

УДК 634.71:58.056: 581.52 (477.63)

[https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.2\(55\).320487](https://doi.org/10.18524/2077-1746.2024.2(55).320487)

Ю. С. Юхименко, н.с., к.б.н.; <https://orcid.org/0000-0001-9510-9153>

О. В. Данильчук, м.н.с., к.б.н.; <https://orcid.org/0009-0005-4909-1729>

Л. І. Бойко, с.н.с., к.б.н.; <https://orcid.org/0000-0002-1812-5114>

Криворізький ботанічний сад НАН України

Відділ інтродукції та акліматизації рослин, вул. Ботанічна, 50, м. Кривий Ріг, 50089, Україна, e-mail: yukhimenkoj@gmail.com

## ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ПОЧАТОК ЦВІТІННЯ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

З'ясовано, що впродовж 1997–2023 рр. середньорічна температура повітря в умовах Криворіжжя підвищилась на 1,0 °С, річна кількість опадів зменшилась на 32,6 мм (27%). Виявлено, що кліматичні зміни призвели до переміщення фази початку цвітіння на більш ранні строки у п'яти видів листопадних дерев та кущів, які зростають у колекційних насадженнях Криворізького ботанічного саду НАН України. Найбільше зміщення у фенодатах виявлено у *Tilia cordata* Mill. (в середньому на 5 діб).

**Ключові слова:** кліматичні зміни, цвітіння, деревні рослини, Степова зона, Кривий Ріг.

Сучасні зміни клімату формують новий ракурс фенологічних досліджень, тому як сезонні ритми рослин в багаторічному аспекті є важливою характеристикою стану та функціонування екосистем [6, 41, 42]. Сезонні ритми розвитку беруть участь у пристосованості рослин до умов довкілля і є адаптивною ознакою, схильною до швидкого розвитку в умовах нестабільного клімату, та ключовою рисою у формуванні розподілу видів [19]. Кліматичні зміни впливають на сезонні процеси рослин і викликають переміщення фенодат, що підтверджується багатьма дослідниками [25, 29, 32, 35, 38, 41]. Подальше потепління клімату може вплинути на біорізноманіття певного місцезростання, та цілком ймовірно, що деякі види, як аборигенні, так і інтродуковані, можуть за таких умов отримати переваги для свого розселення, або, навпаки, привести до зникнення [19, 41]. Існують свідчення того, що кліматичні зміни останніх десятиліть виявилися сприятливими для деяких видів і дозволили їм розповсюджуватися в регіони, де раніше вони не мали шансів на виживання й відтворення. У європейських розплідниках зростають численні види та культивари, які в останні десятиріччя виживають в регіонах на 1000 км північніше, ніж вони раніше могли бути висаджені, наслідком чого може бути значна зміна складу та структури дендронасаджень в урбанізованому середовищі [42].

За даними відомих учених-кліматологів у ХХ ст. відбулося підвищення температури повітря Землі на 0,3–0,6°С, і цей період потепління є досить довгостроковим [21, 22, 27]. Температурні зміни повітря в Степовій зоні України

відбуваються приблизно так, як і в цілому на планеті [4, 16]. У другій половині 1940-х років середньорічна температура повітря становила 7,8°C, у 1990-х роках – 8,4°C, 2000–2010 рр. – 9,1°C, у 2010–2020 рр. – 10,5°C [12].

Моделювання характеру клімату для території України свідчить про те, що зростання температури повітря загалом й надалі триватиме. Подальша зміна кількості опадів протягом року призводитиме до зміщення кліматичних сезонів, зміни тривалості вегетаційного періоду рослин, зменшення тривалості залягання стійкого снігового покриву, зміни водних ресурсів місцевого стоку тощо. Збереження різноманіття видів деревно-кущових рослин за наявності кліматичних змін передбачає їх адаптацію на основі генетичної та фенотипічної варіативності, тому актуальним є вивчення особливостей пристосування рослин до кліматичних факторів певних місцезростань. Небажані наслідки впливу глобального потепління у сполученні з дією аерополітантів в умовах промислового міста можна виявити методом фенології, яка пов'язана з екологічними, фізіологічними, біохімічними процесами тощо [7]. Водний дефіцит, викликаний частими посухами і високою температурою повітря впродовж майже всього вегетаційного періоду, призводить до дисбалансу у функціонуванні рослинного організму. Тому важливо визначити відповідну реакцію деревних рослин на глобальні кліматичні зміни і аналітично оцінити їх стан в сучасних екологічних умовах. Цільове використання дендрологічних ресурсів з урахуванням кліматичних змін, наслідків техногенезу і соціально-економічного розвитку промислових регіонів Степової зони України представляється одним з напрямків вирішення проблеми призупинення прогресуючої деградації ландшафтів та оптимізації довкілля. Такі дослідження дозволять поглибити теоретичні основи адаптації деревних рослин та розробити критерії добору рослин з підвищеною толерантністю до мінливих умов середовища місцезростання видів [8].

Виходячи з цього, актуальним залишається визначення впливу кліматичних змін в умовах степової зони України на феноритміку деревних рослин.

*Мета роботи* – вивчення впливу кліматичних змін на початок цвітіння деревних рослин в умовах промислового регіону Степової зони України.

## Матеріали і методи

Матеріалом для дослідження початку цвітіння рослин, яке проводилося з 1997 по 2023 роки, слугували п'ять видів листопадних деревних рослин, які зростають в колекції Криворізького ботанічного саду НАН України: *Acer platanoides* L., *Tilia cordata* Mill., *Forsythia europaea* Degen & Bald., *Spiraea × vanhouttei* (Briot) Zabel, *Crataegus submollis* Sarg. Було обрано по 25 екз. кожного виду віком 30–35 років.

Визначення початку фази цвітіння Ц4 визначали за такою ознакою – віночок квітки повністю розкрився, дата фіксується при розкриванні перших квіток. Фенодати фаз цвітіння обраних видів аналізували методом переводу дат у

безперервний ряд чисел починаючи з першого березня. Динаміка температур упродовж 1997–2023 рр. досліджувалась за даними інтернет-ресурсу [12], де були взяті середньодобові, середньомісячні, середньорічні температури повітря (°C) і суми опадів (мм). Дані з накопичення позитивних (понад 0 °C), ефективних (понад 5 °C) та активних температур (понад 10 °C) характеризували методом їх додавання після стійкого переходу середньодобових температур через 0, 5, 10°C.

Кривий Ріг належить до регіонів з дуже сильним техногенним навантаженням, де головною містоутворюючою галуззю є чорна металургія. Висока концентрація виробництва на обмеженому просторі зумовлює складну екологічну ситуацію, яка поглиблюється посушливістю кліматичних умов. Територія Криворіжжя розташована в Степовій зоні, Північностеповій підзоні [9]. Клімат Криворізького регіону недостатньо зволожений з амплітудою абсолютних температур більше 70 °C.

Сума опадів за вегетаційний період складає близько 250 мм, а за рік – 400–460 мм. Середній показник випаровування для Кривого Рогу становить 740 мм, а середній коефіцієнт зволоження – 0,54. Вищенаведені дані характеризують цей регіон як територію з недостатнім і нестійким зволоженням. Сумарний річний дефіцит зволоження складає в середньому 481 мм [5]. Вегетаційний період в Північностеповій підзоні України (з температурою вище +5 °C) за даними гідрометеослужби триває 215–220 днів.

Коефіцієнт варіації розраховували за формулою:

$$CV = \sigma/M,$$

де  $\sigma$  – середнє квадратичне відхилення,  $M$  – середнє значення. Середнє квадратичне відхилення ( $\sigma$ ) розраховували як квадратний корінь з дисперсії.

Рівняння лінії тренду та достовірність їх апроксимації ( $R^2$ ), а також значення непараметричного коефіцієнту кореляції Спірмена розраховували за допомогою програми Exell 2016.

