



ECOLOGY AND NOOSPHEROLOGY

ISSN 1726-1112 (Print)
ISSN 2310-4309 (Online)
Ecol. Noospher., 30(2), 68–73
doi: 10.15421/031912

Variability of morphometric characteristics of *Betula pendula* lamina under technogenic conditions of Dnipro city

T. I. Yusypiva*, A. O. Zadesenets**, A. V. Karas**

*Oles Honchar Dnipro National University, Dnipro, Ukraine

**Financial and Economic Lyceum at the University of Customs and Finance, Dnipro, Ukraine

Article info

Received 01.09.2019

Received in revised form

09.09.2019

Accepted 17.09.2019

Oles Honchar Dnipro
National University,
Gagarin Ave., 72, Dnipro,
49010, Ukraine.

Tel.: +38-096-836-03-37

E-mail: JuspivaTatjana@i.ua

Financial and Economic Lyceum
at the University of Customs and
Finance, Vitchyzniana Str., 93,
Dnipro, 49125, Ukraine.

*Yusypiva, T. I., Zadesenets, A. O., Karas, A. V. (2019). Variability of morphometric characteristics of *Betula pendula* lamina under technogenic conditions of Dnipro city. Ecology and Noospherology, 30(2), 68–73. doi:10.15421/031912*

The response of a plant organism to the effects of negative environmental factors, including the effects of multicomponent pollution, can be determined using a morphometric approach, setting the range of variability of biometric indicators of assimilation organs. The obtained data allow us to identify the directions of evolution of leaf shape and parameters under conditions of anthropogenic environment. The purpose of this work is to evaluate the variability of morphometric characteristics of lamina of *Betula pendula* Roth. under technogenic conditions of the city of Dnipro. Leaf samples were collected in September – October 2018 at five test areas in the city of Dnipro (100 sheets each), which differed in the level of environmental pollution. For each leaf according to the method, five dimensions were measured on the left and right sides: width of the left and right halves of the leaf; the length of the vein of the second order, the second from the base of the leaf; the distance between the bases of the first and second veins of the second order; the distance between the ends of the first and second veins of the second order; the angle between the main vein and the second vein from the base of the leaf of the second order. It is shown that by the degree of increase of variation in the conditions of influence on the plants of *B. pendula* under conditions of multicomponent contamination of the environment the investigated signs of the lamina can be arranged as follows: $5 < 2 < 1 < 4 < 3$. It is established that the most stable feature of the *B. pendula* lamina in the conditions of technogenesis is the angle between the main vein and the second vein from the base of the leaf of the second order, and the most variable one is the distance between the bases of the first and second veins of the second order. A tendency was found for the differences in the reactions of plants from the relatively clean area and contaminated territories: the control trees had a coefficient of variation higher for the right half of the leaf (right-sided asymmetry), whereas plants of the technogenic zones had left-sided asymmetry.

Keywords: *Betula pendula* Roth.; variability; morphometric indices; leaves; technogenic contamination

Мінливість морфометричних характеристик листкової пластинки *Betula pendula* у техногенних умовах м. Дніпра

Т. І. Юсипіва*, А. О. Задесенець**, А. В. Карась**

*Дніпровський національний університет імені Олеся Гончара, Дніпро, Україна

**Фінансово-економічний ліцей наукового спрямування при Університеті митної справи та фінансів Дніпровської міської ради, Дніпро, Україна

Проаналізовано вплив техногенних умов м. Дніпра на мінливість морфометричних характеристик листкової пластинки *Betula pendula* Roth.: ширину лівої і правої половинок листка; довжину жилки II порядку, другої від основи листка; відстань між основами першої і другої жилок II порядку; відстань між кінцями першої і другої жилок II порядку; кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою II порядку. Показано, що за ступенем збільшення варіювання в умовах впливу на рослини *B. pendula* полікомпонентного забруднення середовища досліджені ознаки листкової пластинки можна розташувати таким чином: $5 < 2 < 1 < 4 < 3$. Встановлено, що найбільш стабільною ознакою листової пластинки берези

повислої в умовах техногенезу є кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою II порядку, а самою мінливою – відстань між основами першої і другої жилок II порядку. Виявлено тенденцію у відмінностях реакції рослин із умовно чистої зони та забруднених територій: у контрольних дерев коефіцієнт варіації вищий для правої половинки листка (правостороння асиметрія), тоді як рослинам техногенних зон властива лівостороння асиметрія.

