksii Natsionalnoho botanichnoho sadu imeni M. M. Hryshka [Comparative assessment of drought resistance of willows from the collection of the M. M. Grishko National Botanical Garden]. *Plant Introduction*, 2, 25–34 [in Ukrainian].
9. Zaitseva, I. O. (2017). Kilkisna otsinka posukhostiikosti introdutsentiv rodu Syringa L. v umovakh Stepovoho Prydniprovia. [Quantitative assessment of drought tolerance of introduced species of the genus Syringa L. in the conditions of the Steppe Dnieper region]. *Pytannia stepovoho lisoznavstva ta lisovoi rekultyvatsii zemel*, 46, 76–81 [in Ukrainian]
10. Kosakivska, I. V., Voitenko, L. V., Vasiuk, V. A., Shcherbatiuk, M. M. (2023). Morfolohichni, fiziologichni i molekuliarni skladovi adaptatsiinoi vidpovidi predstavnykiv rodu Quercus (Fagaceae) na posukhu [Morphological, physiological, and molecular components of the adaptive response to drought in the genus Quercus (Fagaceae)]. *Ukrainian Botanical Journal*, 80(3), 251–266 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.15407/ukrbotj80.03.251>
11. Zaitseva I.O., Hudimov M.I. (2025). Vodnyi status introdukovanykh vydivu rodu Viburnum L. v kserotermnykh umovakh Pravoberezhnoho stepu Ukrainy [Water status of introduced species of the genus Viburnum L. in xerothermic conditions of the Right-bank Steppe of Ukraine]. *Naukovi zapysky NDU im. M. Hoholia. Biologichni nauky*, 4, 7–16 [in Ukrainian] <https://doi.org/10.31654/2786-8478-2025-BN-4-7-16>