### Результати дослідження та їх обговорення.

Аналіз отриманих даних стосовно сезонного ритму розвитку в умовах Криворіжжя дозволив встановити, що *Forsythia europaea* зацвітає наприкінці березня – на початку квітня (табл. 1). Дещо пізніше ця фаза спостерігається у *Acer platanoides*, в основному, у другій половині квітня. Початок цвітіння у *Crataegus submollis* найчастіше відбувається у третій декаді квітня, *Spiraea × vanhouttei* – у першій декаді травня, *Tilia cordata* – третій декаді травня – першій декаді червня.

Варіабельність середніх багаторічних величин проаналізованої фенодати у різних видів в умовах Степу України незначна і, як правило, не перевищує 6–10 днів (середнє квадратичне відхилення коливається від 4,3 до 10,0 залежно від виду). Ступінь розсіювання дат початку цвітіння видів можна класи-

фікувати як середній, однак у видів *Tilia cordata*, *Crataegus submollis*, *Spiraea* × *vanhouttei* коефіцієнт варіації наближується до незначного (5,3–7,4%) в порівнянні з *Forsythia europaea* (30%), що говорить про більшу залежність ранньоквітучих рослин від метеопоказників березня. Чим більше значення  $\sigma$ , тим більше варіабельність фази, ширше амплітуда її мінливості. Менші значення  $\sigma$  характеризують стабільність настання строків початку фази і говорять про значний консерватизм рослин. В першому випадку (високі значення  $\sigma$ ) рослинам притаманна достатня пластичність, що дозволяє їм пристосуватися до нових умов [2].

Таблиця 1

**Середньорічні дати початку цвітіння деяких видів дерев та кущів  
в умовах Криворіжжя (27 років спостережень)**

Вид	n	Початок цвітіння			
		Середня дата (1997–2023 рр.)	Межі	$\sigma$	CV,%
<i>Acer platanoides</i>	25	15.04±1,00	10.04 – 1.05	5,1	11,0
<i>Crataegus submollis</i>	25	28.04±0,84	20.04–8.05	4,3	7,4
<i>Forsythia europaea</i>	25	5.04±2,05	20.03 – 20.04	10,0	30,0
<i>Spiraea</i> × <i>vanhouttei</i>	25	7.05±0,69	1.05 – 13.05	3,6	5,3
<i>Tilia cordata</i>	25	30.05±1,06	21.05–10.06	5,5	6,0

Найбільша різниця між найраннішими та найпізнішими датами початку цвітіння визначена у *Forsythia europaea* – 30 днів, тоді як у *Acer platanoides* – 21 день, *Crataegus submollis* та *Tilia cordata* – 18 днів, *Spiraea* × *vanhouttei* – 12 днів.

Оцінка погодних флуктуацій за 27 років спостережень (1997–2023 рр.) показала підвищення середньомісячної температури повітря майже у всіх місяцях (табл. 2). Різниця між показниками становить від 0,6 °C до 1,5°C. Найвідчутніший вплив на початок вегетації та цвітіння чинять метеоумови лютого та березня, які значно потеплішали, а найбільше серед весняних місяців потеплішав травень, у якому в окремі роки вже починаються посухи. Без суттєвих змін температурного режиму залишились січень та жовтень.

Середня річна температура повітря за 2010–2023 рр. збільшилась на 1,0 °C порівняно з періодом 1997–2009 рр.

Середні значення суми опадів впродовж останніх 27 років знизилась у червні на 21,4 мм, у березні, липні, серпні, жовтні – на 4,3 – 9,7 мм (табл. 1). Збільшення кількості опадів відмічено у квітні на 24 мм, у січні, лютому, травні, грудні – на 0,4 – 5,2 мм. Такий перерозподіл опадів призвів до більшого зволо-

Таблиця 2

**Зміни кліматичних показників для Криворіжжя  
упродовж 1997–2023 рр.**

Місяць	Середня температура повітря, °С			Сума опадів, мм <sup>2</sup>		
	1997–2009	2010–2023	Різниця	1997–2009	2010–2023	Різниця
I	-2,9	-3,5	-0,6	29,7	30,1	+0,4
II	-2,1	-1,1	+1,0	26,9	27,9	+1,0
III	2,8	3,7	+0,9	35,8	26,1	-9,7
IV	10,1	10,7	+0,6	22,0	46,0	+24,0
V	15,8	17,1	+1,3	49,0	54,2	+5,2
VI	19,8	21,6	1,8	69,7	48,3	-21,4
VII	22,5	23,1	+0,6	59,1	49,8	-9,3
VIII	21,7	23,3	+1,6	35,9	31,6	-4,3
IX	15,4	17,2	+1,8	42,7	33,3	-9,4
X	9,5	9,8	+0,3	35,4	29,7	-5,4
XI	2,9	4,2	+1,3	39,8	32,0	-7,8
XII	-1,7	0,3	+2,0	32,3	36,7	+4,4
За рік	9,5	10,5	1,0	478,3	445,7	32,6

ження у зимовий та весняний період, а в літньо-осінній період – до поглиблення посушливості погодних умов та аномальних температурних проявів.

Для отримання більш узагальненої інформації з флуктуацій метеорологічних даних за період з 1997 по 2023 рр. були побудовані графіки температурного та вологого режимів (рис. 1, 2).

Рисунок 1 демонструє поступове збільшення середньорічних та середньомісячних температур березня з 1997 року, що відбувається здебільшого за рахунок потепління серпня, вересня та грудня. Лінія тренду для середньорічної температури повітря описується рівнянням  $Y = 0,0944x + 8,8046$ , достовірність апроксимації  $R^2 = 0,6546$ . Значний вплив на початок вегетаційного періоду та зв'язаної з ним фази цвітіння деревних рослин чинять метеорологічні умови березня. Лінія тренду для температури у цьому місяці описується рівнянням  $Y = 0,1232x + 1,6826$ , достовірність апроксимації  $R^2 = 0,139$ . Збільшення се-

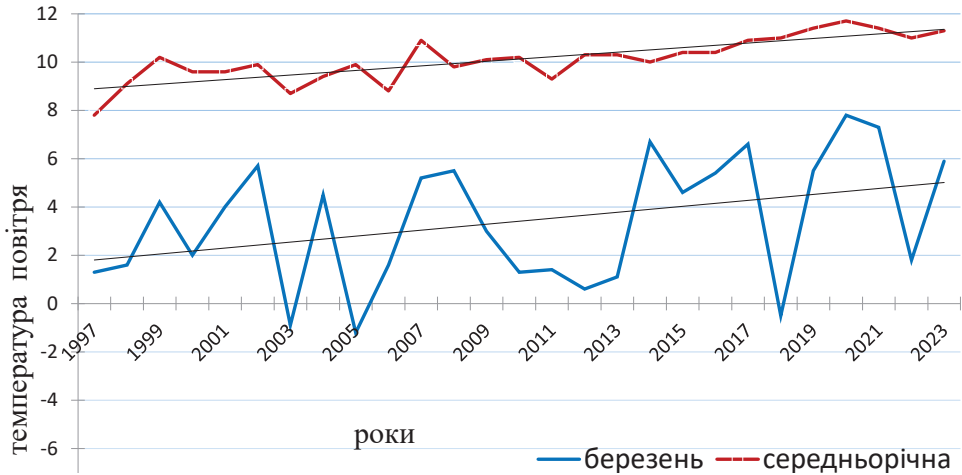


Рис. 1. Зміни середньої температури повітря (°C) за рік та березень у 1997–2023 рр. (м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.)

редньомісячної температури повітря у березні за цей період становить 0,9 °C (24%), за одиничним винятком (-0,5 °C у 2018 році) вона стає плюсовою.