Ключові слова: *Betula pendula* Roth.; мінливість; морфометричні показники; листки; техногенне забруднення

Вступ

Мінливість – загальна властивість живих організмів, яка забезпечує хід адаптогенезу. Дослідження мінливості ознак біологічних об'єктів важливе для встановлення характеру їх диференціації, тенденції зміни ознак і напрямків їх мікроеволюції у зв'язку зі зміною зовнішніх факторів (Iusypiva, Miasoid, 2016; Nesterovich et al., 1986; Pashkevich, 2005; Usypiva, 2005). Серед вегетативних органів рослини асиміляційний апарат виявляє найбільшу чутливість до умов існування (Shupranova et al., 2017), а зміни його характеристик визначають функціонування рослинного організму. Висока пластичність зовнішнього вигляду листка обумовлює можливість суттєвих змін його ознак під тиском природного добору, що представляє особливий інтерес у вивченні внутрішньовидової мінливості рослин (Hikmatullina, 2013; Tusić et al., 2018).

Реакцію рослинного організму на дію негативних факторів середовища існування, у тому числі й на вплив полікомпонентного забруднення довкілля, можна визначати за допомогою морфометричного підходу (Zlobin et al., 2009), встановлюючи діапазон мінливості біометричних показників асиміляційних органів (Petrushkevich, 2018). З іншого боку, отримані дані дозволяють виявити напрямки еволюції форми і параметрів листка в умовах техногенного середовища (Knyazeva, 2012; Nesterovich et al., 1986).

За дії техногенних факторів змінюються різні параметри листка: збільшується або зменшується його площа, довжина жилок, кут між жилками, форма листка, зігнутість верхівки, порушується симетрія (Barabash et al., 2018; Iusypiva, Minejeva, 2010; Petrushkevich, 2018; Pryshchepa et al., 2017; Wuytack et al., 2011). Порівнюючи показники мінливості листка у рослин, що зростають у різних районах міст і умовно чистих екосистемах, можна судити про рівень антропогенного впливу на рослини.

Найвагомішим із нестационарних джерел забруднення навколишнього середовища є автотранспорт. Автомагістралі проходять або по периферії житлових районів мегаполісів, або безпосередньо через їх центр. Накопичення токсичних сполук із викидів автотранспорту та промислових емісій призвело до формування у м. Дніпрі великих стійких зон із перевищенням у декілька разів санітарно-гігієнічних нормативів забруднення повітря (Korableva, 2003; Dolzhenkova, Petrova, 2007). Береза повисла – один із класичних об'єктів для вивчення внутрішньовидової мінливості рослин за хронічної дії забруднення довкілля. Крім того, завдяки високим естетичним властивостям, невимогливості до ґрунту й високій посухостійкості вона є улюбленою деревною породою для створення садово-паркових комплексів і вуличних посадок міста (Zaitseva, Oranassenko, 2008).

Зважаючи на все вищевикладене, мета роботи – оцінити мінливість морфометричних характеристик листової пластинки *Betula pendula* Roth. у техногенних умовах м. Дніпра.

Матеріали та методи досліджень

Матеріал збирали у вересні – жовтні 2018 року на п'яти пробних ділянках м. Дніпра, які відрізнялися рівнем забруднення довкілля. Інтенсивність руху автотранспорту визначали за методикою Potichuk, Pilipaka (2013).

Моніторингова точка 1 – студентське містечко Дніпровського національного університету імені Олеся

Гончара (ДНУ), розташоване у парку ім. Ю. Гагаріна. Містечко оточене трьома вулицями: вул. Козакова, вул. Наукова і пр. Гагаріна. Проби листя відбирали біля корпусу Спортивного комплексу ДНУ, де інтенсивність руху автотранспорту, за нашими підрахунками, становить у середньому 17 шт./год, тому ця територія була обрана як умовно чиста (контрольна) зона.

Моніторингова точка 2 – фінансово-економічний ліцей, що розташований в північно-західній частині лівобережжя міста на вул. Вітчизняній, яка проходить по приватному сектору. По вулиці пересуваються вантажівки, маршрутки та легкові автомобілі. Інтенсивність руху автотранспорту в середньому становить 421 шт./год.