12. Chaves, M. M., Flexas, J., Pinheiro, C. (2009). Photosynthesis under drought and salt stress: regulation mechanisms from whole plant to cell. *Annals of Botany*, 103(4), 551–560. <https://doi.org/10.1093/aob/mcn125>.
13. Contran, N., Günthardt-Goerg, M. S., Kuster, T. M., Cerana, R., Crosti, P., Paoletti, E. (2013). Physiological and biochemical responses of *Quercus pubescens* to air warming and drought on acidic and calcareous soils. *Plant Biology*, 15, 157–168. <https://doi.org/10.1111/j.1438-8677.2012.00627>.
14. Jafarnia, S., Akbarinia, M., Hosseinpour, B., Sanavi, S. A., Salami, S. A. (2018). Effect of drought stress on some growth, morphological, physiological, and biochemical parameters of two different populations of *Quercus brantii*. *Forest – Biogeosciences and Forestry*, 11, 212–220. <https://doi.org/10.3832/for2496-010>
15. Peguero-Pina, J. J., Sancho-Knapik, D., Morales, F., Flexas, J., Gil-Pelegri, E. (2009). Differential photosynthetic performance and photoprotection mechanisms of three Mediterranean evergreen oaks under severe drought stress. *Functional Plant Biology*, 36(5), 453–462. <https://doi.org/10.1071/FP08297>
16. Alonso, R., Elvira, S., González-Fernández, I., Calvete, H., García-Gómez, H., Bermejo, V. (2014). Drought stress does not protect from ozone effects: results from a comparative study of two subspecies differing in ozone sensitivity. *Plant Biology*, 16(2), 375–384. <https://doi.org/10.1111/plb.12073>
17. Cotrozzi, L., Remorini, D., Pellegrini, E., Landi, M., Massai, R., Nali, C., Guidi, L., Lorenzini, G. (2016). Variations in physiological and biochemical traits of oak seedlings grown under drought and ozone stress. *Physiologia Plantarum*, 157(1), 69–84. <https://doi.org/10.1111/ppl.12402>
18. Toscano, S., Ferrante, A., Romano, D., & Tribulato, A. (2021). Interactive effects of drought and saline aerosol stress on morphological and physiological characteristics of two ornamental shrub species. *Horticulturae*, 7, 517. <https://doi.org/10.3390/horticulturae7120517>
19. Muhammad, I., Shalmani, A., Ali, M., Yang, Q., Ahmad, H., Li, F. B. (2021). Mechanisms regulating the dynamics of photosynthesis under abiotic stresses. *Front. Plant Sci*, 11. <https://doi.org/10.3389/fpls.2020.615942>
20. Zahra, N., Hafeez, M.B., Ghaffar, A., Kausar, A., Zeidi, M. A., Siddique, K. H., Farooq, M. (2023). Plant photosynthesis under heat stress: effects and management. *Environ. Exp. Bot.*, 206, 105178. <https://doi.org/10.1016/j.envexpbot.2022.105178>
21. Tsyliuryk, O. I., Ostapchuk, Ya. V. (2020). Vmist khlorofilu ta fotosyntetychna aktyvnist soniashnyku pid vplyvom rehuliatoriv rostu roslyn v posivakh soniashnyku [Chlorophyll content and photosynthetic activity of sunflower under the influence of plant growth regulators in sunflower crops]. *Tavriiskyi naukovyi visnyk*, 134, 195–185. <https://doi.org/10.3278/2/2226-0099.2023.134.24> [in Ukrainian]
22. Svitlana O. Volodarets, Iryna O. Zaytseva, Olexander Z. Gluchov, Anna S. Maslak. (2020). Assessments of Trees Vitality in the Urban Landscape of Steppe Zone. *Ecologia Balkanica*, 12(1), 41–56. [http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020\\_vol12\\_iss1/041-056\\_eb.19152.pdf](http://web.uni-plovdiv.bg/mollov/EB/2020_vol12_iss1/041-056_eb.19152.pdf)
23. Vasylyk, Yu. V., Lushchak, V. I. (2011). Vplyv vysokoykh kontsentratsii khlorodyu natriiu na vmist pihmentiv ta vilnoradykalni protsesy u lystkakh prorostkiv kukurudzzy [The effect of high concentrations of sodium chloride on the pigment content and free radical processes in the leaves of corn seedlings]. *Ukr. biokhim. zhurnal*, 83(4), 94–103 [in Ukrainian]
24. Zepner, L., Karrasch, P., Wiemann, F., Bernard, L. (2021). Climate Charts.net – an interactive climate analysis web platform. *International Journal of Digital Earth*, 14(3), 338–356. <https://doi.org/10.1080/17538947.2020.1829112>
25. Metodyka provedennia ahrokhimichnoi pasportyzatsii zemel silskohospodarskoho pryznachennia: kerivnyi normatyvnyi dokument (2019). [Methodology for conducting agrochemical certification of agricultural lands: a guiding regulatory document]. Za red. Yatsuka I. P., Baliuka S. A. Kyiv, 108 s. [in Ukrainian]
26. Mezhenkyi, V. M., Mezhenka, L. O. (2017). Klasyfikatsiia Viburnum L. – Kalyna. Systematyka i klasyfikatsiia plodovykh roslyn: monohrafiia [Classification of *Viburnum* L. Systematics and classification of fruit plants: monograph.]. Kyiv: Lira-K, 583–605. [in Ukrainian]
27. Plants of the World Online. Royal Botanic Gardens, Kew. 2024. <https://powo.science.kew.org/>
28. Khaleghi E., Arzani K., Moallemi N., Barzegar M. (2012). Evaluation of Chlorophyll Content and Chlorophyll Fluorescence Parameters and Relationships between Chlorophyll a, b and Chlorophyll Content Index under Water Stress in *Olea europaea* cv. Dezful. *International Scholarly and Scientific Research & Innovation*, 6(8), 636-639. <https://scholar.waset.org/1307-6892/14028>
29. Haghpanah, M., Hashemipetroudi, S., Arzani, A., & Araniti, F. (2024). Drought Tolerance in Plants: Physiological and Molecular Responses. *Plants*, 13(21), 2962. <https://doi.org/10.3390/plants13212962>
30. Zaitseva I.O., Hudimov M.I., Syrovatko V.O. (2025). Otsinka stabilnosti funktsionalnoho stanu rodovoho kompleksu *Viburnum* L. v umovakh hidrotermichnoho stresu na osnovi entropiinykh kharakterystyk [Assessment of the stability of the functional state of the *Viburnum* L. genus complex under conditions of hydrothermal stress based on entropic characteristics]. *Ekolohiia ta noosferolohiia*, 36(2), 70–80. <https://doi.org/doi:10.15421/032509> [in Ukrainian]

Дата першого надходження статті до видання: 24.02.2026

Дата прийняття статті до друку після рецензування: 24.03.2026

Дата публікації (оприлюднення) статті: 08.05.2026