На тлі збільшення температури повітря відбувається зменшення кількості опадів (рис. 2). Лінія тренду для річної кількості опадів описується рівнянням  $Y = -6,9073x + 519,68$ , достовірність апроксимації  $R^2 = 0,1796$ . У 1997–2010 рр.

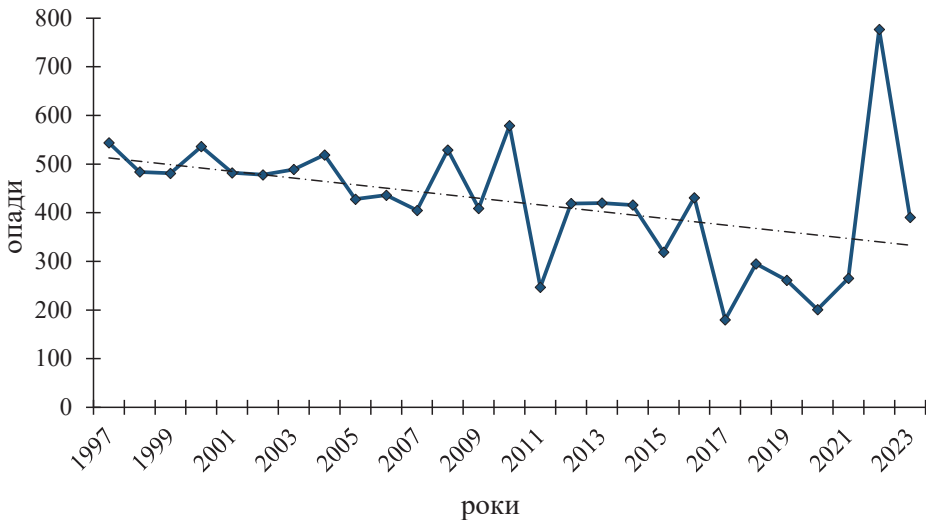


Рис. 2. Зміни суми опадів (мм) за рік, 1997–2023 рр. (м. Кривий Ріг, Дніпропетровська обл.)

кількість опадів зменшилася на 27 % порівняно з 2011–2023 рр (табл. 1). Водночас, у 2022 р зафіксовано максимальну кількість опадів (777,4 мм), яка контрастує з мінімальною у 2017 році (180,0 мм). Найпосушливішими виявилися 2017–2021 рр., коли річні суми опадів коливалися у межах 180,0–295,0 мм. Отже, амплітуда річної кількості опадів зростає, починаючи з 2009 року, але тенденція до поглиблення посушливості кліматичних умов зберігається. Особливо критичним для рослин є недостатня кількість опадів у липні-вересні за умов максимально високих температур повітря. Так, у 2018 році у серпні не було жодного дощу за максимальної температури місяця 37,2 °С, а у вересні-жовтні кількість опадів склала лише 18,2 мм.

Відомості про зміни показників середньомісячної температури та кількості опадів за роками та місяцями свідчать про досить різкі відмінності та відхилення від середніх багаторічних величин. У липні-серпні кількість днів з температурними максимумами вище 35°C буває більше 10, що посилює випаровування. В окремі роки температура повітря може підніматися до 37–40 °С, а середньомісячна температура повітря при цьому перевищує норму на 4–5 °С. Відносна мінімальна вологість повітря може знижуватися до 35–40%, що менше від норми на 20–35%.

Підвищення температури повітря упродовж 1997–2023 рр. вплинуло на дати настання цвітіння досліджуваних видів. Рівняння лінії тренду початку цвітіння для *Forsythia europaea*  $Y = -0,3761x + 39,821$ , *Acer platanoides*  $Y = -0,1838x + 48,313$ , *Crataegus submollis*  $Y = -0,0958x + 60,305$ , *Tilia cordata*  $Y = -0,4731x + 97,587$ , *Spiraea × vanhouttei*  $Y = -0,1172x + 69,53$  (рис. 3). Достовірність апроксимації ( $R^2$ ) ліній тренду графіків, побудованих для *Tilia cordata* найвища і становить 0,4659. Для *Forsythia europaea*, *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Spiraea × vanhouttei* показник менший і становить 0,0769; 0,0759; 0,0293 і 0,0668 відповідно, однак основна тенденція переміщення дат початку цвітіння на більш ранні строки зберігається. При порівнянні середніх багаторічних дат настання цвітіння у 2010–2023 рр. відбувалось раніше за період 1997–2009 рр. у *Forsythia europaea* у середньому на 1,15 доби, *Acer platanoides* – на 1,4 доби, *Spiraea × vanhouttei* – 0,95 доби, *Crataegus submollis* – 0,8 доби, *Tilia cordata* – 5 діб. Отже, у *Tilia cordata* виявлено найбільше переміщення фенодати початку цвітіння, що підтверджується найвищим значенням апроксимації лінії тренду з мінімальною амплітудою її коливань (рис. 3). Найменші переміщення виявлені у *Spiraea × vanhouttei* та *Crataegus submollis*, в яких значення апроксимації мінімальні.

Настання фенологічних фаз у рослин має зв'язок із накопиченням позитивних (вище 0°C), ефективних (вище 5°C) та активних температур (вище 10°C), на що вказують і інші дослідники [3, 11]. Найменшої суми вказаних температур для початку цвітіння потребує *Forsythia europaea*, найбільшої – *Tilia cordata* (табл. 3). Без накопичення ефективних температур вище 5°C може вступати до фази цвітіння *Forsythia europaea*, вище 10°C – *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*.

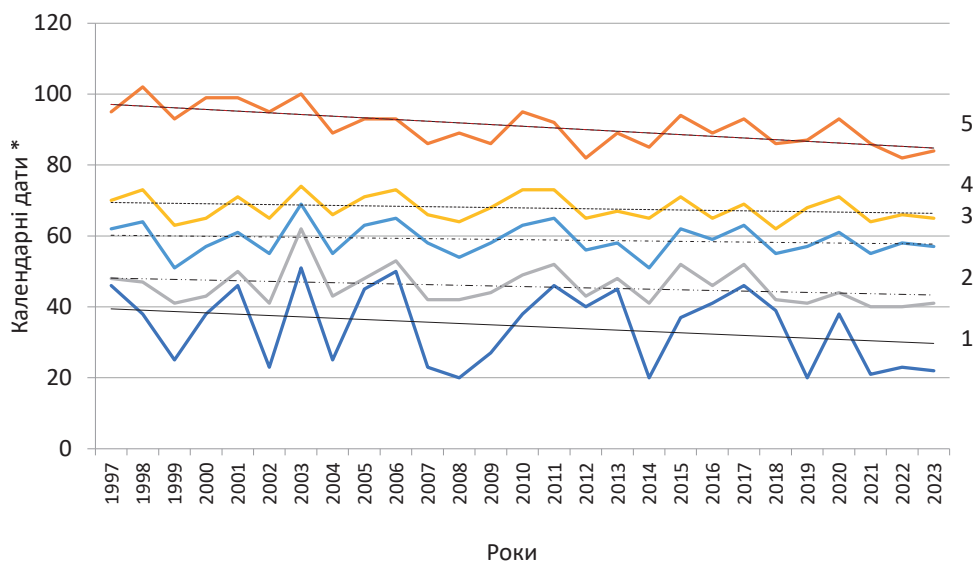


Рис. 3. Початок цвітіння деяких дерев та кущів з лініями трендів в умовах Криворіжжя: 1 – *Forsythia europaea*, 2 – *Acer platanoides*, 3 – *Crataegus submollis*, 4 – *Spiraea × vanhouttei*, 5 – *Tilia*, \* фенодати переведені у безперервний ряд чисел починаючи з першого березня

Таблиця 3

Суми температур вище 0°C, 5°C, 10°C на початок цвітіння  
(27 років спостережень)