Моніторингова точка 3 – Слобожанський проспект – одна з головних вулиць м. Дніпра в лівобережній його частині, по якому проїжджає величезна кількість автомобільного транспорту: тролейбуси, маршрутні таксі, автобуси (Ecological passport ..., 2016). Інтенсивність руху автотранспорту в середньому становить 6685 шт./год. До проспекту прилягає низка заводів, які спричиняють негативну дію на навколишнє середовище, у тому числі ПАТ «Інтерпайп Нижньодніпровський трубопрокатний завод» – один із небезпечних об'єктів м. Дніпра. Хоча на даний момент підприємство не працює на повну потужність, але інтенсивна його робота протягом десятиліть зумовила забруднення навколишнього середовища токсичними сполуками, які входили до складу викидів заводу. Частка основних забруднювальних речовин викидів підприємства до загального обсягу їх у викидах промислових підприємств та інших джерел забруднення м. Дніпра у 2012 р. складала: CO – 25,7 %, NO_x – 6,98 %, SO₂ – 0,3 %, тверді речовини – 0,5 % (Ecological passport ..., 2013). У ґрунтах дослідної ділянки досить висока концентрація важких металів: Mn – 1525, Cu – 89, Zn – 1149, Ni – 227, Pb – 194,5, Cd – 17 мг/кг (Pasicnyu, Serdyuk, 2002).

Моніторингова точка 4 розташована на Набережній Заводській, де розташовані промислові будівлі та відвали металургійного виробництва. Одним із підприємств, що виходять на набережну, є Дніпровський металургійний завод – промисловий гігант Дніпра і України з виробництва чавуну, сталі та прокату, один із найбільших забруднювачів повітря й ґрунту міста, а також річки Дніпро. Частка основних забруднювальних речовин викидів підприємства до загального обсягу їх у викидах промислових підприємств та інших джерел забруднення м. Дніпра у 2012 р. складала: CO – 37,0 %, тверді речовини – 17,7 %, NO_x – 2,7 %, SO₂ – 0,5 (Ecological passport ..., 2013). Інтенсивність руху автотранспорту в середньому становить 1268 шт./год.

Моніторингова точка 5 – пр. Олександра Поля – один із проспектів міста з великим транспортним навантаженням (середня інтенсивність руху автотранспорту, за нашими підрахунками, 1096 шт./год). Відомо (Dolzhenkova, Petrova, 2007), що якщо по вулиці за годину проїхало 112–150 автомобілів, то інтенсивність руху низька, якщо 334–710 – середня, 750–1125 – висока, тому моніторингові точки 3, 4 і 5 належать до найбільш забруднених вулиць м. Дніпра. Інтенсивність руху на них перевищує показники максимальної завантаженості міст автотранспортом (Dolzhenkova, Petrova, 2007).

Об'єкт дослідження – береза повисла *Betula pendula* Roth. (родина *Betulaceae*) – один із класичних об'єктів, які використовують для фітоіндикації забруднення

навколишнього середовища. Проби листків (по 10 штук з кожного модельного дерева) відбирали з південно-східного боку крони з пагонів 5-го порядку галуження на висоті 1,7 м від рівня ґрунту. У кожній моніторинговій точці було обрано 10 модельних дерев (зібрано по 100 листків з точки).

З кожного листка за методикою Zakharov et al. (2000) знімали показники за п'ятьма промірами з лівого і правого боків: 1) ширина лівої і правої половинок листка; 2) довжина жилки II порядку, другої від основи листка; 3) відстань між основами першої і другої жилок II порядку; 4) відстань між кінцями першої і другої жилок II порядку; 5) кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою II порядку. Рівень мінливості ознаки (табл. 1) оцінювали за шестибальною шкалою (Мамаєв, 1972).

Таблиця 1

Відповідність коефіцієнта варіації до рівня мінливості ознак

Коефіцієнт варіації, %	Рівень мінливості, бали
Нижче 7	I – дуже низький
Від 7 до 15	II – низький
Від 16 до 25	III – середній
Від 26 до 35	IV – підвищений
Від 36 до 50	V – високий
Від 51 і вище	VI – дуже високий

Для аналізу біометричних показників листка розраховували середнє арифметичне (M), середнє квадратичне відхилення (σ), похибку середнього арифметичного (m), коефіцієнт варіації (CV), а для порівняння вибірок використовували t-критерій Стьюдента при $p < 0,05$.

Таблиця 2

Вплив урбосередовища на мінливість ширини половинки листкової пластинки *Betula pendula*, мм

Моніторингові точки	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Min	11	11	8	11	11	11	4	9	14	14
Max	25	27	30	39	28	29	25	25	32	35
M±m	17,11± ±0,29	17,63± ±0,31	17,65± ±0,45	18,20± ±0,47	18,23± ±0,36*	18,45± ±0,36	16,04± ±0,34*	16,71± ±0,32*	19,87± ±0,43*	20,66± ±0,46*
σ	2,87	3,10	4,48	4,70	3,57	3,57	3,37	3,19	4,26	4,57
CV, %	17	18	25	26	20	19	21	19	21	22
Рівень мінливості ознаки, бали	III	III	IV	IV	III	III	IV	III	IV	IV

Примітки (до табл. 2–6): моніторингова точка 1 – студентське містечко ДНУ імені Олеса Гончара, точка 2 – Фінансово-економічний ліцей, 3 – Слобожанський проспект, 4 – Набережна Заводська, 5 – пр. О. Поля; Л – ліва та П – права половинки листкової пластинки; * – дані достовірні при $p < 0,05$, $t_{\text{табл.}} = 1,98$.

у рослин із району фінансово-економічного ліцею (24 %). Слід зазначити, що коефіцієнт варіації має однакові значення для лівої та правої половинок листкової пластинки в усіх моніторингових точках, крім умовно чистої зони (табл. 3).

Вивчення відстані між основами першої та другої жилок II порядку листкової пластинки *B. pendula* показало широкі межі мінливості цієї ознаки (табл. 4). Мінімальні значення однакові для лівої та правої половинок листкової пластинки рослин усіх моніторингових точок, крім контрольних дерев. Максимальні величини цього показника практично однакові у берез із ділянок 3, 4 та 5 і однакові в точці 2. Однак відстані між основами першої та другої жилок II порядку листкової пластинки істотно різняться у *B. pendula* із умовно чистої зони, де мінімальні й максимальні значення складають 1–10 і 2–20 мм для лівої та правої половинок листкової пластинки відповідно.

Результати та їх обговорення

Наші дослідження свідчать про широкі межі мінливості вивчених біометричних параметрів листкової пластинки *B. pendula* в техногенних умовах м. Дніпра (табл. 2–6). Для першої ознаки – ширини половинки листкової пластинки – мінімальні розміри складають 4–14 та 9–14 мм (відповідно для лівої та правої половинок), причому найменші значення показника зафіксовані у дерев моніторингової точки 4, а найбільші – у рослин ділянки 5. Максимальні значення цієї характеристики змінюються в межах 25–32 та 25–39 мм для лівої і правої половинок листкової пластинки відповідно (табл. 2). Найвищі величини коефіцієнта варіації першої ознаки спостерігаються у *B. pendula*, що зростають навколо фінансово-економічного ліцею, де вони складають 25–26 %, найменші – у рослин студентського містечка ДНУ (17–18 %).

Аналіз довжини другої від основи листка жилки II порядку виявив менший діапазон мінливості другої дослідженої ознаки листкової пластинки *B. pendula* порівняно з першою (табл. 3). Мінімальні значення другого параметра складають 15–21 та 17–20 мм, а максимальні – 39–55 та 38–56 мм (для лівої та правої половинок листкової пластинки відповідно). Тому й коефіцієнт варіації для цієї характеристики коливається від 15 до 24 %.

Стабільнішою довжина другої від основи листка жилки II порядку виявилася у рослин, що зростають в умовах сильного техногенного навантаження – на Слобожанському проспекті (15 %) та на Набережній Заводській (16 %). Дещо вищий коефіцієнт варіації ознаки у *B. pendula* з території студентського містечка ДНУ (17 та 15 % відповідно для лівої та правої половинок листка), ще вищий – у берез на пр. О. Поля (22 %), а максимальний –

Великий діапазон значень відстані між основами першої та другої жилок II порядку зумовив високі величини коефіцієнта варіації за цією ознакою: від 35 до 51 %. Найбільші значення виявлені у рослин умовно чистої зони, а саме для правої половинки листкової пластинки (51 %) – це правостороння асиметрія. Цікаво, що у рослин з інших пробних ділянок (2, 4, 5) вищий коефіцієнт варіації властивий для лівої половинки листка (лівостороння асиметрія).