Вид	Сума середньодобових температур на початок цвітіння			
	Середня дата (1997–2023 рр.)	>0 °C	>5 °C	>10 °C
<i>Forsythia europaea</i>	5.04	$\frac{69,4-385,5^*}{199,09^{**}}$	$\frac{0-284,1}{113,78}$	$\frac{0-165,8}{33,4}$
<i>Acer platanoides</i>	15.04	$\frac{132,6-421,8}{258,21}$	$\frac{40,8-257,0}{168,37}$	$\frac{0-175,3}{41,77}$
<i>Crataegus submollis</i>	28.04	$\frac{295,7-607,7}{392,57}$	$\frac{139,1-487,6}{306,34}$	$\frac{0-308,9}{145,79}$
<i>Spiraea × vanhouttei</i>	7.05	$\frac{443,7-789,5}{559,18}$	$\frac{338,8-732,6}{465,74}$	$\frac{85,7-414,6}{291,94}$
<i>Tilia cordata</i>	30.05	$\frac{687,4-1059,0}{866,49}$	$\frac{630,5-991,3}{780,07}$	$\frac{372,9-878,9}{609,26}$

Примітка \*: межі значень суми температур, \*\* середнє значення сум температур

Кліматичні зміни впродовж 1997–2023 рр. призвели до більш ранніх строків початку накопичення ефективних (вище 5 °C) та активних (вище 10 °C) температур повітря. У 2010–2023 рр. порівняно з 1997–2009 рр. відмічено зменшен-



ня суми ефективних (на 1,3–8,2 %) та активних (на 3,4–15,2 %) температур на початок цвітіння у всіх досліджених видів. Це говорить про накопичення тепла ще до стійкого переходу через 5 °C та 10 °C, тобто про потепління зимового та рановесняного періодів. Дуже теплі зимові місяці можуть привести до переміщення фенологічних дат на більш ранній термін не зважаючи на температурний режим навесні [24, 31, 33].

За допомогою коефіцієнта кореляції Спірмена була визначена залежність між настанням фенофази початку цвітіння та сумою температур вище 0 °C, 5 °C, 10 °C (табл. 4). У всіх видів встановлений прямий кореляційний зв'язок, крім *Spiraea × vanhouttei*, в якій він є зворотнім у випадку з накопиченням температур вище 0 °C та 10 °C. Достовірним є прямий зв'язок з сумою температур вище 5 °C у *Acer platanoides*, *Crataegus submollis* *Tilia cordata*, а також вище 0 °C – у *Tilia cordata*.

Таблиця 4

**Залежність початку цвітіння від кліматичних факторів  
за період 1997–2023 рр.**

Вид	n	Перехід середньодобової температури			Сума температур на день початку цвітіння		
		>0 °C	>5 °C	>10 °C	>0 °C	>5 °C	>10 °C
<i>Acer platanoides</i>	25	0,290	0,163	0,051	0,275	0,482*	0,120
<i>Crataegus submollis</i>	25	0,260	0,056	0,274	0,314	0,643**	0,118
<i>Forsythia europaea</i>	25	0,546**	0,349	-0,028	0,09	0,257	0,029
<i>Spiraea × vanhouttei</i>	25	0,083	0,016	0,375	-0,039	0,074	-0,413
<i>Tilia cordata</i>	25	0,278	-0,019	0,090	0,554**	0,588**	0,325

Примітка: \* p < 0,05; \*\* p < 0,01.

Також виявлено кореляційну залежність між датами початку цвітіння та датами переходу середньодобової температури через 0 °C, 5 °C, 10 °C (табл. 4), де достовірним значення є лише у *Forsythia europaea* у випадку з переходом через 0 °C. Зворотній зв'язок з переходом через 10 °C виявлено у *Forsythia europaea* та через 5 °C – у *Tilia cordata*.

Отже, погодні умови Криворіжжя стають дедалі теплішими та сухішими. Підвищення посушливості кліматичних умов все більше буде поглиблювати процеси ксерофітизації деревної рослинності, призводити до зміни життєвої форми та біометричних параметрів, патологічних змін росту крон та стовбурів [13, 14]. Поряд з цим на тлі зниження життєвого стану рослин будуть зростати їх ураження фітопатогенами та ентомошкідниками, що буде викликати патології різного характеру [1]. Такі процеси передбачають перегляд існуючого

списку видів та культиварів, перспективних для інтродукції в степовий регіон, розширення та зміну діапазону критеріїв відбору.

Про вплив кліматичних змін на сезонні ритми розвитку вказується у низці робіт українських дослідників [10, 11, 20, 39]. У трав'янистих рослин здебільшого подовжується термін квітування та тривалість вегетаційного періоду, а також змінюються морфологічні параметри [20, 39]. У деревних рослин простежується переміщення весняних фенодат на більш ранні терміни, зокрема початок вегетації, початок цвітіння [10, 11]. Весняні фенологічні процеси більш чутливі до змін температурного режиму, тому відчують найсильнішу трансформацію порівняно з іншими сезонами [26, 29, 34]. Найінформативнішою фенофазою щодо впливу кліматичних змін на рослини є фаза початку цвітіння [10, 18]. Дослідження початку цієї фази у дев'яти видів гарноквітух деревних кущів в умовах Лісо-Степової зони України (Київ) показали значні переміщення на більш ранні терміни упродовж останніх 60 років [11]. Подібна тенденція щодо початку цвітіння була встановлена для чотирьох видів деревних рослин в Степовій зоні України (Артемівськ), де термін дослідження становив 17 років [10].

## Висновки

Згідно з метеорологічними даними в умовах Криворіжжя за період 1997–2023 рр. відбулося поступове збільшення середньорічної температури на 1,0 °С. Потепління клімату як в Україні, так і в інших регіонах планети, підтверджується численними визначеннями вчених-кліматологів.

Виявлені залежності фенодат від кліматичних змін показали, що фаза цвітіння у деревних рослин у колекції Криворізького ботанічного саду НАН України перемістилась на більш ранні терміни.

Сума позитивних температур для кожного окремого виду залишилась незмінною, а суми ефективних та активних температур стали навіть меншими, що говорить про їх накопичення ще до стійкого переходу середньодобової температури через 0°C, 5°C, 10°C, тобто спостерігається потепління зимового та рановесняного періодів.

Кореляційний аналіз між початком цвітіння і сумою температур виявив статистично значущу залежність від температур вище 5 °С у *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Tilia cordata*.

Стаття надійшла до редакції 24.07.2024

## Список використаної літератури

1. Бойко Т.О. Фітосанітарний стан зелених насаджень м. Херсон. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2020. 30 (4). С. 67–72. DOI: <https://doi.org/10.36930/40300412>.
2. Булах П. Е. Фенологические критерии устойчивости в интродукции растений. *Интродукция растений*. 2005. № 4. С. 9–19. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR\\_2005\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2005_4_3).
3. Васюк С.А., Мороз П.А. Интродукция маслины багатоквіткової (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) в Лісостепу України. Повідомлення 1. Морфологічні особливості та сезонний розвиток. *Интродукция растений*. 2005. №2. С. 17–20. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001036888>