Деякі автори вважають причиною такої широкої мінливості даної ознаки негативний вплив екстремальних факторів довкілля на функціонування прокамбію. Так, І. Є. Зиков зі співавт. (Zykov et al., 2015) пояснюють підвищений рівень мінливості відстані між основами першої та другої жилок II порядку листка *T. cordata* Mill. асинхронним диференціюванням прокамбію на провідній тканині. Тому автори радять використовувати в

Таблиця 3Вплив урбосередовища на мінливість довжини другої від основи листка жилки II порядку листкової пластинки *Betula pendula*, мм

Моніторингові точки	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Min	15	18	18	17	21	20	16	18	19	18
Max	40	40	50	50	39	38	39	41	55	56
M±m	28,56±0,48	28,86±0,42	28,58±0,70	28,48±0,69	29,44±0,43	29,35±0,45	29,40±0,47	30,42±0,50*	33,05±0,74*	33,24±0,74*
σ	4,82	4,21	6,97	6,86	4,34	4,46	4,67	5,00	7,35	7,39
CV, %	17	15	24	24	15	15	16	16	22	22
Рівень мінливості ознаки, бали	III	III	IV	IV	III	III	III	II	IV	IV

біоіндикаційних дослідженнях 3-тю ознаку незалежно від рівня її мінливості (Zykov et al., 2015).

Аналіз відстані між кінцями першої і другої жилок II порядку (4-та ознака) свідчить про те, що мінімальні значення однакові (в точках 1–4) або практично однакові (на ділянці 5), а максимальні – майже однакові в лівій та правій

половинок листкової пластинки *B. pendula* усіх дослідних ділянок і не залежать від рівня техногенного забруднення (табл. 5). Коефіцієнт варіації 4-ї ознаки складає 19–22% у моніторингових точках 1, 3 і 5, дещо вищий у точці 4 (26–28%), а найвище значення має у рослин, що зростають біля фінансово-економічного ліцею – 36–39%.

Таблиця 4Вплив урбосередовища на мінливість відстані між основами першої і другої жилок II порядку листкової пластинки *Betula pendula*, мм

Моніторингові точки	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Min	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2
Max	10	20	10	10	10	11	9	10	7	8
M±m	4,20±0,18	4,50±0,23	4,68±0,19	4,99±0,17	4,66±0,19	4,65±0,19	4,34±0,16	4,76±0,17*	3,99±0,15	4,30±0,15
σ	1,83	2,29	1,87	1,73	1,86	1,94	1,64	1,71	1,49	1,53
CV, %	43	51	40	35	40	42	38	36	37	36
Рівень мінливості ознаки, бали	VI	VI	V	V	V	VI	V	V	V	V

Як видно з табл. 6, кут між центральною та другою від основи листка жилкою II порядку найбільший у рослин зі студентського містечка ДНУ, а у дерев дослідних ділянок під впливом техногенного навантаження він істотно зменшується. Лише у *B. pendula* моніторингової точки 4 різниця між контрольним і дослідним варіантами для

правій половини листової пластинки недостовірною при $p < 0,05$. Слід відзначити подібний діапазон мінливості за 5-ю ознакою у дерев в усіх точках відбору проб: значення коефіцієнта варіації складають 13% для лівій половинки листка (на Набережній Заводській – 12%) та від 11 до 14% для правій половинки.

Таблиця 5Вплив урбосередовища на мінливість відстані між кінцями першої і другої жилок II порядку листкової пластинки *Betula pendula*, мм

Моніторингові точки	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Min	5	5	5	5	5	5	4	4	4	5
Max	16	17	40	39	17	18	18	19	20	19
M±m	10,12±0,20	10,39±0,23	10,58±0,41	10,50±0,37	10,46±0,21	10,68±0,20	11,32±0,29*	11,79±0,33*	11,13±0,23*	11,37±0,22*
σ	1,99	2,32	4,09	3,73	2,05	1,99	2,91	3,27	2,33	2,15
CV, %	20	22	39	36	20	19	26	28	21	19
Рівень мінливості ознаки, бали	III	IV	V	V	III	III	IV	IV	IV	III

У літературі зустрічаються свідчення як негативного впливу антропогенного навантаження на морфометричні показники асиміляційних органів *B. pendula* (Egemenko, 2015; Mylen'ka, 2009), стимулювальної дії на ріст листка (Hikmatullina, 2013), так і слабкий зв'язок розмірів листка з рівнем техногенного забруднення середовища (Zverev, 2008). Так, виявлено (Egemenko, 2015) зменшення довжини листкової пластинки та площі модельного листка у рослин, що зростають уздовж автомагістралі у Кривому Розі. Показано (Mylen'ka, 2009) зменшення площі листових пластинок *B. pendula* за дії викидів Бурштинської ТЕС.