4. Дідух Я.П. Екологічні аспекти глобальних змін клімату: Причини, наслідки, дії. *Вісник НАН України*. 2009. № 2. С. 34–44. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2009\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12).
5. Досвід комплексної оцінки та картографування факторів техногенного впливу на природне середовище міст Кривого Рогу та Дніпродзержинська / І.Д. Багрій, А.М. Білоус, Ю.Г. Вилкул та ін.; відпов. ред. В.М. Палій. Інститут геологічних наук НАН України. К.: Фенікс, 2000. 110 с.
6. Єремєєв В. М. Регіональні аспекти глобальної зміни клімату. *Вісник НАН України*. 2003. № 2. С. 24–28. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2003\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2003_2_3).
7. Зайцева І.О., Долгова Л.Г. Фізіолого-біохімічні основи інтродукції деревних рослин в Степовому Придніпров'ї: монографія. Д.: Вид-во Дніпропетр. нац. ун-ту, 2010. 388 с.
8. Закономірності адаптації аборигенних та інтродукованих видів деревних рослин до мінливих умов Степового Придніпров'я / Ю. В. Лихолат, Н.О. Хромих, Л.В. Шупранова, І.М. Коваленко, В.С. Феденко, А.А. Алексєєва. Суми: ФОП Цьома, 2018. 186 с.
9. Маринич О.М., Пархоменко Г.О., Петренко О.М., Шищенко П.Г. Удосконалена схема фізико-географічного районування України. *Український географічний журнал*. 2003. № 1. С. 16–20.
10. Меженський В.М. Кліматичні зміни та їх вплив на деревні рослини на південному сході України. *Промышленная ботаника*. 2009. № 9. С. 56–59. URL: <https://harvester.nas.gov.ua/Record/irk-123456789-9179>.
11. Олексійченко Н.О., Бреус Н.Ю. Залежність початку цвітіння гарнокрітучих кущів від кліматичних змін у районі міста Києва. *Наукові праці Лісівничої академії наук України*. 2013. Вип. 11. С. 126–129. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu\\_2013\\_11\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu_2013_11_21).
12. Сайт погоди. Електронний ресурс. <http://rp5.ua>.
13. Суслєва О.П., Бойко Л.І. Життєвий стан видів роду *Acer* L. в урбосистемах Степової зони України. *Екологічні науки*. 2023. №6 (51). С. 196–201. DOI 10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.3.
14. Юхименко Ю.С. Таксономічний склад і загальний стан роду (*Malus* L.) в колекції Криворізького ботанічного саду НАН України. *Науковий вісник НЛТУ України*. 2023. Т. 33. №6. С. 7–12. DOI: 10.36930/40330601.
15. Bahuguna R.N. Jagadish K.S.V. Temperature regulation of plan phenological development. *Environmental and Experimental Botany*. 2015. № 111. P.83–90. DOI:10.1016/j.envexpbot.2014.10.007.
16. Boychenko S., Voloshchuk V., Movchan Y., Serdjuchenko N., Tkachenko V., Tyshchenko O., Savchenko S. Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*. 2016. №4 (69). P. 96–113. DOI: 10.18372/2306-1472.69.11061.
17. Bramwell D. Plant adaptation and climate change. In: 2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change (29 Juni - 4 July 2008). Programme Book of abstract. The Netherlands, Delft. 2008. 3 pp.
18. Buonaiuto, D. M. & E. M. Wolkovich. Differences between flower and leaf phenological responses to environmental variation drive shifts in spring phenological sequences of temperate woody plants. *Journal of Ecology*. 2021. №109. С. 2922–2933. DOI:10.1111/1365-2745.13708.
19. Chuine I. Why does phenology drive species distribution? *Philosophical transactions of the Royal Society B*. 2010. №365. P. 3149–3160. DOI: 10.1098/rstb.2010.0142.
20. Chypyliak T., Zubrovska O. Features of development of species of the genus *Veronica* L. in the conditions of steppe zone of Ukraine. *The Journal of Slovenian Academy of Sciences and Arts, Scientific Research Centre, Institute of Biology. Hacquetia*. 2022. №21 (1). P. 223–233. DOI: 10.2478/hacq-2021-0025.
21. Climate Change. The Physical Science Basis. – Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Changes UNEP/WMO, 2013. 1552 p. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
22. Climate Change. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland. 2014. 151 p. URL: <http://www.weadapt.org>.
23. Cook, B.I., Wolkovich, E.M. & C. Parmesan. Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 2012. 109 (3). P. 9000–9005. DOI: 10.1073/pnas.111836410.
24. Dentec C.F., Vitasse Y., Bonhomme M., Louvet J. M., Kremer A., Delson S. Chilling and heat requirements for leaf unfolding in European beech and sessile oak populations at the southern limit of their distribution range. *J. Biometeorol.* 2013. №58 (9). P. 1853–1864. DOI 10.1007/s00484-014-0787-z.
25. Dikin E., Proctor H., Jebb M., Sparks T., Donnelly A. The phenology of *Rubus fruticosus* in Ireland: herbarium specimens provide evidence for the response of phenophases to temperature, with implications for climate warming. *International Journal of Biometeorology*. 2012. № 56. P. 1103. DOI:10.1007/s00484-012-0524-z.

26. Ellwood E.R., Temple S.A., Primack R.B., Bradley N.L., Davis C. C. Record-breaking early flowering in the Eastern United States. *PLoS ONE*. 2013. DOI: 10.1371/journal.pone.0053788.
27. Fischlin A. Concern on climate Change // *2<sup>nd</sup> World scientific Congress/ Challenges in Botanical Research and Climate Change*. Programme Book of abstract. 29 Juni – 4 July 2008. Delft, The Netherlands. 2.
28. Fyfe J.C., Gillett N.P. and Zwiers F.W. (2013) Overestimated Global Warming over the Past 20 Years. *Nature Climate Change*. №3. P. 767-769. DOI: 10.1038/nclimate1972
29. Gordo O., Jose J. Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*. 2010. Vol. 16. P. 1082– 1106. DOI:10.1111/j.1365-2486.2009.02084.x.
30. Harfouche A., Meilan R., Alman A. Molecular and physiological responses to abiotic stresses in forest trees and their relevance to tree improvement. *Tree Physiology*. 2014. № 34 (11). P. 1181–1198. DOI: 10.1093/treephys/tpu012.
31. Heide O.M. High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiol*. 2003. Vol. 29. P. 931– 936. DOI: 10.1093/treephys/23.13.931.
32. Ikovich E. M., Cook B. I., Allen J. M., Crimmins T. M., Betancourt J. L., Travers S. E., Pau S., Regetz J., Davies T. J., Kraft N. J., Ault T. R., Bolmgren K., Mazer S. J., McCabe G. J., McGill B. J., Parmesan C., Salamin N., Schwartz M. D., Cleland E. E. Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*. 2012. № 485 (7399). P. 494–497. DOI: 10.1038/nature11014.
33. Luedeling E., Guo L., Dai J., Leslie C., Blanke M.M. Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agric. For. Meteorol.* 2013. Vol. 181. P. 33–42. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.06.018.
34. Menzel A. & Fabian P. Growing season extended in Europe. *Nature*. 1999. Vol. 397. P. 659. DOI: 10.1038/17709.
35. Menzel A. European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 2006. №12. P. 1969–1976. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
36. Mittler R. Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Sci*. 2002. № 7. P. 405–409. DOI: 10.1016/s1360-1385(02)02312-9.
37. Mund M., Kutsch W.L., Wirth C., Kahl T., Knohl A., Skomarkova M.V., Schulze E.D. The influence of climate and fructification on the interannual variability of stream growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forest. *Tree Physiology*. 2010. №30 (6). P. 684–704. DOI: 10.1093/treephys/tpq027.
38. Oerbauer S. F., Elmendorf S. C., Troxler T. G., Hollister R. D., Rocha A. V., Bret-Harte M. S., Dawes, M. A., Fosaa A. M., Henry G. H. R., Høye T. T., Jarrad F. C., Jónsdóttir I. S., Klanderud K., Klein, J. A., Molau U., Rixen, C., Schmidt, N. M., Shaver, G. R., Slider, R. T., Totland, Ø., Wahren, C.-H., Welker J. M. Phenological response of tundra plants to background climate variation tested using the International Tundra Experiment. *Philosophical transactions of the Royal Society B*. 2015. № 368 (1624). P. 1–13. DOI:10.1098/rstb.2012.0481
39. Prokhorova S. & Netsvetov M. Morphological and phenological shifts in the *Plantago lanceolata* L. species as linked to climate change over the past 100 years. *The Journal of Slovenian Academy of Sciences and Arts, Scientific Research Centre, Institute of Biology. Hacquetia*. 2020. №19 (2). P. 293–305. DOI:10.2478/hacq-2020-0006.
40. Sperlich D., Chang C.T., Penuelas J., Gracia C., Sabate S. Seasonal variability of foliar photosynthetic and morphological traits and drought impacts in a Mediterranean mixed forest. *Tree Physiology*. 2015. № 35 (5). P. 501–520. DOI: 10.1093/treephys/tpv017.
41. Sykes M. Climate change impacts: Vegetation. *Encyclopedia of Life Sciences*. 2009. P. 1–11. DOI: 10.1002/9780470015902.a0021227.
42. Van der Veken S., Hermy M., Vellend M., Knepen A., Verheyen K. Garden plants get a head start on climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 2008. № 6 (4). P. 212–216. DOI: 10.1890/070063.
43. Walther G.R., Roques A., Hulme P.E., Sykes M.t., Pysek P., Kuhn I., Zobel M. Alien species in a warmer world: Risks and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution*. 2009. № 24 (12). P. 686–693. DOI: 10.1016/j.tree.2009.06.008.
44. Wilczek A. M., Burghadt L.T., Cobb A.R., Cooper M.D., Welch S.V., Schmitt J. Genetic and physiological bases for phenological responses to current and predicted climates. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 2010. № (365). P. 3129–3147. DOI: 10.1098/rstb.2010.0128.

Ю. С. Юхименко, О. В. Данильчук, Л. І. Бойко

Криворізький ботанічний сад НАН України

Відділ інтродукції та акліматизації рослин, вул. Ботанічна, 50, м. Кривий Ріг, 50089, Україна, e-mail: yukhimenkoj@gmail.com

## ВПЛИВ КЛІМАТИЧНИХ ЗМІН НА ПОЧАТОК ЦВІТІННЯ ДЕРЕВНИХ РОСЛИН У СТЕПОВІЙ ЗОНІ УКРАЇНИ

### Резюме

**Вступ.** За даними відомих учених-кліматологів у ХХ ст. відбулось підвищення температури повітря Землі на 0,3–0,6 °С, і цей період потепління є досить довгостроковим. Температурні зміни повітря в Степовій зоні України відбуваються приблизно так, як і в цілому на планеті. Підвищення температури повітря викликає зсуви сезонного ритму розвитку у рослин різних природних ареалів, що може розглядатись як один з біоіндикаторів змін клімату. Весняні фенологічні процеси більш чутливі до змін температурного режиму, тому відчувають найсильнішу трансформацію порівняно з іншими сезонами. Найінформативнішою фенофазою щодо впливу кліматичних змін на рослини є фаза початку цвітіння. Деревні рослини є важливим компонентом оптимізації урбаноландшафтів і збереження їх різноманіття за наявності кліматичних змін передбачає адаптацію на основі їх генетичної та фенотипічної варіативності. Виходячи з цього, актуальним є вивчення особливостей пристосування їх феноритміки до сучасних кліматичних факторів Степової зони України, які поглиблюються дією аерополітантів підприємств Криворізького регіону.

**Мета.** Вивчення впливу глобальних кліматичних змін на початок цвітіння деревних рослин в умовах промислового міста Степової зони України.

**Методика.** Фіксування дати початку цвітіння проводили за методикою фенологічних спостережень у ботанічних садах. Дослідження кліматичних змін упродовж 1997–2023 рр. проводили за даними інтернет-ресурсу (Сайт погоди. – <http://tr5.ua>). Рівняння лінії тренду та достовірність їх апроксимації ( $R^2$ ), а також значення непараметричного коефіцієнту кореляції Спірмена розраховували за допомогою програми Exell 2016.

**Основні результати.** Результати аналізу метеорологічних даних в умовах Криворіжжя за період 1997–2023 рр. зафіксували поступове збільшення середньорічної температури на 1,2 °С, що призвело до більш ранніх строків накопичення позитивних, ефективних та активних для рослин температур повітря (вище 0, 5, 10 °С відповідно) у весняний період. Доведено, що у зв'язку з цим фаза цвітіння у деревних рослин перемістилась на більш ранні терміни. Лінія тренду для початку цвітіння впродовж 1997–2023 рр. демонструє значне переміщення на більш ранні строки з найвищим значенням апроксимації у *Tilia cordata*. При порівнянні середніх багаторічних дат початок цвітіння у 2010–2023 рр. порівняно з 1997–2009 рр. раніший у *Tilia cordata* на 5,4 доби, для *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Forsythia europaea*, *Spiraea × vanhouttei* ця величина становить від 0,8 до 1,4 доби. Кореляційний аналіз між початком цвітіння і сумою температур виявив найбільшу залежність від температур вище 5 °С – достовірним цей показник є у *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Tilia cordata*.

Кількість опадів зменшилась впродовж 1997–2023 рр. на 27%, що є особливо критичним підчас посух зазвичай у липні-вересні. При зростанні подібних кліматичних змін буде відбуватись поглиблення впливу літньо-осінніх по-

сух на фізіологічний стан рослин, збільшення кількості пилових буревіїв, інтенсивності випаровування, аномальних температурних проявів тощо. Подібні кліматичні прояви здатні внести значні корективи до асортименту деревних рослин, які використовують в озелененні промислових міст Степової зони України. Підвищення посушливості кліматичних умов все більше буде поглиблювати процеси ксерофітизації деревної рослинності, призводити до зміни життєвої форми та біометричних параметрів, а також патологічних змін росту крон та стовбурів. Поряд з цим на тлі зниження життєвого стану рослин будуть зростати їх ураження фітопатогенами та ентомошкідниками, що буде викликати патології різного характеру. Такі процеси передбачають перегляд наявного списку видів та культиварів, перспективних для інтродукції в степовий регіон, розширення та зміну діапазону критеріїв відбору.

**Ключові слова:** кліматичні зміни, цвітіння, деревні рослини, Степова зона, Кривий Ріг.

**Yu. S. Yukhymenko, O. V. Danylchuk, L. I. Boyko**

Kryvyi Rih Botanical Garden of the National Academy of Sciences of Ukraine  
Department of Introduction and Acclimatization of Plants, 50 Botanichna St,  
Kryvyi Rih, 50089, Ukraine, e-mail: yukhimenkoj@gmail.com

## **THE INFLUENCE OF CLIMATE CHANGES ON THE FLOWERING START OF WOODY PLANTS IN THE STEPPE ZONE OF UKRAINE**

### **Summary**

**Introduction.** According to well-known climatologists, the Earth's air temperature increased by 0.3–0.6 °C in the 20th century, and this period of warming is quite long-term. Air temperature changes in the Steppe zone of Ukraine occur approximately as they do on the planet as a whole. An increase in air temperature causes shifts in the seasonal rhythm of development in plants of various natural habitats, which can be considered as one of the bioindicators of climate change. Spring phenological processes are more sensitive to changes in the temperature regime, so they experience the strongest transformation compared to other seasons. The most informative phenophase regarding the impact of climate change on plants is the phase of the beginning of flowering. Woody plants are an important component of optimizing urban landscapes and maintaining their diversity in the presence of climate change requires adaptation based on their genetic and phenotypic variability. Based on this, it is relevant to study the peculiarities of the adaptation of their phenorhythms to the modern climatic factors of the Steppe zone of Ukraine, which are aggravated by the action of air pollutants from the enterprises of the Kryvyi Rih region.

**Aim.** To study of the influence of global climate changes at the beginning of the flowering of woody plants in the conditions of an industrial city in the Steppe zone of Ukraine.

**Methods.** Fixation of the date of the beginning of flowering was carried out according to the method of phenological observations in botanical gardens. The study of climatic changes during 1997–2023 was carried out according to the data of the Internet resource (Weather website – <http://tp5.ua>). The equation of the trend

line and the reliability of their approximation (R<sup>2</sup>) were calculated using the Excel 2016 program. The analysis of the non-parametric Spearman correlation coefficient was performed in the Excel 2016 program.