Виявлено суттєве зменшення під впливом комплексного забруднення середовища SO_2 , NO_2 і важкими металами площі модельного листка *B. pendula* в умовах м. Дніпра, однак за рахунок збільшення кількості листків на модельній гілці площа асиміляційної поверхні пагона зростала (Iusyriva, Zamorena, 2011). Останні реакції дерев *B. pendula* на стрес, викликаний техногенним забрудненням, автори відносять до адаптивних механізмів компенсаторного типу.

Отже, аналіз табл. 2–6 свідчить про те, що найбільший рівень мінливості властивий третій із вивчених нами ознак –

Таблиця 6

Вплив урбосередовища на мінливість кута між центральною і другою від основи листка жилкою II го порядку листка *Betula pendula*, град.

Моніторингові точки	1		2		3		4		5	
	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П	Л	П
Min	31	30	27	31	25	23	28	34	29	28
Max	58	58	50	51	52	50	54	55	53	55
M±m	44,64± 0,59	44,98± 0,63	39,31± 0,52*	40,69± 0,44*	38,07± 0,50*	40,06± 0,49*	42,00± 0,50*	44,10± 0,49	39,12± 0,50*	41,08± 0,48*
σ	5,94	6,34	5,17	4,39	5,00	4,88	4,95	4,92	5,02	4,79
CV, %	13	14	13	11	13	12	12	11	13	12
Рівень мінливості ознаки, бали	III	III	III	II	III	II	III	II	III	II

відстані між основами першої і другої жилок II порядку. Він складає V–VI балів за шкалою Mamaev (1972): V балів у моніторингових точках 2, 4 і 5, V та VI балів (відповідно для лівої та правої половини листкової пластинки) – у точці 3, VI балів – у точці 1. Найменший рівень мінливості (II–III бали) характерний для п'ятої із досліджених ознак – кута між центральною і другою від основи листка жилкою 2-го порядку листка, причому в усіх моніторингових точках, крім контрольної ділянки, спостерігається більша мінливість ознаки у лівій половинці листкової пластинки порівняно з правою.

Висновки

1. Вивчення впливу викидів автотранспорту та промислових емісій на мінливість метричних параметрів листкової пластинки *B. pendula* показало, що за ступенем збільшення варіювання досліджені ознаки можна розташувати таким чином: $5 < 2 < 1 < 4 < 3$.

2. Найбільш стабільною ознакою листкової пластинки берези повислої в умовах техногенезу є кут між головною жилкою і другою від основи листка жилкою II порядку, а найбільш мінливою – відстань між основами першої і другої жилок II порядку. Значення коефіцієнта варіації для популяції змінюються в межах від 11 до 51 %.

3. За хронічної дії на рослини *B. pendula* інгредієнтів промислових емісій та викидів автотранспорту рівень мінливості третьої та п'ятої із досліджених морфометричних показників листка менший, ніж у рослин умовно чистої зони, четвертої – практично такий самий, як у контрольних дерев, а першої та другої ознак – у зоні середнього забруднення перевищує діапазон мінливості берез умовно чистої ділянки, а в зоні сильного забруднення середовища такий, як і у *B. pendula*, що зростають на контрольній ділянці.

4. Виявлена тенденція у відмінностях реакцій рослин із умовно чистої зони та забруднених територій: у контрольних дерев коефіцієнт варіації вищий для правої половинки листка (правостороння асиметрія), тоді як рослинам техногенних зон властива лівостороння асиметрія.

References

- Barabash, O. V., Lozova, T. M., Kozlova, T. A. (2018). Ocinka intensyvnosti antropogennogo vplyvu za ravnem fluktuacijnoyi asymetriyi morfologichnyx struktur [Assessment of anthropogenic influence intensity by the level of fluctuation asymmetry of morphological structures]. *Biology and ecology*, 1, 66–72 (in Ukrainian).
- Dolzhenkova, O. V., Petrova, V. N. (2007). Vplyv avtomobil'nogo transportu na bezpeku zhyt'tyedyal'nosti meshkanciv m. Dnipropetrovs'ka [Impact of road transport on the safety of residents of Dnipropetrovsk]. *Bulletin of the Kharkiv National Highway University*, 36, 56–60 (in Russian).
- Ekolohichniy pasport mista Dnipro (2016 r.) [Ecological passport of the Dnipro City (2016 p.)]. <https://dniprorada.gov.ua> (in Ukrainian).
- Ekolohichniy pasport Dnipropetrovskoi oblasti (2013 r.) [Ecological passport of the Dnipropetrovsk Region].
- Eremenko, N. S. (2015). Morfometrychni pokaznyky lystovoi plastynky *Betula pendula* – indyikator stanu urboekosystemy Kryvoho Rohu. [Morphometric indices of the leaf plate *Betula pendula* – an indicator of the status of the Urbinoecosystem of Kryvyi Rih]. *Ecological Bulletin of Kryvyi Rig District*, 1, 53–56 (in Ukrainian).
- Iusypiva, T., Miasoid, G. (2016). The Impact of SO₂ and NO₂ Industrial Emissions on Anatomical Stem of *Salix alba*. *International Letters of Natural Sciences*, 51, 6–13.
- Iusypiva, T. I., Minejeva, K. J. (2010). Biometrychni xaraktery'sty'ky' odnorichnogo pagona dekoratyvnyx chagarny'kiv v umovax texnogennyx terytorij [Biometric characteristics of a one-year shoots of decorative shrubs in the conditions of man-made territories]. *Proceedings of 6th International scientific and practical conference "News about modern science – 2010"*, 17–25 May 2010 (pp. 57–61). Sofia, Publishing House "Education and Science" s.r.o. (in Ukrainian).
- Iusypiva, T. I., Zamorena, V. S. (2011). Yzmeneny'ya by'ometry'cheskyx parametrov odnoletnego pobega *Betula pendula* Roth. v uslovy'ax texnogeneza [Changes of Biometric Parameters of *Betula pendula* Roth. One-year Sprouts under Technogenesis Conditions]. *Future questions from the world of science – 2011. Proceedings of 7th International scientific and practical conference. Sofia, Publishing House "Education and Science" s.r.o.*, 23–25 (in Russian).
- Hikmatullina, G. R. (2013). Sravnenie morfologicheskikh priznakov lista *Betula pendula* v usloviyah urbanosredy. [Comparison of the morphological characteristics of the *Betula pendula* leaf in an urban environment]. *Bulletin of the Udmurt University (Biology. Earth Sciences)*, 2, 48–56 (in Russian).
- Knyazeva, S. G. (2012). Morfologo-anatomicheskie osobennosti hvoi mozhzhevelnika obyknovennogo (*Juniperus communis* L.). [Morphological and anatomical features of the needles of Juniper (*Juniperus communis* L.)]. *Coniferous boreal zone*, 30(1), 92–96 (in Russian).
- Korableva, A. I. (2003). Optimizatsiya uslovyi zhiznedeyatelnosti v selitebnyih zonah bolshih gorodov (na primere Dnepropetrovska). [Optimization of life conditions in residential areas of large cities (on the example of Dnepropetrovsk)]. In: *Technopolis: Statistical Yearbook of Ukraine for 2002*. Consultant, Kyiv (in Russian).
- Mamaev, S. A. (1972). Formy vnutrividovoy izmenchivosti drevesnyih rasteniy (*Pinaceae*). [Forms of intraspecific variability of woody plants (*Pinaceae*)]. Science, Moscow (in Russian).
- Mylen'ka, M. M. (2009). A bioindication estimation of the Burshtin urbanecosystem ecological state. Thesis submitted for