**Main results.** The results of the analysis of meteorological data in Kryvyi Rih for the period 1997–2023 recorded a gradual increase in the average annual temperature by 1.2 °C, which led to earlier periods of accumulation of positive, effective and active air temperatures for plants (above 0, 5, 10 °C, respectively) in the spring period. It was proven that in connection with this, the flowering phase of woody plants had shifted to earlier periods. The trend line for the beginning of flowering during 1997–2023 shows a significant shift to earlier dates with the highest approximation value for *Tilia cordata*. When comparing the average multi-year dates, the beginning of flowering in 2010–2023 compared to 1997–2009 is earlier for *Tilia cordata* by 5.4 days, for *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Forsythia europaea*, *Spiraea* × *vanhouttei* this value is from 0.8 up to 1.4 days. Correlation analysis between the beginning of flowering and the sum of temperatures revealed the greatest dependence on temperatures above 5 °C – this indicator is reliable in *Acer platanoides*, *Crataegus submollis*, *Tilia cordata*.

The amount of precipitation decreased during 1997–2023 by 27%, which is especially critical during droughts, usually in July–September. With the aggravation of such climatic changes, the influence of summer-autumn droughts on the physiological state of plants will deepen, the number of dust storms, the intensity of evaporation, abnormal temperature manifestations, etc. will increase. Such climatic manifestations are able to make significant adjustments to the range of woody plants used in the landscaping of industrial cities in the Steppe zone of Ukraine. In the future, desertification of this region, displacement of natural zones, which will affect the composition of tree vegetation, is possible. The gradual change in climatic conditions involves the revision of the existing list of species and varieties prospective for introduction into the steppe region, the expansion and change of the range of selection criteria.

**Keywords:** climatic changes, flowering, woody plants, Steppe zone, Kryvyi Rih.

## References

- Boiko, T. O. (2020). Phytosanitary condition of green plantations of Kherson. *Scientific Bulletin of UNFU*. 30. 4. P. 67–72. DOI: 10.36930/40300412. [in Ukrainian].
- Bulakh, P.E. (2005). Phenological criteria of stability in introduction of plants [Fenologicheskie kriterii ustojchivosti v introdukcii rastenij]. *Plants Introduction*. 4. 9–19. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR\\_2005\\_4\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/IR_2005_4_3). [in Ukrainian].
- Vasyuk, E.A., Moroz, P.A. (2005). Introduction of Cherri elaeagnus (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) in the Forest-Step zone of Ukraine. 1st report. Morphological features and seasonal development [Introdukciya maslinki bagatokvitkovoyi (*Elaeagnus multiflora* Thunb.) v Lisostepu Ukrayini. Povidomlennya 1. Morfologichni osoblivosti ta sezonnij rozvitok]. *Plants introduction*. 2. 17–20. URL: <http://jnas.nbuv.gov.ua/article/UJRN-0001036888>. [in Ukrainian].
- Didukh, Y. P. (2009). Ecological aspects of the global climate changes: reasons, consequences and actions [Ekologichni aspekti globalnikh zmin klimatu: Prichini, naslidki, diy]. *News of Ukrainian Academy of Sciences*. 2. 34–44. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2009\\_2\\_12](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2009_2_12). [in Ukrainian].
- Bahrii, I.D., Bilous, A.M., Vylkul, Yu. H., Gozhik P.F., Grishhenko, S.G., Palij, V.M., Kovalenko, I.A., Kuzmenko, O.B., Mayakov, J.D., Antonov, O.M., Mamishev, I.Ye., Kosareczkij, V.V. (2000). Experience of comprehensive assessment and mapping of factors of man-made influence on the natural environment of the cities of Kryvyi Rih and Dniprodzerzhinsk [Dosvid kompleksnoyi otcinki ta kartografuvannya faktoriv tekhnogenogo vplivu na prirodne seredovishhe mist Krivogo Rohu ta Dniprodzerzhinska]. Institute of Geological Sciences of the National Academy of Sciences of Ukraine. Kyiv: Feniks. 112. [In Ukrainian].

6. Yeremeiev, V. & Yefimov, V. (2003). Regional aspects of global climate change. News of Ukrainian Academy of Sciences [Regionalni aspekti globalnoyi zmini klimatu]. 2. 24–28 URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu\\_2003\\_2\\_3](http://nbuv.gov.ua/UJRN/vnanu_2003_2_3). [in Ukrainian].
7. Zajczewa, I.O., Dolgova, L.G. (2010). Physiological and biochemical principles for the introduction of woody plants in the Dnieper Steppe: monograph [Fiziologo-biokhimichni osnovi introdukciyi derevnikh roslin v Stepovomu Pridniprov'yi: monografiya]. Dnipropetrovsk: Vydavnytstvo Dnepropetrovsk National University. 388. [in Ukrainian].
8. Likholat Yu.V., Khromikh N.O., Shupranova L.V., Kovalenko Г.М., Fedenko V.S., Aleksyeyeva A.A. (2018). Adaptation patterns of native and introduced woody plant species under varying conditions of the Dnieper Steppe [Zakonomirnosti adaptaciyi aborigennikh ta introdukovanikh vidiv derevnikh roslin do minlivikh umov Stepovogo Pridniprov'ya]. Sumi: FOP Czjoma. 186. [in Ukrainian].
9. Marinich, O.M., Parkhomenko, G.O., Petrenko, O.M., Shishhenko, P.G. (2003). Improved scheme of physical and geographical zoning of Ukraine [Udoskonalena skhema fiziko-geografichnogo rajonuvannya Ukrayini]. *Ukrainian Geographical Journal*. 1. 16–20. [in Ukrainian].
10. Mezhenkyj, V. M. (2009). Climate changes and their influence on arboreal plants in the South-East of Ukraine [Klimatichni zmini ta yih vpliv na derevni roslini na pivennomu skhodi Ukrayini.]. *Industrial Botany*. 9. 56–59. URL: <https://harvester.nas.gov.ua/Record/irk-123456789-9179>. [in Ukrainian].
11. Oleksiyenko, N.A., Breus, N.Y. (2013). Dependence of the flowering of shrubs from climate change in the region of Kiev [Zalezhnist pochatku cvitinnya garnokvituchih kushhiv vid klimatichnih zmin u rajoni mista Kiyeva]. *Scientific Bulletin of UNFU*. 11. 126–129. URL: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu\\_2013\\_11\\_21](http://nbuv.gov.ua/UJRN/Nplanu_2013_11_21). [in Ukrainian].
12. Reliable Prognosis (2023). [Raspisaniye pogodi Ltd.] <http://rp5.ua>.
13. Suslova O., Boyko L. (2023). Vital state of species of the genus Acer L. in the urban systems of the steppe zone of Ukraine. *Environmental Sciences*. 6 (51). 196–201. DOI 10.32846/2306-9716/2023.eco.6-51.3. [in Ukrainian].
14. Yukhimenko, Yu. S. (2023). Taxonomic composition collection and general state of the genus Malus Mil L. in the Kryvyi Rih Botanical Garden of the NAS of Ukraine. *Scientific Bulletin of UNFU*. 33. 6. 7–12. DOI: 10.36930/40330601. [in Ukrainian].
15. Bahuguna, R.N. & Jagadish, K.S.V. (2015) Temperature regulation of plan phenological development. *Environmental and Experimental Botany*. 111. 83–90. DOI:10.1016/j.enxvexbot.2014.10.007
16. Boychenko, S., Voloshchuk, V., Movchan, Y., Serdjuchenko, N., Tkachenko, V., Tyshchenko, O., Savchenko, S. (2016). Features of climate change on Ukraine: scenarios, consequences for nature and agroecosystems. *Proceedings of the National Aviation University*. 4 (69). 96–113. DOI: 10.18372/2306-1472.69.11061
17. Bramwell, D. (2008). Plant adaptation and climate change. In: *2nd World Scientific Congress Challenges in Botanical Research and Climate Change* (29 Juni - 4 July 2008). Programme Book of abstract. The Netherlands, Delft. 3.
18. Buonaiuto, D. M. & Wolkovich, E. M. (2021). Differences between flower and leaf phenological responses to environmental variation drive shifts in spring phenological sequences of temperate woody plants. *Journal of Ecology*. 109. 2922–2933. DOI:10.1111/1365-2745.13708.
19. Chuine, I. (2010). Why does phenology drive species distribution? *Philosophical transactions of the Royal Society B*. 365. 3149–3160. DOI: 10.1098/rstb.2010.0142.10.1098/rstb.2010.0142.
20. Chypyliak, T. & Zubrovska, O. (2022). Features of development of species of the genus Veronica L. in the conditions of steppe zone of Ukraine. *The Journal of Slovenian Academy of Sciences and Arts, Scientific Research Centre, Institute of Biology*. Hacquetia. 21 (1). 223–233. DOI: 10.2478/hacq-2021-0025.
21. Climate change (2013). The Physical Science Basis. – Working Group I Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Changes UNEP/WMO. 1552. URL: <http://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>.
22. Climate Change (2014). Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp. URL: <http://www.weadapt.org>.
23. Cook, B.I., Wolkovich, E.M. & Parmesan, C. (2012). Divergent responses to spring and winter warming drive community level flowering trends. *Proceedings of the National Academy of Sciences*. 109 (3). P. 9000–9005. DOI: 10.1073/pnas.111836410.
24. Dentec, C.F., Vitasse, Y., Bonhomme, M., Louvet, J. M., Kremer, A., Delson, S. (2013). Chilling and heat requirements for leaf unfolding in European beech and sessile oak populations at the southern limit of their distribution range. *J. Biometeorol.* 58 (9). 1853–1864. DOI 10.1007/s00484-014-0787-z.



25. Dikin, E., Proctor, H., Jebb, M., Sparks, T., Donnelly, A. (2012). The phenology of *Rubus fruticosus* in Ireland: herbarium specimens provide evidence for the response of phenophases to temperature, with implications for climate warming. *International Journal of Biometeorology* 56. 1103. DOI: 10.1007/s00484-012-0524-z.
26. Ellwood, E.R., Temple, S.A., Primack, R.B., Bradley, N.L., Davis, C.C. (2013). Record-breaking early flowering in the Eastern United States. *PLoS ONE*. DOI: 10.1371/journal.pone.0053788.
27. Fischlin, A. (2008). Concern on climate Change. *2<sup>nd</sup> World scientific Congress/ Challenges in Botanical Reserch and Climate Change*. Programme Book of abstract. Delft, The Wetherlands. 2.
28. Fyfe, J.C., Gillett, N.P. and Zwiers, F.W. (2013) Overestimated Global Warming over the Past 20 Years. *Nature Climate Change*. 3. 767–769. DOI: 10.1038/nclimate1972.
29. Gordo, O. & Jose, J. (2010). Impact of climate change on plant phenology in Mediterranean ecosystems. *Global Change Biology*. 16. 1082–1106. DOI:10.1111/j.1365-2486.2009.02084.x
30. Harfouche, A., Meilan, R., Altman, A. (2014). Molecular and physiological responses to abiotic stresses in forest trees and their relevance to tree improvement. *Tree Physiology*. 34 (11). 1181–1198. DOI: 10.1093/treephys/tpu012.
31. Heide, O.M. (2003). High autumn temperature delays spring bud burst in boreal trees counterbalancing the effect of climatic warming. *Tree Physiol*. 29. 931–936. DOI: 10.1093/treephys/23.13.931.
32. Ikovich, E. M., Cook, B. I., Allen, J. M., Crimmins, T. M., Betancourt, J. L., Travers, S. E., Pau, S., Regetz, J., Davies, T. J., Kraft, N. J., Ault, T. R., Bolmgren, K., Mazer, S. J., McCabe, G. J., McGill, B. J., Parmesan, C., Salamin, N., Schwartz, M. D., Cleland, E. E. (2012). Warming experiments underpredict plant phenological responses to climate change. *Nature*. 485 (7399). 494–497. DOI: 10.1038/nature11014.
33. Luedeling, E., Guo, L., Dai, J., Leslie, C., Blanke, M.M. (2013). Differential responses of trees to temperature variation during the chilling and forcing phases. *Agric. For. Meteorol.* 181. 33–42. DOI: 10.1016/j.agrformet.2013.06.018.
34. Menzel, A. & Fabian, P. (1999). Growing season extended in Europe. *Nature*. 397. 659. DOI: 10.1038/17709.
35. Menzel, A. (2006). European phenological response to climate change matches the warming pattern. *Global Change Biology*. 12. 1969–1976. DOI: 10.1111/j.1365-2486.2006.01193.x.
36. Mittler, R. (2002). Oxidative stress, antioxidants and stress tolerance. *Trends Sci*. 7. 405–409. DOI: 10.1016/s1360-1385(02)02312-9.
37. Mund, M., Kutsch, W.L., Wirth, C., Kahl, T., Knohl, A., Skomarkova, M.V., Schulze, E.D. (2010). The influence of climate and fructification on the interannual variability of stream growth and net primary productivity in an old-growth, mixed beech forest. *Tree Physiology*. 30 (6). 684–704. DOI: 10.1093/treephys/tpq027.
38. Oerbauer, S. F., Elmendorf, S. C., Troxler, T. G., Hollister, R. D., Rocha, A. V., Bret-Harte, M. S., Dawes, M. A., Fosaa, A. M., Henry, G. H. R., Høye, T. T., Jarrad, F. C., Jónsdóttir, I. S., Klanderud, K., Klein, J. A., Molau, U., Rixen, C., Schmidt, N. M., Shaver, G. R., Slider, R. T., Totland, Ø., Wahren, C.-H., Welker, J. M. (2015). Phenological response of tundra plants to background climate variation tested using the International Tundra Experiment. *Philosophical transactions of the Royal Society B*. № 368 (1624). 1–13. DOI: 10.1098/rstb.2012.0481.
39. Prokhorova, S. & Netsvetov, M. (2020). Morphological and phenological shifts in the *Plantago lanceolata* L. species as linked to climate change over the past 100 years. *Hacquetia*. 19 (2). 293–305. DOI: 10.2478/hacq-2020-0006.
40. Sperlich, D., Chang, C.T., Penuelas, J., Gracia, C., Sabate, S. (2015). Seasonal variability of foliar photosynthetic and morphological traits and drought impacts in a Mediterranean mixed forest. *Tree Physiology*. 35(5). 501–520. DOI: 10.1093/treephys/tpv017.
41. Sykes, M. (2009). Climate change impacts: Vegetation. *Encyclopedia of Life Sciences*. 1– 11. DOI: 10.1002/9780470015902.a0021227.
42. Van der Veken, S., Hermy, M., Vellend, M., Knepen, A., Verheyen, K. (2008). Garden plants get a head start on climate change. *Frontiers in Ecology and the Environment*. 6 (4). 212–216. DOI: 10.1890/070063.
43. Walther, G.R., Roques, A., Hulme, P.E., Sykes, M.t., Pysek, P., Kuhn, I., Zobel, M. (2009). Alien species in a warmer world: Risks and opportunities. *Trends in Ecology and Evolution*. 24 (12). 686–693. DOI: 10.1016/j.tree.2009.06.008.
44. Wilczek, A. M., Burghardt, L.T., Cobb, A.R., Cooper, M.D., Welch, S.V., Schmitt, J. (2010). Genetic and physiological bases for phenological responses to current and predicted climates. *Phil. Trans. R. Soc. B*. 365. 3129–3147. DOI: 10.1098/rstb.2010.0128.