- the PhD in Biological Science degree, specialty 03.00.16 – ecology. DNU, Dnipro (in Ukrainian).
- Nesterovich, N. D., Deryugina, T. F., Luchkov, A. I. (1986). Структурные особенности листьев хвойных. [Structural features of coniferous leaves]. Science and technology, Minsk (in Russian).
- Pasichnyy, H.V., Serdyuk, V.M., (2002). Dynamika vazhkykh metaliv v gruntovomu pokryvi u zv'yazku z tekhnohennym zabrudnennym otchuyuchoho seredovyscha (na prykladi m. Dnipropetrovs'ka) [Dynamics of Heavy Metals in the Soils is Dealt with the Technogenic Pollution of Environment (for Example of Dnepropetrovsk City)]. Ecology & Natural Resource Management, 4, 111–117 (in Ukrainian).
- Pashkevich, N. A. (2005). Fenoty`pichna minly`vist` xvoyi vy`div rodu *Pinus* L. na tery`toriyi Ukrayiny` [Phenotypical variability pine-needle of species of the genus *Pinus* L. in Ukraine]. Ukrainian Botanical Journal, 62(5), 657–665 (in Ukrainian).
- Petrushkevich, Y. M. (2018). Vplyv promyslovykh umov na velychynu fluktuiuchoi asymetrii lystkovoї plastynky *Betula pendula* [Influence of industrial conditions on the fluctuating asymmetry magnitude of leaf blade of *Betula pendula*]. Scientific Issues Ternopil Volodymyr Hnatiuk National Pedagogical University Series: Biology, 1(72), 82–89 (in Ukrainian).
- Potichuk, O. V., Pilipaka, O. V. (2013). Guidelines for the implementation of the calculation and graphic work on the topic "Traffic characteristics and parameters of traffic flows" in the discipline "Monitoring traffic flows". NUPGP, Rivne (in Ukrainian).
- Pryshchepa A. M., Borshchevska I. M., Budnik Z. M., Brezhytska O. A., Kuryliuk O. M. (2017). Bioindykacijna ocinka stanu povitryanogo seredovy'shha mista Rivnogo na osnovi analizu fluktuyuchoyi asymetriyi [Bioindication estimation of Rivne city's air environment on the basis of the fluctuating asymmetry analysis]. Bulletin of the National University of Water Management and Environmental Management. Agricultural Sciences Series, 4(80), 30–38 (in Ukrainian).
- Shupranova, L. V., Lykholat, Y. V., Khromikh, N. O., Grytzaj, Z. V., Alexeyeva, A. A., Bilchuk, V. S. (2017). Reaction of photosynthetic apparatus of a representative of extrazonal steppe plants *Quercus robur* to air pollution by motor vehicle emissions. Biosystems Diversity, 25(4), 268–273.
- Tucić, B., Budečević, S., Manitašević, Jovanović S. et al. (2018). Phenotypic plasticity in response to environmental heterogeneity contributes to fluctuating asymmetry in plants: first empirical evidence. Journal of Evolutionary Biology, 31(2), 197–210.
- Uspiva, T. I. (2005). Vplyv promy'slovogo zabrudnennya na gistologichni pokazny`ky` pervy`nnoyi kory` stebła predstavny`kiv rodu *Fraxinus* L. [Industrial pollution influence on histological indices of stem primary bark of *Fraxinus* L. genus representatives]. Visn. Dnipropetr. Univ. Ser. Biol. Ekol., 13(1), 295–301. (in Ukrainian).
- Wuytack, T., Wuyts, K., Van Dongen, S., Baeten, L., Kardel, F., Verheyen, K., Samson, R. (2011). The effect of air pollution and other environmental stressors on leaf fluctuating asymmetry and specific leaf area of *Salix alba* L., Environmental pollution, Vol. 159 (10), 2405–2411.
- Zakharov, V. M., Baranov, A. S., Borisov, V. I., Valetski, A. V., Knyazheva, N. G., Chistyakova, E. K., Chubinshvili, A. T. (2000). Zdorove srede: metodyka otsenky [Environmental health: assessment methodology]. Center for Environmental Policy in Russia, Moscow (in Russian).
- Zaitseva, I. O., Opanasenko, V. F. (2008). Putivny`k po botanichnomu sadu DNU. [Guide to the Botanical Garden of DNU]. DNU Press, Dnipro (in Ukrainian).
- Zlobin, Yu. A., Sklyar, V. G., Bondareva, L. M., Kyrylchuk, K. S. (2009). Kontseptsiiia morfometrii u suchasni botanitsi [The morphometric concept in modern botany]. Chornomorski Botanical Journal, 5 (1), 5–22 (in Ukrainian).
- Zykov, I., Fedorova, L., Baranov, S. (2015). Otsenka bioindikatsionnogo znacheniya urovnya izmenchivosti parametrov listovyih plastinok lipyi melkolistnoy (*Tilia cordata* Mill) v usloviyah g. Orehovo-Zuevo i Orehovo-Zuevskogo rayona [Assessment of the biological value of the level of variability of the parameters of leaf blades of small-leaved linden (*Tilia cordata* Mill.) in the city Orehovo-Zuyevo and Orekhovo-Zuyevo region]. Bulletin MRSU, 2(30), 15–22 (in Russian).
- Zverev, V. (2008). Impact of pollution and annual climatic fluctuations on growth of mountain birch. Air Pollution and Climate Change at Contrasting Altitude and Latitude. Proceedings of 23rd IUFRO Conference for Specialists in Air Pollution and Climate Change Effects on Forest Ecosystems. Murten, Switzerland.